

Miljøprojekt Nr. 803 2003

Samlerapport for projekter om
bioforgasning af organisk
dagrenovation gennemført 2000-
2002

Jes la Cour Jansen
Lunds Tekniska Högskola

Thomas Højlund Christensen
Danmarks Tekniske Universitet

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

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

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

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	17
1 INDLEDNING	27
1.1 UNDERSØGELSERNES BAGGRUND	27
1.2 FORMÅL OG BEGRÆNSNINGER	28
1.3 RAPPORTENS OPBYGNING OG OVERSIGT OVER UNDERSØGELSER, DER INDGÅR I VURDERINGERNE	28
2 MÆNGDER OG KVALITET AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	31
2.1 RESULTATER FRA FULD- OG STORSKALAUNDERSØGELSER AF INDSAMLING AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	31
2.2 STATUS ÅR 2000 FOR DANSKE ERFARINGER OM INDSAMLEDE MÆNGDER AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	33
2.3 STATUS FOR INDSAMLINGSPOTENTIALT	34
2.4 SAMMENFATNING AF POTENTIELLE OG FAKTISK INDSAMLEDE MÆNGDER KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	37
3 FORBEHANDLING AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	39
3.1 FORBEHANDLING VED NEDDELING OG MAGNETSEPARERING I GRINDSTED	39
3.2 FORBEHANDLING PÅ RULLESIGTE I HERNING	40
3.3 FORBEHANDLING PÅ SKRUESEPARATOR I VAARST-FJELLERAD	41
3.4 FORBEHANDLING MED STEMPELSEPARATOR PÅ AFAV	41
3.5 SAMMENHÆNG MELLEM SORTERINGSORDNINGER OG FORBEHANDLING	42
3.5.1 Resultater fra undersøgelser af kildesorteret organisk dagrenovation fra områder med permanente ordninger og med storskalaforøg	42
3.5.2 Resultater af undersøgelser gennemført med stempelseparator	43
3.6 SAMMENFATNING VEDRØRENDE INDSAMLINGSORDNINGER OG FORBEHANDLING AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	44
4 SAMMENSÆTNING OG BIOGASPOTENTIALT AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	45
4.1 UNDERSØGELSENS FORMÅL OG INDHOLD	45
4.2 RAPPORTEREDE DANSKE DATA OM BIOFORGASNING AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	46
4.3 PRØVETAGNING OG KARAKTERISERING AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	47
4.4 SAMMENSÆTNING AF KILDESORTERET ORGANISKE DAGRENOVATION	48
4.5 FORBEHANDLING	49
4.6 SAMMENSÆTNING AF BIOMASSE OG REJEKT	50
4.7 METANPOTENTIALT	51
4.8 REALISERBART METANPOTENTIALT: METANUDBYTTE	51

4.9	RESTMETAN VED EFTER- OG SLUTLAGRING AF AFGASSET ORGANISK DAGRENOVATION	52
5	BEGRÆNSNINGER FOR ANVENDELSE I JORDBRUGET AF RESTPRODUKTER FRA BIOFORGASNING AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	55
5.1	PROJEKTETS FORMÅL OG HOVEDAKTIVITETER	55
5.2	STRATEGIER FOR OG METODER TIL PRØVETAGNING AF DAGRENOVATION	56
5.3	HOMOGENISERING, OPARBEJDNING OG ANALYSE AF PRØVER AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	57
5.4	SAMMENHÆNG MELLEM AFFALDSKVALITET OG INDHOLD AF DEHP57	
6	MILJØVURDERING AF BIOFORGASNING AF KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION	59
6.1	ENERGI, DRIVHUSGASSER OG NÆRINGSSTOFFER	59
7	REFERENCER	61

Forord

Denne rapport er udarbejdet i et samarbejde mellem Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet, og Avdelningen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Lunds Tekniska Högskola med støtte fra Miljøstyrelsens program for renere teknologi m.v.

Rapporten er forfattet af Jes la Cour Jansen (Lunds Tekniska Högskola) og Thomas H. Christensen (M&R DTU) i efteråret 2002.

Rapporten sammenfatter resultater fra en række undersøgelser, hvor der ikke i alle tilfælde er enighed om den anvendte terminologi. I sammenfatningen er der søgt rådet bod på dette ved at tage udgangspunkt i den terminologi, der er angivet i rapportens bilag 1. Det betyder at der ved reference til andre rapporter er benyttet denne fælles terminologi uanset terminologien i den refererede rapport. Rapporttitler er dog ikke ændret.

Konklusioner og vurderinger i nærværende rapport er forfatterens ansvar og udtrykker ikke nødvendigvis synspunkterne hos forfatterne af de rapporter, der indgår i sammenfatningen eller hos de finansierende parter.

November, 2002

Jes la Cour Jansen
Thomas H. Christensen

Sammenfatning og konklusioner

Denne rapport præsenterer en sammenfatning af en række tekniske undersøgelser vedrørende indsamling, forbehandling og bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation, der er gennemført i Danmark i løbet af de senere år. Hovedparten af undersøgelserne er finansieret af Miljøstyrelsen; men også andre styrelser og offentlige myndigheder, organisationer og firmaer har bidraget til etablering af det omfattende erfaringsmateriale.

Hovedvægten i de senere års undersøgelser har ligget på indsamling, forbehandling og karakterisering af kildesorteret organisk dagrenovation med henblik på at bedømme biogaspotentialet og mindre på egentlige undersøgelser og forsøgsvirksomhed vedrørende bioforgasning af det organiske affald. Der foreligger dog en del tidligere undersøgelser af denne karakter, hvis resultater indgår i en status for 2000 for området. Derudover er foretaget undersøgelser af mulige begrænsninger i anvendelsen af restprodukter fra bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation som følge af indholdet af tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer. Rapporten forholder sig derimod ikke til de kommende EU-regler om animalske biprodukter, der implementeres i foråret 2003.

Som supplement til de tekniske undersøgelser er der foretaget miljømæssige vurderinger af de forskellige systemer til håndtering og behandling af organisk dagrenovation.

Udover tekniske undersøgelser har der været gennemført undersøgelser af mulighederne for at afsætte restprodukter, der opfylder gældende kvalitetskrav til jordbrugsanvendelse og der har været gennemført en systemanalyse og en samfundsøkonomisk analyse af genanvendelse af organisk dagrenovation. Rapporterne herfra indgår ikke i denne sammenfatning; men der henvises til rapporterne *Aspekter af afsætning af bioforgasset organisk affald*, *Systems Analysis of Organic Household Waste Management in Denmark* og *Samfundsøkonomisk analyse af øget genanvendelse af organisk dagrenovation*, der alle forventes udgivet som Miljøprojekter.

Sammenfatningen indeholder således ikke vurderinger af de økonomiske konsekvenser af bioforgasning af dagrenovation eller af de organisatoriske forhold omkring indsamling, forbehandling og bioforgasning.

Grundlaget for statusopgørelsen for bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation

Indsamling, forbehandling og sammensætning af kildesorteret organisk dagrenovation er belyst i en række projekter knyttet til fuld- og storskalaundersøgelser. Der er afprøvet og vurderet et bredt udvalg af metoder for kildesortering, indsamling og forbehandling af kildesorteret organisk dagrenovation i Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg. Resultaterne vedrørende indsamling og forbehandling er sammenfattet i rapporten *Sammenhæng mellem sortering, forbehandling og kvalitet af biomasse* og den bagvedliggende datarapport *Datarapport om sammensætning og biogaspotentialer i organisk dagrenovation*. Resultaterne vedrørende indsamlingen i de forskellige områder er yderligere uddybet i rapporterne

Fuldskalaforsøg i hovedstadsområdet, Indsamling af organisk affald fra husholdninger, små erhvervskøkkener og fødevareforretninger i Aalborg kommune og Fuldskalaforsøg i Kolding.

Sammensætningen af dagrenovation herunder indholdet af organiske fraktioner er kortlagt ved en undersøgelse af sammensætningen i 10 udvalgte boligområder fordelt over hele landet præsenteret i rapporten *Evaluering af ordninger for hjemmekompostering samt kortlægning af dagrenovationens sammensætning*.

I tilknytning til fuld- og storskalaforsøgene er de forbehandlingsanlæg, der har indgået i undersøgelserne, beskrevet og evalueret. Derudover foreligger resultater fra en teknisk afprøvning af en stempelseparator til forbehandling af kildesorteret organisk dagrenovation beskrevet i rapporten *Forbehandling af organisk husholdningsaffald ved hydraulisk stempelseparation*. Hermed foreligger en beskrivelse og vurdering af hovedparten af de typer forbehandlingssystemer til kildesorteret organisk dagrenovation, der findes i Danmark. Der indgår dog ikke evaluering af den forkomposteringstrømle på AFAV I/S, der tidligere blev benyttet til forkompostering inden den egentlige kompostering. I dag benyttes den til forbehandling inden bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation i biogasfællesanlæg. Heller ikke de systemer baseret på optisk sortering af kildesorteret organisk dagrenovation som findes i Vejle og Århus indgår. I Vejle komposteres affaldet efterfølgende og resultater fra anlægget i Århus, der er under indkøring var under afrapportering ved denne rapportes færdiggørelse.

Bioforgasning i fuld skala af kildesorteret organisk dagrenovation sker i dag på nogle få biogasfællesanlæg og på Grindsted Renseanlæg. Der er ikke i de senere år foretaget egentlige undersøgelser af bioforgasning i fuld skala; men i rapporten *Basisdokumentation for biogaspotentialer i organisk dagrenovation*, indgår som et bilag en statusopgørelse, for alle tidligere rapporterede fuld- og storskalaundersøgelser i Danmark.

I forbindelse med stor- og fuldskalaundersøgelserne i de 5 byområder nævnt ovenfor er der foretaget indsamling af et stort antal prøver af forbehandlet kildesorteret organisk dagrenovation (biomasse) og af rejekt fra forbehandlingen. Herved er muliggjort en detaljeret karakterisering af sammensætningen før og efter forbehandling. Karakteriseringen har omfattet biomassens og rejktets indhold af tørstof, tørstof glødetab og vand, ligesom der er foretaget en karakterisering på komponentniveau (fedt, protein, træstof og kulhydrater) og på grundstofniveau (C, H, O og N). Derudover er der foretaget udrådningforsøg til bestemmelse af metanproduktionen i laboratorie- og pilotskala. Herigennem er det muligt at bestemme biogaspotentialer ud fra affaldets komponentsammensætning, grundstofsammensætning og ved direkte målinger af metanproduktionen. Resultaterne er præsenteret og vurderet i rapporten *Basisdokumentation for biogaspotentialer i organisk dagrenovation* og den bagvedliggende datarapport *Datarapport om sammensætning og biogaspotentialer i organisk dagrenovation*.

I forbindelse med en række tidligere undersøgelser af bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation er det konstateret at der lejlighedsvis er opstået problemer med at overholde kravene til jordbrugsanvendelse af restprodukterne fra bioforgasning. Især afskæringsværdien for plastblødgøreren DEHP overskrides. En undersøgelse af indholdet af DEHP i

kildesorteret organisk dagrenovation, der modtages på 6 forskellige anlæg er præsenteret i rapporten *DEHP i husholdningsaffald*.

Nedenfor sammenfattes resultaterne af ovenstående undersøgelser idet den samlede problemstilling omkring bioforgasning af kildesorteret dagrenovation søges belyst tværgående. I de efterfølgende kapitler beskrives og sammenfattes resultaterne fra de enkelte rapporter/rapportgrupper selvstændigt.

Indsamlede mængder kildesorteret organisk dagrenovation

Undersøgelser af indsamlede mængder kildesorteret organisk dagrenovation i forbindelse med eksisterende indsamlingsordninger og ved fuld- og storskalaforsøg viser at der kan forventes indsamlet mellem 60 og 90 kg kildesorteret organisk dagrenovation pr person og år for større samlede områder i Danmark. For mindre områder vil der være store variationer op til en faktor 2 op eller ned i indsamlet mængde uden at det kan forklares ved forskelle i boligtype eller indsamlingsordning.

De indsamlede mængder svarer til ca. 80% af det potentiale, der findes ved detaljeret opsortering af usorteret dagrenovation. Ved en sådan opsortering af dagrenovation konstateres meget store forskelle i affaldets mængde og sammensætning mellem forskellige geografiske områder. For de organiske fraktioner er der derimod ikke markante forskelle mellem mængder pr person opsamlet i etageboliger med fælles skraldespand og i enfamiliehuse med individuelle skraldespande. Forskellen i potentialet af organisk affald i de to boligtyper skyldes alene forskel i antallet af beboere pr husstand. Forskelle mellem de to boligtyper indenfor samme geografiske område er lille i forhold til forskellen mellem ensartede boligområder placeret forskellige steder i landet.

I områder med kildesortering af organisk dagrenovation kan der også konstateres langt større forskelle på indsamlede mængder organisk affald mellem forskellige geografiske områder end det kan forklares ved indretning af kildesorteringen eller opdeling i områder med fælles eller individuelle skraldespande. Der er således fundet op til en faktor 2 i forskel på indsamlede mængder pr indbygger i 2 kommuner med samme sorteringssystem.

Ved indsamling i mindre byområder, hvor indsamlingen sker separat for områder med fælles og individuelle skraldespande, kan der konstateres en større mængde affald fra boliger med individuelle skraldespande end med fælles skraldespande, også større end det kan forklares ved forskellige i husstandsstørrelse. Potentialet udnyttes således bedst i husstande med individuelle skraldespande.

Det er ikke muligt at relatere indsamlede mængder til sorteringsvejledningen eller informationsindsatsen ved etablering af kildesorteringssystemerne; men den langt største mængde pr husstand er indsamlet i et boligområde i Aalborg med individuelle skraldespande, hvor deltagelsen i indsamlingen er frivillig.

Kvalitet af indsamlet organisk dagrenovation

I fuld og storskalaundersøgelser er der afprøvet et bredt spektrum af indsamlingssystemer med indsamling af den organiske fraktion i køkkenet i papir eller plast og med opsamling i papirsække eller containere. De benyttede sorteringsvejledninger er relativt ens, selvom detaljeringsgraden i vejledninger er meget forskellige. De mest betydende forskelle er at der i

visse indsamlingsordninger, hvor affaldet komposteres, tillades bleer, kattegrus potteplanter o.l. i den organiske fraktion.

Indsamling i papirposer i køkkenet resulterer generelt i en god kvalitet uden større fejlsortering af plast. Indsamles derimod i plastposer kommer der langt større mængder plast i den organiske fraktion end det kan forklares ved mængden af indsamlingsposer og evt. plastfraktioner (bleer), der accepteres i nogle sorteringsordninger, hvor affaldet normalt komposteres.

Normalt udgør indsamlingsposer af plast og fejlsorteringer vægtmæssigt kun en meget lille del (nogle få vægtprocent) af det indsamlede organiske affald. Der er i flere undersøgelser konstateret lidt større fejlsorteringsprocent i områder med fælles skraldespande end i områder med individuelle skraldespande. Der findes dog i alle indsamlingsordninger lejlighedsvis større mængder dårligt kildesorteret organisk dagrenovation, hvor plastindholdet og fejlsorteringer ligger langt ud over det normale.

Sammensætningen af den organiske fraktion (målt som glødetab minus plast) der frasorteres i køkkenet afviger ikke mellem forskellige geografiske områder, boligtyper eller indsamlingsordninger; men der er store variationer over tid i de forskellige områder. Kvaliteten af det indsamlede organiske affald er således meget ens både bedømt på komponentindholdet (fedt, protein, træstof og kulhydrater) og på grundstofniveau (C, H, O og N).

Derimod opstår der forskelle efter indsamlingen afhængigt af indsamlingssystemet. Indsamling i plastposer (og accept af bleer i den organiske fraktion) resulterer i mere plast i affaldet end der kan forklares ved indholdet af indsamlingsposer og evt. bleer. Derudover fører accept af kattegrus og potteplanter tilsyneladende til mere uorganisk stof i det indsamlede affald.

Forbehandling af kildesorteret organisk dagrenovation

På trods af at indsamlingsposer af plast og fejlsorteringer normalt kun udgør nogle få vægtprocent af affaldet har behovet for frasortering heraf store konsekvenser for mængden og kvaliteten af biomassen til bioforgasning.

Behovet for forbehandling af affaldet for at fjerne plast og fejlsorteringer resulterer i at op imod halvdelen af det organiske materiale, der kunne indgå i bioforgasning i stedet frasorteres som rejekt sammen med plasten og forbrændes.

Selvom indsamlingsposerne ikke indeholder plastblødgørere resulterer det forhøjede plastindhold i en stærkt forøget risiko for at affaldet ikke kan overholde afskæringsværdien for plastblødgørere DEHP i Bekendtgørelse Nr. 49 af 20. januar 2000 om anvendelse af Affaldsprodukter til Jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen) således at restproduktet efter bioforgasning ikke vil kunne anvendes i jordbruget. De forbehandlingssystemer, der anvendes i dag, reducerer indholdet af plast; men sikrer ikke altid et tilstrækkeligt lavt indhold af DEHP.

Ved bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation bør der derfor ikke accepteres plast som en del af den organiske fraktion og kun benyttes plast til indsamlingsposerne, hvis der gøres en stor indsats for at undgå fejlsorteringer af plast. Endelig bør der i sådanne tilfælde vælges en type plastpose uden indhold af DEHP og en forbehandlingsmetode, der effektivt frasorterer plast.

På trods af sådanne tiltag må det uanset indsamlingssystem og forbehandlingsteknik forventes at der lejlighedsvis udtages prøver med et så højt indhold af DEHP at Slambekendtgørelsens afskæringssværdi overskrides.

Der findes i dag 4 forskellige systemer til forbehandling af kildesorteret organisk dagrenovation til bioforgasning med rapporterede resultater. To af anlæggene er i fuld skala, et er en prototype og et er et forsøgsanlæg, der har været teknisk afprøvet.

Fuldskalaanlæggene er et system baseret på neddeling og magnetseparering af kildesorteret organisk dagrenovation indsamlet i papirposer i Grindsted og et system baseret på en rullsigte i Herning. Det sidste anlæg har i de senere år håndteret betydelige mængder organisk dagrenovation indsamlet både i plast og papirposer. Anlægget er nu lukket bl.a. på grund af for store mængder plast i biomassen. En skrueseparator har været i drift igennem længere tid i forbindelse med en række storskalaforsøg i Ålborg. Anlægget er en prototype, hvis kapacitet ikke er endeligt fastlagt. Endelig har der været gennemført driftsafprøvning med en stempelseparator, hvor nogle få læs organisk kildesorteret dagrenovation har været behandlet.

Udover disse 4 anlæg findes et nyetableret rullsigteanlæg på Århus biogasanlæg; men der foreligger endnu ikke rapporterede resultater herfra. På AFAV I/S benyttes det tidligere forkomposteringsanlæg midlertidigt som forbehandlingsanlæg til kildesorteret organisk dagrenovation til bioforgasning i stedet for som tidligere til den egentlige kompostering. Endelig findes et forsøgsanlæg i fuld skala baseret på en skrueseparator på affaldsanlægget NOVEREN I/S til forbehandling af kildesorteret organisk dagrenovation.

På basis af fuld- og storskalaundersøgelserne er det dokumenteret at de 3 systemer som har været i egentlig drift er meget forskellige med hensyn til separation af den kildesorterede organiske dagrenovation i biomasse og rejekt. Neddeling og magnetseparering resulterer i en meget lille frasortering inden bioforgasning (< 1%); men til gengæld kan systemet kun håndtere kildesorteret organisk dagrenovation indsamlet i papirposer med høj kvalitet i indsamlingen. Til sammenligning giver rullesigten i gennemsnit 34% rejekt og skrueseparatoren 41% målt som vådvægt. Forbehandlingseffektiviteterne varierer betydeligt, med relative standardafvigelser i runde tal på 10-15%. Eventuelle mindre forskelle i forbehandlingseffektivitet afhængig af geografi, skraldespandssystem og forbehandlingsteknologi har derfor ikke kunnet konstateres.

De store rejektprocenter betyder at rullesigten og skruepressen fordeler rejekt og biomasse således at op imod halvdelen af det organiske stof i den indsamlede kildesorterede dagrenovation frasorteres og køres til forbrændingsanlæg.

Rullesigten har en lidt mindre frasortering af organisk materiale med rejektet; men efterlader væsentligt større partikler i biomassen end skrueseparatoren. Ved behandling på rullesigte af kildesorteret dagrenovation indsamlet i plastposer er der således behov for en efterbehandling af dette affald enten før eller efter bioforgasning for at undgå store mængder plast i den udrådnede biomasse.

Forbehandlingen af kildesorteret organisk dagrenovation må anses for at være det mest kritiske element i bioforgasning af kildesorteret dagrenovation. Der er kun meget begrænsede fuldskalaerfaringer og det eneste anlæg der har været i længerevarende drift kræver indsamling i papirposer. De systemer, der herudover har været i drift fører til at store mængder organisk stof, der kunne bioforgasses, i stedet for frasepareres som rejekt og føres til forbrænding uanset om indsamlingen sker i plast eller papirposer.

Kvalitet af kildesorteret organisk dagrenovation efter forbehandling

Biomasse fra kildesorteret organisk dagrenovation indsamlet i papirposer indeholder meget lidt plast eller andre fejlsorteringer uanset hvilken forbehandling affaldet har været underkastet. Når affaldet har været indsamlet i plastposer indeholder forbehandlede affald fra ruller sigten væsentligt mere plast end affald fra skrueseeparatoren (og fra stempelseparatoren). Det medfører at der kan opstå tekniske problemer i den efterfølgende bioforgasning, at der skal ske en yderligere fraseparering af plast inden restproduktet kan anvendes i jordbruget og at der er langt større risiko for overskridelse af Slambekendtgørelsens afskæringsværdi for plastblødgørere DEHP.

Den kemiske sammensætningen af biomassen for et givet system (geografi, indsamlingssystem, forbehandling) varierer over tid. For de væsentligste parametre er den tidsmæssige variation udtrykt som relativ standardafvigelse 3-15%. Biomassens sammensætning varierer derimod kun lidt mellem de geografiske områder. Kun ved indsamlingsordninger, hvor det organiske affald efterfølgende komposteres og hvor der tillades kattegrus, potteplanter o.l. i den grønne fraktion kan der konstateres et væsentligt forhøjet indhold af uorganisk stof.

Biomassen består typisk af 22-32% tørstof, hvoraf 83-93% er organisk stof (VS), 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, og resten beskrives som "andre kulhydrater". De væsentligste forskelle i biomassens sammensætning skyldes forbehandlingen. Generelt kan det siges, at biomasse fra skrueseparator, sammenlignet med biomasse fra ruller sigte, indeholder mere vand (relativt 7-20% mindre TS), mere fedt (relativt 10-20% mere), mindre træstof (relativt 22-40% mindre) og mere enzymfordøjeligt organisk stof (EFOS) samt mindre P (relativt 50% lavere).

Biogaspotentiale i organisk dagrenovation.

Kildesorteret organisk dagrenovation fra fælles og individuelle skraldespande fra kildesorteringsordningerne i Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg er over en 11 måneders periode hver to gange blevet behandlet på forskellige forbehandlingsanlæg: neddeling + magnetseparering, ruller sigte og skrueseparator. Det forbehandlede affald, biomassen og rejektet er karakteriseret fysisk og kemisk og metanpotentialet er målt i laboratoriet over 50 døgn. I 14 tilfælde er biomassen blevet bioforgasset på et pilot-biogasanlæg, idet metanudbyttet er bestemt efter stabil drift er opnået. Den afgassede biomasse er endvidere karakteriseret med hensyn til kemisk sammensætning og restmetanpotentiale.

Komponentsammensætning og grundstofindhold varierer meget lidt mellem biomasse fra forskellige geografiske områder og forbehandlingssystemer og der er ikke systematiske forskelle mellem geografiske områder, fælles og individuelle skraldespande eller forbehandlingsteknologi. Beregning af det

teoretiske biogaspotentiale bliver 530 Nm³ CH₄/ton VS baseret på den gennemsnitlige komponentsammensætning.

Målinger af metanpotentialet i laboratoriet over 50 døgn viser, at det organiske stof i biomassen fra forbeholdt kildesorteret organisk dagrenovation i gennemsnit har et metanpotentiale på 465 Nm³ CH₄/ton VS. Målingerne udviser nogen variation, men der er heller ikke her systematiske forskelle mellem geografiske områder, fælles og individuelle skraldespande eller forbeholdningsteknologi.

Metanudbyttet for biomasse fra kildesorteret organisk dagrenovation bestemt for 14 prøver ved bioforgasning i pilot-biogasanlæg varierede i det væsentlige mellem 300 - 400 Nm³ CH₄/ton VS, med et gennemsnit på 340 Nm³ CH₄/ton VS og et metanindhold på 62%. Variationen kan heller ikke her henføres til forskelle i geografisk område, fælles og individuelle skraldespande eller til forbeholdningsteknologien. 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.

Metanpotentialer beregnet ud fra komponentsammensætningen viser som forventet noget højere værdier end de faktisk målte ved laboratorieundersøgelser og pilot-bioforgasning.

Det er naturligvis ikke overraskende, at når den komponentmæssige og grundstofmæssige sammensætning ikke udviser store forskelle og de små forskelle ikke kan henføres til biomassens oprindelse eller forbeholdning, at der så heller ikke kan konstateres forskelle i relation hertil ved de biologiske metoder til bestemmelse af gaspotentialet i laboratoriet og til metanudbyttet ved pilot-bioforgasning, hvor forsøgsusikkerheden skønnes at være større end ved de kemiske analyser.

I tabellerne nedenfor er typetal for metan og biogasproduktionen sammenstillet opdelt på de forskellige forbeholdninger, der har indgået i undersøgelsen. Det skal bemærkes at de forskellige forbeholdningssystemer ikke håndterer helt de samme typer indsamlet affald. Tabellens tal er således påvirket af at udgangssammensætningen ikke er den samme for de tre forbeholdningsteknologier. Neddeling + magnetseparering kræver indsamling i papirposer medens de to øvrige forbeholdningsteknologier har håndteret affald fra hele spektret af indsamlingssystemer. Da indsamling i papirposer resulterer i et affald med et lidt højere indhold af organisk stof målt som VS bliver metanudbyttet pr ton TS lidt højere end for de øvrige forbeholdningssystemer.

Typetal: metan, CH ₄	Neddeling+magnetseparering	Rullesigte	Skrueseparator
Teoretisk metanpotentiale, biomasse, komponent-baseret, Nm ³ CH ₄ /ton VS	530	530	530
Metanpotentiale, biomasse, målt i batch, 50 døgn, Nm ³ CH ₄ /ton VS	465	465	465
Metanudbytte-VS, biomasse, pilot-biogasanlæg, Nm ³ CH ₄ /ton VS	340	340	340
Metanudbytte-TS, biomasse, pilot-biogasanlæg, Nm ³ CH ₄ /ton TS	306	290	290
Metanudbytte-biomasse, pilot-biogasanlæg, Nm ³ CH ₄ /ton våd biomasse	92	87	72
Metanudbytte-affald, pilot-biogasanlæg, Nm ³ CH ₄ /ton vådt affald*	91	58	45

*Indsamlet våd kil desorteret organisk dagrenovation

Antages, at metanindholdet udgør 62 volumenprocent af biogassen svarende til gennemsnittet for gassammensætningen målt i pilot-biogasanlægget er tilsvarende type tal for biogas (metan + kuldioxid) præsenteret nedenfor.

Typetal: biogas, CH ₄ + CO ₂	Neddeling+ magnetseparering	Rullesigte	Skrueseparator
Teoretisk biogaspotentiale, biomasse, komponent-baseret, Nm ³ gas/ton VS	855	855	855
Biogaspotentiale, biomasse, målt i batch, 50 døgn, Nm ³ gas/ton VS	750	750	750
Biogasudbytte-VS, biomasse, pilot-biogasanlæg, Nm ³ gas/ton VS	550	550	550
Biogasudbytte-TS, biomasse, pilot-biogasanlæg, Nm ³ gas/ton TS	490	465	465
Biogasudbytte-biomasse, pilot-biogasanl., Nm ³ gas/ton våd biomasse	148	140	116
Biogasudbytte-affald, pilot-biogasanl., Nm ³ gas/ton våd affald*	147	94	71

* Indsamlet våd kil desorteret organisk dagrenovation

Da sammensætningen af biomassen stort set er den samme uanset geografisk oprindelse er det forbehandlingseffektiviteten, der er helt afgørende for den resulterende biogasproduktion fra den indsamlede kildesorterede dagrenovation. De tre forbehandlingsteknikker er ret forskellige her således som det fremgår af tabellen.

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

Miljøvurdering af bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation

Der er gennemført modelberegninger af besparelser i energi, drivhusgasemission og næringsstoffer for bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation for 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 substitution af kunstgødning.

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 det forøgede energiforbrug til indsamling og transport af dagrenovationen ved kildesortering udgør hver for sig kun ca. 10% af energien. Dette betyder, at optimering af energibesparelsen ved bioforgasning bør fokusere på optimering af gasproduktionen, gasudnyttelsen og forbrændingen af rejektet.

Energibesparelsen ved bioforgasning af den organiske dagrenovation er den samme om forbehandlingen sker på rullesigte eller skrueseparator og er i øvrigt ikke signifikant forskellig fra forbrænding af den organiske dagrenovation samlet.

Den samlede energibesparelse er meget robust over for ændringer i det teknologiske system knyttet til bioforgasning således at radikale ændringer i rejekt mængden eller ændringer i indsamlingssystemet kun har mindre betydning. Derimod vil ændringer i energiudnyttelsen have væsentlige

konsekvenser, idet både produktionen af el og udnyttelsen af varmen spiller en væsentlig rolle.

For drivhusgasemissionen er der kun små forskelle mellem de forskellige systemer til bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation og med et system, hvor dagrenovationen brændes samlet.

Metanemissionen fra lagring af afgasset organisk dagrenovation i gyllebeholdere vurderes på baggrund af de gennemførte beregninger at udgøre ca. 8 promille af den metan, der produceres ved bioforgasning af det samme affaldsmængde i biogasreaktoren. Der vil ikke være nogen væsentlig energigevinst forbundet med at opsamle denne metan, men emissionen vil have nogen effekt på systemets drivhusgasbalance. For det samlede biogassystem svarer dette således til, at metanemissionen fra lagring af afgasset affald vil reducere den samlede besparelse på drivhusgasregnskabet med ca. 4%.

Besparselsen i N, P og K er alene knyttet til bioforgasningen således at rejktmængder, der går til forbrænding fører til et væsentligt tab af næringsstoffer. Efter forbehandling på rullsigte eller skruepresse spares pr. ton indsamlet våd kildesorteret organisk dagrenovation (svarende til årligt indsamlet mængde fra ca. 15 personer) 5-7 kg N, 0,5-1 kg P og 1,5-2 kg K. Ved behandling af kildesorteret organisk dagrenovation indsamlet i papirposer således at forbehandlingen kun består i neddeling og magnetseparering, er rejktmængden marginal og besparelse derfor stort set dobbelt så stor.

Der er i undersøgelserne konstateret store lokale og tidsmæssige variationer både i affaldets sammensætning, forbehandlings effektivitet, i metanpotentialer og delvist også i pilot-biogasanlæggets metanudbytte. Men da projektet har omfattet mange prøvetagninger, karakteriseringer og forsøg vurderes det, at de gennemførte gennemsnitsbetragtninger bygger på et godt grundlag og derfor på rimelig vis repræsenterer danske forhold hvad angår bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation.

Summary and conclusions

This report summarises a number of technical examinations regarding collection, pre-treatment and digestion of source sorted household waste. The examinations are made during the recent years. The main part of the examinations has been financed by the Danish Environmental Protection Agency but also other authorities, organisations and companies have supported the examinations.

The activities have been concentrated on collection, pre-treatment and characterisation of the source sorted household waste in order to estimate the gas potential. Only few activities has been made on the digestion itself but some earlier examinations within this area is summarised in a status report. One examination deals with limitations in the use of residues from digestion of source sorted household waste caused by content of heavy metals and organic hazardous substances regulated in the Danish legislation. This report does not include evaluation according to the coming EC animal by-products regulation that will be implemented spring 2003.

An environmental assessment of the different systems for handling and treatment of organic solid waste is performed as a supplement to the technical examinations.

An examination of the possible sale of residues from digestion that fulfils the present guidelines for agricultural use has been performed in addition to technical examinations. Further a system analyses and an economical analysis of recycling of household waste have been performed. The results from these examinations are not included in the summary but the results can be found in the reports *Aspects of sale og digested organic waste (in Danish)*, *Systems Analysis of Organic Household Waste Management in Denmark* and *Economical analysis of increased recycling of organic household waste (in Danish)*. These reports will be published by the Danish Environmental Protection Agency.

The summary doesn't contain evaluation of the economy of digestion of household waste or the organisational aspect related to collection, pre-treatment and digestion.

The basis for the status for digestion of source sorted household waste

Collection, pre-treatment and the composition of source sorted household waste have been evaluated in connection with full and large-scale examinations. Several methods for source sorting, collection and pre-treatment have been tested in Grindsted, Copenhagen, Kolding, Vejle and Aalborg. The results are summarised in the report *Connection between sorting, pre-treatment and quality of biomass (in Danish)*, and the attached data rapport *Data report on composition and biogas potential of organic household waste (in Danish)*. The results from the different cities are further described in details in the three reports *Full-scale experiments in Greater Copenhagen (in Danish)*, *Collection of organic waste from households, small commercial kitchens and food stores in the municipality of Aalborg (in Danish)* and *Full-scale experiments in Kolding (in Danish)*.

The composition of household waste including the organic fractions has been mapped in an examination of 10 selected residential areas spread over Denmark. The results are presented in the report *Evaluation of systems for home composting and analyses of the composition of household waste (in Danish)*.

The pre-treatment facilities included in the full and large-scale examinations have been described and evaluated as a part of the examinations. Further test results from a pressure separator for source sorted household waste are described in the report *Pre-treatment of organic household waste by hydraulic pressure separation*. These description covers the main types of systems for pre-treatment of source sorted household waste in Denmark. Only an old rotating drum for composting now used for pre-treatment of source sorted household waste for digestion and systems for optical sorting of source sorted household waste used in Vejle and Århus are not included. In Vejle the waste is composted and the system i Århus has just started at the end of the present project.

Full-scale digestion of source sorted household waste is today only performed at a few places with co-digestion with manure or wastewater sludge (Grindsted). No examination of full-scale digestion of source sorted household waste has been performed in recent years, but earlier results have been summarised and evaluated in an appendix to the report *Documentation for biogas potential of organic household waste (in Danish)*.

A great number of samples of pre-treated source sorted household waste together with the reject from the pre-treatment have been collected in connection with the five full and large scale examinations described above. This sampling program has enabled a detailed characterisation of the composition of source sorted household waste before and after pre-treatment. The biomass and the reject has been characterised with respect to dry matter, volatile dry matter and water, further the component of the organic matter (fat, protein, fiber and carbohydrates) and the elements (C, H, O, N) has been found. Finally methane production has been found in digestion experiments in laboratory and pilot scale. Consequently the biogas potential can be found from the components in the waste, the elements and from direct measurements. The results are presented in the report *Documentation for biogas potential of organic household waste (in Danish)* and in the data report including all individual measurements *Data rapport on composition and biogas potential of organic household waste (in Danish)*.

Earlier examination of compliance with regulation of use of residues from digestion in agriculture has shown that non-compliance is sometime seen. Especially content of plasticisers (DEHP) exceed the limit. Source sorted household waste is examined at 6 plants and the results are presented in the report *DEHP in household waste (in Danish)*.

A summary of the reports presented above is given in order to present a short, coherent evaluation of the technical problems related to digestion of source sorted household waste i n Denmark. In the following chapters each report or group of report is presented and the results are summarised.

Collection of source sorted household waste

Existing systems for collection of source sorted household waste and large-scale experiments shows that 60 kg to 90 kg source sorted household waste can be collected per person and year as a mean for greater areas. For smaller

residential areas great variation exists, but no direct reason for the variation can be found. Neither housing type nor system for collection has a significant impact.

The collection efficiency is about 80% of the potential found from detailed sorting of unsorted household waste. Such detailed sorting shows that great variation exists in mass and composition from different areas. The organic fractions however deviate only slightly between areas with apartment blocks and with single-family houses. Differences were mainly related to difference in household size. Much greater variation was found between different geographical areas than between the two types of housing areas.

Much greater differences are found between different geographical areas with source sorting than can be explained by the sorting system or the housing type. A factor of two between the collected waste per inhabitant is found from two municipalities with the same collection system.

Separate collection in smaller areas however shows that collection from apartment blocks results in lesser waste than from single-family houses. The difference can't be explained by the different household size. Thus showing that the potential for collection of organic waste is better utilised here.

It was not possible to relate the collection efficiency to the sorting instruction or the information activities in connection with the introduction of the sorting. Most waste per household were found in an area with single-family houses in Aalborg where participation in the collection was optional.

Quality of collected source sorted household waste

A broad spectrum of systems for collection of source sorted household waste has been tested in full and large-scale examinations. In the kitchen paper and plastic bags have been tested and collection in paper sacs and containers have been used. The sorting instructions have been rather similar but differences in how detailed the fractions were described. Some differences exist between systems for digestion and system where the waste is composted as nappies, cat soil and potted plants are accepted here as organic waste.

Collection in paper bags in the kitchen resulted in a good quality of the organic fraction with minor content of plastic. In contrast collection in plastic bags resulted in much more plastic than can be explained by the bags and the nappies accepted in some collection systems meant for composting of the organic waste.

Typically collection bags and other missorted material make up only few percent of the total collected organic waste. In several examinations missorting is greater in areas with apartment blocks than in areas with single-family houses. However in all collection systems poor sorted household waste is sometimes found, where plastic and other missorted material is much higher than normal.

The composition of the organic fraction collected in the kitchens (measured as volatile solids minus plastic) don't deviate between geographical areas, housing type or collection system, but great variations exist over time within each area. The quality of the organic fraction is very similar evaluated based on the components in the waste (fat, protein, fiber and carbohydrates) and on the elements (C, H, O and N).

In contrast differences appears after collection of the waste. Collection in plastic bags (and in cases where nappies are accepted as part of the organic waste) results in more plastic in the waste than can be attributed to the collection bags and the nappies. Furthermore acceptance of cat soil and potted plants in the organic waste seems to increase the content of non-volatile solids (ash) in the collected waste.

Pre-treatment of source sorted organic household waste

In spite of the low weight of the fraction of plastic collection bags and other missorted material the need for its removal from the organic waste have great impact for the amount and quality of the waste for digestion.

The need for pre-treatment of the collected waste in order to remove plastic and missorted material results in that up to about half the organic material, that could be digested is sorted out as reject together with the plastic and goes to incineration.

Even collection bags of plastic don't contain plasticisers the elevated content of plastic results in increased risk that the waste can't pass the limits for plasticisers (DEHP) stated in the Statute Nr. 49 of 20. January 2000 about utilisation of waste in agriculture (Statutes for sludge). In such cases the residuals can't be accepted for agricultural use. The pre-treatment systems used today reduces the plastic content in the waste but will not always secure at sufficient low content of DEHP.

If source sorted household waste have to be digested, plastic should not be accepted as part of the organic fraction. Plastic bags should only be accepted for collection, if great effort is done to avoid missorting of plastic. In such cases plastic bags without DEHP should be used and pre-treatment with effective separation of plastic should be selected.

In spite of effort to reduce plastic in the organic waste it is to be expected in all type of collection and pre-treatment systems that there now and then will be taken samples from the waste with content of DEHP exceeding the limit of the Statutes for sludge.

Today four different pre-treatment systems for source sorted household waste have reported results in Denmark. Two plants are in full scale, one is a prototype and the last one an experimental system, that has been tested.

One of the full-scale plants is based on shredding and magnetic separation of source sorted household waste collected in paper bags in Grindsted and the other a disk screen in Herning. The latter plant has in recent years treated a lot of organic waste collected in plastic as well as paper bags. The plant has just been closed down due to too much plastic in the sorted material. A screw separator has been in operation for a longer period in connection with a large-scale experiment in Aalborg. The plant is a prototype and the capacity has not been finally settled. Finally a pressure separator has been tested treating few loads of source sorted household waste.

Further a new disk screen plant is lately established at the biogas plant in Århus, but no results have been reported. At AFAV I/S the former rotating drum for composting is used as a preliminary pre-treatment plant for source sorted household waste for digestion. Finally a plant based on a screw

separator is operation at NOVOREN I/S for treatment of source sorted household waste.

Based on full and large scale examinations it is documented that the three systems in operation is very different with respect to separation of the source sorted household waste in biomass and reject. Shredding and magnetic separation lead to minor separation of reject (<1%), but the system can only handle source sorted household waste collected in paper bags with good quality in the collection. In comparison the disk screen produce 34% reject and the screw separator 41% based on wet weight of the waste. The pre-treatment efficiencies vary a lot with relative standard deviation of around 10-15%. Consequently smaller differences in efficiency related to residential area and collection system hasn't been noticed.

The high reject percents mean that the disk screen and the screw separator divide reject and biomass so that up to half the organic matter that is collected is sorted out as reject and incinerated.

The disk screen sort out a little less of the organic material but leave larger particles in the biomass than the screw separator. Consequently pre-treatment of source sorted household waste collected in plastic bags on the disk screen requires further treatment of the waste before or after digestion in order to avoid plastic in the residues from digestion.

Pre-treatment of source sorted household waste is the most critical stage in digestion of source sorted household waste. Full, scale experience is limited and the only plant in operation today in Denmark needs collection in paper bags. Other systems that have been in operation sort out a great part of the organic matter for incineration independent of collection in plastic or paper bags.

Quality of source sorted household waste after pre treatment

Biomass from source sorted household waste collected in paper bags contain minor plastic or other missorted material independent of the pre-treatment used. When collection is made in plastic bags the biomass after pre-treatment contain more plastic after pre-treatment on the disk screen than on the screw separator (and from the pressure separator). It means that technical problems may arise in the digestion process and that further separation of plastic is needed before the residues from digestion can be used in agriculture. Further a greater risk is that the limits of the Statutes for sludge are exceeded.

The chemical composition of the biomass from a defined system (residential area, collection system, pre-treatment technology) varies in time. For the most important parameters the relative standard deviation is 3-15%. In contrast the composition of the biomass vary only slightly between the different areas. In collection systems, where the organic waste is composted and where cat soil and potted plants are accepted in the organic fraction the content of inorganic matter is elevated.

The biomass typically consists of 22-32% dry matter, where 83-93% is organic matter (Volatile Solids), 10-14% crude fat, 13-15% crude protein, 10-16% starch, 4-10% sugar and 16-24% crude fiber. These components make up 80% of the organic matter as a mean and the remaining organic matter is assumed to be "other sugars". The main variation in the composition is related to the pre-treatment. In general the biomass from the screw separator

compared to the disk screen contain more water (relative 7-20% less dry matter), more crude fat (relative 10-20% more), less crude fiber (relative 22-40% less), more enzyme digestible organic matter and less P (relative 50% less).

Biogas potential in organic household waste

Source sorted household waste from apartment blocks and areas with single-family houses in Grindsted, Copenhagen, Kolding, Vejle and Aalborg has been sampled twice during a period of 11 month. The waste has been pre-treated on three different pre-treatment plants: shredding+magnetic separation, disk screen and screw separator. The pre-treated waste the biomass and the reject has been characterised physically and chemically and the methane potential has been measured in laboratory during 50 days. In 14 cases the biomass has been digested in a pilot scale digester and the methane yield is found under stable operation. The digested biomass has been characterised with respect to chemical composition and residual methane potential.

The component composition and the composition of elements vary only slightly between biomass from different geographical areas, housing type and pre-treatment systems. The theoretical methane potential based on the mean component composition is found to be $530 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$.

Measurement of the methane potential in the laboratory after 50 days shows that pre-treated source sorted household waste as a mean has a methane potential of $465 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$. Some variations exist, but no difference is found between geographical area, housing type or pre-treatment technology.

The methane yield for biomass from pre-treated source sorted household waste is found from pilot scale digestion of 14 different samples digested in pilot scale. The yield varies in the range of $300\text{-}400 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$, with a mean value of $340 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$ and methane content at 62%. The variations can't be related to geographical area, housing type or pre-treatment technology. After digestion the biomass has a potential for further methane production of $40\text{-}50 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$ originally supplied to the pilot digester corresponding to in average 10-15% additional methane.

The methane potential calculated from the component composition or from the content of elements shows as expected higher values than the measured values in laboratory or pilot scale.

It is not surprising that when the variation in components and in the elements is small and the small differences is not related to the origin of the biomass then the same is seen for the biological method for measurement of the methane potential in the laboratory and the methane yield i pilot scale, where the experimental uncertainty is expected to be greater than the uncertainty of the chemical analysis.

In the tables below key figures for methane and biogas production is shown separately for the different pre-treatment systems present in Denmark today. It shall be noted that the different pre-treatment systems do not treat exactly the same waste. Consequently the numbers in the table is influenced by differences in the collected waste. Shredding+magnetic pre-treatment needs collection in paper bags whereas the two other pre-treatment systems treats waste collected in paper and plastic bags. As collection in paper bags leads to

waste with a slightly higher content of organic matter measured as volatile solids the methane yield pr ton of dry matter will be higher than for the other pre-treatment systems.

Key figures: methane, CH ₄	Shredding+ magnetic separation	Disc screen	Screw separator
Theoretical methane potential, biomass, component-based, Nm ³ CH ₄ /ton VS	530	530	530
Methane potential, biomass, measured in batch, 50 days, Nm ³ CH ₄ /ton VS	465	465	465
Methane yield-VS, biomass, pilot-scale biogas plant, Nm ³ CH ₄ /ton VS	340	340	340
Methane yield-TS, biomass, pilot-scale biogas plant, Nm ³ CH ₄ /ton TS	306	290	290
Methane yield-biomass, pilot-scale biogas plant, Nm ³ CH ₄ /ton wet biomass	92	87	72
Methane yield -waste, pilot-scale biogas plant, Nm ³ CH ₄ /ton wet waste*	91	58	45

*Collected wet source sorted organic fraction of household waste

Assuming that the methane content is 62% of the biogas like the mean value found in the pilot experiments similar key figures for biogas (methane+carbon dioxide) is presented below.

Key figures: biogas, CH ₄ + CO ₂	Shredding+ magnetic separation	Disc screen	Screw separator
Theoretical Biogas potential, biomass, component-based, Nm ³ CH ₄ /ton VS	855	855	855
Biogas potential, biomass, measured in batch, 50 days, Nm ³ CH ₄ /ton VS	750	750	750
Biogas yield-VS, biomass, pilot-scale biogas plant, Nm ³ CH ₄ /ton VS	550	550	550
Biogas yield-TS, biomass, pilot-scale biogas plant, Nm ³ CH ₄ /ton TS	490	465	465
Biogas yield-biomass, pilot-scale biogas plant, Nm ³ CH ₄ /ton wet biomass	148	140	116
Biogas yield -waste, pilot-scale biogas plant, Nm ³ CH ₄ /ton wet waste*	147	94	71

*Collected wet source sorted organic fraction of household waste

As the composition of the biomass is very similar independent of the origin of the waste it is the pre-treatment efficiency that will dominate the resulting biogas production from the collected waste. The three pre-treatment system deviates as can be seen from the table.

The organic matter in the reject is fundamentally not different from the organic matter in the biomass and did also reveal substantial methane potential, although based on VS, about 25-40% less than the potential in the biomass.

Environmental assessment of digestion of source sorted household waste

Savings in energy, global warming potential and nutrient recovery from source separated organic household waste were modelled for a range of scenarios with different sorting criteria, collection system, pre-treatment, digestion and incineration of the reject. Models were also made considering only incineration of the organic waste. Transport, process energy, energy production as well as substitution of artificial fertilizers are considered in the models.

Savings in energy by digestion of the organic household waste is independent of the pre-treatment technology and in general not very different from the savings obtained by incineration of the organic household waste from Grindsted, Copenhagen, Kolding and Vejle, while there is a minor advantage (ca. 9%) in the case of waste from Aalborg.

The digestion of the biomass and the incineration of the reject contribute equally to the production of energy when both systems are operated with power and heat production. The largest saving in energy is obtained when the dry matter is recovered in the reject and the water in the biomass. The savings in energy by substituting artificial fertilizer and the energy used on collection and transport of the waste each corresponds to about 10% of the energy obtained in the system. This suggests that optimisation of the energy savings by digestion of organic waste should focus on optimising the gas production in the digester, the gas utilization and the incineration of the reject.

The overall saving in energy is not very sensitive to changes in the technological system. The crucial issue is in all cases that efficient energy savings require that both electricity and heat are produced.

Recovery of N, P and K does not exist by incineration, but by digestion each ton of wet source separated organic household waste contributes with 5-7 kg N, 0.5-1 kg P and 1.5-2 kg K for most of the systems applicable to Copenhagen, Kolding, Vejle and Aalborg. In Grindsted, where the waste is very clean and a magnetic separator is the only pre-treatment, about twice as much is recovered in terms of nutrients, since the reject is negligible.

The investigation revealed large geographical and seasonal variations in waste composition, pre-treatment efficiencies, methane potentials and in methane yields. However, the large number of samples involved and the extensive characterization performed suggest that the evaluations and conclusions made reasonably well represent typical Danish conditions regarding source separation and digestion of organic household waste.

1 Indledning

Denne rapport sammenfatter resultater fra en række undersøgelser vedrørende tekniske forhold omkring bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation gennemført i de senere år. De fleste af undersøgelserne er initieret og finansieret af Miljøstyrelsen gennem en række bevillinger under programmet for Renere teknologi m.v. Mange andre aktører indenfor området har dog også deltaget og finansieret dele af undersøgelserne.

1.1 Undersøgelsesnes baggrund

Folketinget skal i løbet af foråret 2003 debattere den kommende affaldsplan 2004-2008 herunder tage stilling til den fremtidige håndtering af dagrenovationen i Danmark. Miljøstyrelsen har gennem en årrække finansieret en række projekter med henblik på at etablere det faglige og økonomiske beslutningsgrundlag for en eventuel gennemførelse af kildesortering med efterfølgende bioforgasning af organisk dagrenovation i Danmark.

Avdelningen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Lunds Tekniska Högskola og Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet har fået fik til opgave at sammenstille de indvundne tekniske erfaringer med indsamling, forbehandling og bioforgasning af organisk dagrenovation.

Sammenstillingen er baseret på projekter med meget brede målsætninger, hvor en række kommuner fik bevilliget støtte til at gennemføre forsøg med kildesortering og forbehandling inden bioforgasning i stor skala. Senere indgik disse projekter i et større samlet projektkompleks vedrørende **Sammenhæng mellem sortering, forbehandling og kvalitet af biomasse og Basisdokumentation for biogaspotentiale i organisk dagrenovation**, hvor der på basis af historiske erfaringer og helt aktuelle meget omfattende fuld- og storskalaforsøg er etableret det faglige grundlag for bedømmelse af sammenhængen mellem de kildesorteringsordninger der er etableret, effekten af den tilhørende forbehandling inden bioforgasning og kvaliteten af biomassen. Samtidig er der gennem projektkomplekset etableret dokumentation for affaldets sammensætning før og efter forbehandling ligesom biogaspotentialet er fastlagt.

Herudover er der gennemført en række enkeltstående projekter vedrørende teknologiudvikling af forbehandlingsudstyr og kvalitet af restprodukter.

Udover projekter til belysning af de tekniske forhold vedrørende bioforgasning af dagrenovation er der gennemført projekter om de organisatoriske forhold vedrørende etablering af biogasanlæg og om muligheder og begrænsninger for udnyttelse af restprodukter fra bioforgasning af dagrenovation i jordbruget. Disse projekter indgår ikke i denne sammenfatning af de tekniske forhold vedrørende bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation.

1.2 Formål og begrænsninger

Rapportens formål er at give en kort sammenfatning af de seneste tekniske erfaringer med indsamling, forbehandling og bioforgasning af organisk dagrenovation med udgangspunkt i den lange række af undersøgelser, der er gennemført. I sammenfatningen indgår kun rapporterede resultater, således at rapporten ikke vil dække alle aktiviteter der er sket indenfor området. En række igangværende undersøgelser f.eks. i forbindelse med indkøringen af indsamling og bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation i Århus og etablering af lavteknologiske biogasanlæg er endnu ikke afsluttet og afrapporteret og indgår derfor ikke i sammenfatningen. Forsøgene i Århus forventes dog afrapporteret som Miljøprojekt med titlen *Fuldskalaforsøg i Århus*.

1.3 Rapportens opbygning og oversigt over undersøgelser, der indgår i vurderingerne

Denne sammenfattende rapport er kun mulig fordi der gennem de senere år har været etableret og afrapporteret en lang række undersøgelser vedrørende et bredt spektrum af tekniske problemstillinger knyttet til bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation. En række rapporter ligger direkte til grund for rapportens vurderinger og konklusioner:

Indsamlede mængder og kvalitet af kildesorteret organisk dagrenovation beskrevet i Kapitel 2 er baseret på storskalaforsøg beskrevet i en række rapporter om forsøg i Hovedstadsområdet, Kolding og Aalborg /1/, /2/ og /3/ sammenfattet i rapporten *Bioforgasning af organisk dagrenovation: Sammenhæng mellem sortering, forbehandling og kvalitet af biomasse* /4/ og på resultater fra anlæggene i Grindsted og Vejle. Herudover suppleres med resultater for de faktiske indsamlede mængder organisk dagrenovation fra /8/, hvor der med udgangspunkt i spørgeskemaer til alle de kommuner og områder, hvor der aktuelt (medio 2001) indsamles organisk dagrenovation til bioforgasning eller kompostering er etableret et datagrundlag dækkende større områder. Endelig er inddraget resultaterne af en netop afsluttet undersøgelse af mængder og sammensætning af dagrenovation /5/.

Forbehandling af kildesorteret organisk dagrenovation beskrevet i Kapitel 3 er baseret på beskrivelserne og effektiviteten af de forskellige systemer som de findes i rapporten *Bioforgasning af organisk dagrenovation: Sammenhæng mellem sortering, forbehandling og kvalitet af biomasse* /4/ og *Datarapport om sammensætning og biogaspotentialer i organisk dagrenovation* /6/. Herudover indgår resultaterne af en teknisk afprøvning af en ny teknologi til forbehandling baseret på en stempelseparator på AFAV I/S rapporteret i *Forbehandling af organisk husholdningsaffald ved hydraulisk stempelseparation* /7/.

Biogaspotentialer og karakteriseringen af kildesorteret organisk dagrenovation beskrevet i Kapitel 4 er baseret på rapporten *Basisdokumentation for biogaspotentialer i organisk dagrenovation* /8/, hvor resultaterne fra en nyligt gennemført stor undersøgelse er rapporteret. Rapporten indeholder derudover en sammenstilling af hidtidige rapporterede, danske undersøgelser af bioforgasning af organisk dagrenovation.

Tungmetaller og organiske miljøfarlige stoffer i kildesorteret organisk dagrenovation er beskrevet i Kapitel 5 og er baseret på Miljøprojekt Nr. 702

2002 DEHP i husholdningsaffald /9/ og på undersøgelser i forbindelse med storskalaforsøget i Aalborg /3/. I begge rapporter findes resultater for DEHP og cadmium, der potentielt kan give de største problemer med jordbrugsanvendelsen af restprodukter fra bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation.

Miljømæssige vurderinger af bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation sammenfattet i Kapitel 6 er alene baseret på rapporten *Basisdokumentation for biogaspotentialer i organisk dagrenovation* /8/.

2 Mængder og kvalitet af kildesorteret organisk dagrenovation

Datagrundlaget for vurderingen af mængden og kvaliteten af kildesorteret organisk dagrenovation udgøres af undersøgelser i forbindelse med fuld- og storskalaforsøg i en række større byer. Derudover foreligger resultatet af en spørgeskemaundersøgelse til alle de kommuner og affaldsselskaber, der aktuelt indsamler kildesorteret organisk dagrenovation til bioforgasning og kompostering. Endelig kan de indsamlede mængder sammenholdes med potentialet bedømt ud fra indholdet af organisk affald i usorteret dagrenovation i kraft af en nyligt afsluttet undersøgelse af mængde og sammensætning af dagrenovation.

2.1 Resultater fra fuld- og storskalundersøgelser af indsamling af kildesorteret organisk dagrenovation

Resultaterne er samlet i rapporten *Sammenhæng mellem sortering, forbehandling og kvalitet af biomasse /4/*. Den kildesorterede organiske dagrenovation er indsamlet i 5 områder med et bredt spektrum af indsamlingssystemer. Der er benyttet relativt ensartede sorteringsvejledninger, selvom detaljeringsgraden er meget forskellig. Informationsindsatsen i forbindelse med etablering og drift af ordningerne har også været meget forskellig.

Følgende områder indgår:

1. Grindsted: Dagrenovation kildesorteres permanent i byområdet. Der anvendes papirpose i køkkenet og papirsæk til den organiske fraktion udendørs. I alt indsamles organisk affald fra 8.050 husstande.
2. Hovedstadsområdet: Dagrenovation kildesorteres i forsøgsområder. Der anvendes papirpose i køkkenet og containere eller papirsække udendørs til den organiske fraktion. I alt indsamles organisk affald fra 16.360 husstande.
3. Kolding: Dagrenovation kildesorteres i forsøgsområder i plastpose i køkkenet og papirsæk udendørs. I alt indsamles organisk affald fra 586 husstande.
4. Vejle: Dagrenovation kildesorteres permanent i en organiske fraktion og restaffald. Der sorteres i to forskelligt farvede plastposer i køkkenet og de samles i en udendørs plastbeholder. Poserne sorteres i et optisk sorteringsanlæg. I alt indsamles organisk affald fra 26.339 husstande.
5. Aalborg: Dagrenovation kildesorteres i forsøgsområde med frivillig deltagelse. Der anvendes plastpose i køkkenet og plastbeholder udendørs. I alt indsamles organisk affald fra 2.294 husstande.

Tabel 2.1 viser sammenstillingen af områdernes indsamlingsordninger og tabel 2.2 og 2.3 sammenhængen mellem indsamlingssystem, mængde og kvalitet af kildesorteret organisk dagrenovation for hvert geografisk område opdelt på områder med fælles og med individuelle skraldespande.

Tabel 2.1 Indsamlingsystem i Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg (efter /4/)

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

Ved indsamlingen i de 5 byområder har der været anvendt et bredt spektrum af indsamlingsmetoder. I køkkenet har det organiske affald været indsamlet i papir eller plastposer og udendørs er indsamlingen sket i papirsække eller containere. Affald i Vejle sorteres i forskelligt farvede poser i køkkenet og indsamles samlet til efterfølgende sortering i et optisk sorteringsanlæg, svarende til det system, der er under indkøring i Århus.

Sorteringsvejledningerne har i det store og hele foreskrevet den samme sortering i organisk fraktion og restfraktion selvom der er stor forskel på vejledningernes detaljeringsgrad og på informationsindsatsen ved systemernes etablering og drift. Der er forskel på om kødben og knogler hører til den organiske fraktion. Bleer, kattegrus og potteplanter indgår kun som organisk affald i sorteringsvejledninger, hvor det organiske affald normalt komposteres (Kolding og Vejle) og forventes således ikke at indgå i fremtidige sorteringsordninger, hvor affaldet skal bioforgasses.

Tabel 2.2 Fælles skraldespande: Indsamlingsfrekvens, mængde, fejlsortering, tørstof (TS) i biomasse og rejekt samt glødetab (VS) i % af TS i rejekt (efter /4/)

Fælles skraldespande	Hovedstad	Kolding	Vejle	Aalborg
Frekvens (dage)	7	14	7	7
Mængde kg/bolig/uge	1,17	3,1	1,76	1,4
Fejlsortering %	4,5	²	³	2,1
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 2.3 Individuelle skraldespande: Indsamlingsfrekvens, mængde, fejlsortering, tørstof (TS) i biomasse og rejekt samt glødetab (VS) i % af TS i rejekt (efter /4/)

Individuelle skraldespande	Grindsted	Hovedstad	Kolding	Vejle	Aalborg
Frekvens (dage)	14	14 ¹	14	7	14
Mængde kg/bolig/uge	2,75	3,43	3,6	2,62	5,7
Fejlsortering %	0,2	1,3	²	³	0,8
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

Det ses af tabellerne at der er stor forskel på mængden af organisk affald, der indsamles fra den enkelte husstand i områder med fælles og med individuelle skraldespande og store variationer mellem de forskellige byområder. Det skal noteres at mængderne ikke er opgjørt på samme måde, idet der i nogle områder er tale om direkte indvejede mængder, i andre er benyttet opgjørt

¹ Frekvensen varierer i forskellige kommuner jfr. beskrivelse i /4/.

² Fejlsorteringer er ikke målt i Kolding.

³ Fejlsorteringer er ikke målt i Vejle.

årsmængder og endelig i nogle er tale om standardtal. For områder med fælles skraldespande varierer den indsamlede mængde mellem 1,17 og 3,1 kg/husstand pr uge og tilsvarende varierer den indsamlede mængde mellem 2,62 og 5,7 kg/husstand pr uge for områder med individuelle skraldespande. Det er ikke muligt at relatere den indsamlede mængde til sorteringsvejledningerne eller til indsamlingssystemet. Det er således i overvejende grad det geografiske område og boligtypen som bestemmer mængden af organisk affald pr husstand. De største mængder på 5,7 kg/husstand pr uge indsamles i Aalborg i et område med individuelle skraldespande, hvor det er frivilligt om den enkelte husstand deltager.

Der har være nogen variation i frekvensen for indsamling af den organiske fraktion og restaffald i de 5 byområder, således at der er erfaringer med indsamling af hver fraktion både hver uge og hver 14'ende dag. Indsamling sker dog i de fleste tilfælde skiftevis hver anden uge af de to fraktioner. Specielt i Vejle sker indsamlingen dog hver uge af begge fraktioner, da de indsamles samtidig med efterfølgende sortering på et optisk sorteringsanlæg.

Mængden af fejlsorteringer er opgjort på forskellig måde i de forskellige områder således at en direkte sammenligning ikke er muligt. Generelt anses det dog for muligt at opnå en god kildesortering med nogle få % fejlsorteringer i den organiske fraktion med den bedste sortering i områder med individuelle skraldespande. Der er stor forskel på informationsindsatsen i forbindelse med introduktion af kildesortering i nye område men der er ikke direkte sammenhæng mellem informationsindsatsen og sorteringskvaliteten.

Der er ikke væsentlig forskel på tørstof og glødetab i forbehandlet kildesorteret organisk dagrenovation fra områder med fælles og fra individuelle skraldespande. Affald der er indsamlet i papirsække giver et noget vådere rejekt end affald indsamlet i containere, det skyldes antageligt at papiret, der ender i rejekt, holder på vandet.

2.2 Status år 2000 for danske erfaringer om indsamlede mængder af kildesorteret organisk dagrenovation

En statusopgørelse over danske erfaringer med indsamlede mængder af kildesorteret organisk dagrenovation er præsenteret i /8/. Da der kun få steder sker indsamling af kildesorteret organisk dagrenovation til bioforgasning – nemlig i Grindsted (bioforgasning i renseanlæggets rådnetank), i Herning (bioforgasning på biogasfællesanlægget Studsgård) og i Aalborg (begrænset frivillig ordning til separat bioforgasning på forsøgsanlæg, nu i Vaarst-Fjellerad), blev undersøgelsen udvidet til også at omfatte kommuner/anlæg, som indsamler/har indsamlet organisk dagrenovation med henblik på kompostering.

Undersøgelsen blev herefter udformet som en spørgeskemaundersøgelse til følgende kommuner/anlæg:

- AFAV I/S, Frederikssund, for interessentkommunerne (oprindeligt kompost, nu biogas)
- Grindsted kommune (biogas)
- Herning kommune (biogas)
- NOVEREN I/S, Audebo, for interessentkommunerne (oprindeligt kompost, nu biogas)

- Vejle kommune (kompost)
- Aalborg kommune (biogas)
- Århus kommune (kompost, fra medio 2001 biogas)

I alt er 5 kommuner, samt to affaldsselskaber med i alt 15 kommuner medtaget i undersøgelsen. Dette svarer til et befolkningsunderlag i indsamlingsområderne på ca. 335.000 personer (2000).

Der er en stor variationsbredde i de indsamlede mængder, fra ca. 35 til ca. 110 kg pr. person og år i de forskellige kommuner. Selv i kommuner, som hører under samme selskab og derfor har ens sorteringsforskrifter, var spredningen på en faktor 2.

Der kunne ikke konstateres nogen entydig sammenhæng mellem sorteringsforskrifter og mængder. Det kunne heller ikke entydigt fastslås, at der indsamles større mængder til kompostering end til bioforgasning, selvom sorteringsvejledningerne her i flere tilfælde tillader flere fraktioner f.eks. kattegrus og bleer i den organiske fraktion.

Ud fra de foreliggende data er det vurderet, at det er muligt at indsamle omkring 90 kg organisk affald pr. person og år til bioforgasning i mindre kommuner, hvor der gøres en stor indsats for information og opfølgning. I større områder tyder datamaterialet på, at der til bioforgasning kan indsamles omkring 60 kg organisk affald pr. person og år.

2.3 Status for indsamlingspotentialer

Potentialet for indsamling af kildesorteret organisk dagrenovation fundet ved ovennævnte undersøgelse fra ordninger i drift og fra storskalaforøg kan sammenholdes med det potentiale, der findes ved detailundersøgelser af dagrenovationens sammensætning. En sådan kortlægning dækkende de aktuelle forhold i Danmark er præsenteret i projektet "*Evaluering af ordninger for hjemmekompostering samt kortlægning af dagrenovationens sammensætning*" /5/. Her er mængde og sammensætning af dagrenovation kortlagt afhængig af boligtype og husstandsstørrelse. Projektet indeholder ud over kortlægningen af dagrenovationens sammensætning også en evaluering af ordninger for hjemmekompostering. Effekten af hjemmekompostering på den konstaterede sammensætningen af dagrenovationen vurderes at være begrænset, således at spørgsmålet om hjemmekompostering ikke berøres nærmere her, hvor der alene er tale om at vurdere de indsamlede mængder ved aktuelle undersøgelser med potentialet.

Undersøgelsen omfatter indsamling af dagrenovation fra ca. 2.000 husstande i følgende kommuner: Bjerringbro, Brøndby, Frederikshavn, Gladsaxe, Hillerød, København, Odense, Randers, Stubbekøbing, Viborg og Årsløv, hvor Årsløv dog blev udsendt af den samlede datasammenstilling, da der var langt mindre dagrenovation pr. husstand end for de øvrige områder.

I undersøgelsen indgår herefter 10 stikprøver omfattende i alt 1.607 husstande i enfamilieboliger og 603 husstande i etageboliger. Hver stikprøve afspejler sammensætningen af boligtyper i det pågældende område og sammensætningen af stikprøver er valgt, så de i videst muligt omfang svarer til fordelingen af husstandsstørrelse og boligtype på landsplan.

Fra hver husstand er der udtaget én uges dagrenovation. Affaldet er efterfølgende sorteret i 19 fraktioner, der alle er blevet vejet og registreret. For visse fraktioner er der herudover foretaget yderligere sortering i underfraktioner; men kun for en del af det indsamlede materiale. Den mængde der registreres svarer til sammensætningen af affald efter en uges henstand. Mens affaldet henstår opsuger nogle fraktioner væde fra andre. Denne fugtvandring er der taget højde for i analysen.

Usikkerhed på bestemmelse af affaldsmængden for de respektive fraktioner er beregnet. Usikkerheden varierer en del for de forskellige fraktioner. Dette skyldes:

- At stikprøverne er udvalgt i områder med forskellige affaldsordninger. I nogle områder er der således etableret ordninger for hjemmekompostering, mens der andre steder findes særlige ordninger for indsamling af genanvendelige materialer. Dette kan påvirke affaldsmængden i de forskellige stikprøver
- At nogle fraktioner forekommer meget uensartet i affaldet fra forskellige husstande

Benyttes resultaterne fra fastlæggelsen af dagrenovationens mængde og sammensætning til at vurdere affaldsmængden i et givet område skal man være opmærksom på, at der kan forekomme store afvigelser i forhold til de fundne middelværdier.

Boligtype og husstandsstørrelse er vigtige parametre, når mængde og sammensætning af dagrenovation skal beskrives.

Blandt enfamilieboliger er mængde og sammensætning af de 19 fraktioner i projektet fastlagt for hver sin husstandsstørrelse; men til den aktuelle vurdering af indsamlingspotentialet for organisk affald ved kildesortering ses alene på alle enfamiliehuse samlet.

Affaldsmængden opgjort for etageboliger hhv. enfamilieboliger fremgår af Tabel 2.4.

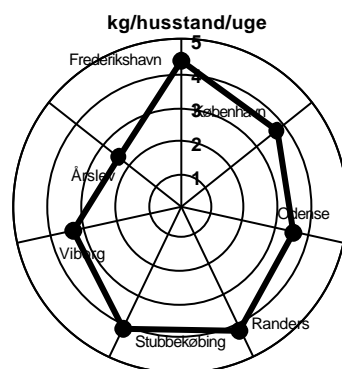
Ud fra tabellen er det muligt at vurdere potentialet for indsamling ved kildesortering som funktion af sorteringsvejledningen. Der er dog ikke i alle detaljer overensstemmelse mellem ovenstående 19 fraktioner og de sorteringsvejledninger der anvendes i kommuner med kildesortering af den organiske fraktion. Forskellene vedrører især haveaffald, hvor blomster og potteplanter i er inkluderet i haveaffald m.v. medens det i flere sorteringsvejledninger tillades i den organiske fraktion. Herudover tillades også dyreekskremer i den organiske fraktion flere steder.

I /5/ findes yderligere en detailundersøgelse af fraktionen haveaffald, således at det er muligt at beregne disse specielle fraktioners andel af dagrenovationen. Herudover forventes forskelle i sorteringsvejledninger og opsorteringen i fraktioner ikke at give nævneværdige forskelle i beregningen af det potentiale, der er for indsamling af organisk dagrenovation ved kildesortering. Under alle omstændigheder er sådanne forskydninger i vurderingen af potentialerne meget små i forhold til de store variationer der konstateres mellem forskellige geografiske områder.

Tabel 2.4 Dagrenovation mængde og sammensætning fordelt på boligtype. Kg pr. husstand pr. uge (efter /5/)

Husstandsstørrelse	Gennemsnit på landsplan	
	Etageboliger	Enfamilieboliger
Husstandsstørrelse	1,9	2,4
Fraktion:		
Ikke forarbejdet vegetabilsk affald	1,69	2,32
Andet vegetabilsk affald	0,65	0,93
Animalsk affald	0,77	1,00
Genanvendeligt papir	0,96	0,98
Aftørringspapir	0,32	0,29
Andet rent, tørt papir	0,17	0,20
Andet snavset papir	0,45	0,76
Genanvendeligt plastemballage	0,19	0,23
Andet plast	0,54	0,68
Haveaffald m.v.	0,24	0,51
Bleer m.v.	0,70	0,52
Andet brændbart	0,43	0,50
Glaseballage	0,21	0,25
Andet af glas	0,03	0,029
Metalemballage	0,18	0,29
Andet af metal	0,07	0,045
Andet ej brændbart	0,33	0,36
Sammensatte produkter	0,02	0,010
Farligt affald	0,01	0,018
Affald i alt (kg/h/uge)	7,96	9,94

Figur 2.1 viser den gennemsnitlige mængde organisk affald opgjort som summen af "ikke forarbejdet vegetabilsk affald", "andet vegetabilsk affald" og "animalsk affald" i prøver fra 7 boligområder med enfamilieboliger fordelt over hele landet. Det ses at der er store forskelle mellem de forskellige områder og næsten en faktor 2 i forskel på mængden af organisk affald mellem området med mest affald (Frederikshavn) og med mindst (Årslø). Undersøgelsen bekræfter således at meget store forskelle i indsamlede mængder kildesorteret organisk dagrenovation meget let kan være et resultat af store forskelle i potentialet og ikke nødvendigvis et resultat af indretning af indsamlingssystemet eller af informationsindsatsen i forbindelse med indsamlingen.



Figur 2.1 Gennemsnitlige mængde organisk affald pr. husstand og uge i 7 forskellige boligområder med enfamilieboliger (datagrundlag fra /5/)

Med udgangspunkt i tabellens angivelser og underopdelingen af haveaffald er det muligt at vurdere indsamlingspotentialet ved kildesortering af organisk dagrenovation. Dette er gjort nedenfor svarende til de mest restriktive indsamlingsordninger, der kun omfatter "ikke forarbejdet vegetabilsk affald", "andet vegetabilsk affald" og "animalsk affald" og for de mest lempelige, hvor også "vådt aftørringspapir" og "blomster", "potteplanter" og "dyreekskrementer"

inddrages. I tabel 2.5 angives potentialet for indsamlede mængder af organisk dagrenovation i kg pr uge pr husstand og pr person.

Tabel 2.5 Potential et for kil desorteret organisk dagrenovation ved restriktive og mindre restriktive kil desorteringsordninger opdelt på boligtype (datagrundlag fra /5/)

Kil desorteringsordning	Etage boliger (gennemsnit 1,9 Pe pr bolig)	Enfamilieboliger (gennemsnit 2,4 Pe pr bolig)
Restriktiv kil desortering		
kg/husstand/uge	3,11	4,25
kg/PE/uge	1,64	1,77
Mindre restriktiv kil desortering		
kg/husstand/uge	4,15	5,18
kg/PE/uge	2,18	2,16

Det ses at den potentielle mængde organisk affald ved kil desortering afhænger mere af forskellene i antallet af personer i boligen end af boligtypen. Desuden er forskellen mellem forskellige boligområder langt større end forskellen mellem boligtyperne. Ovennævnte potentialeopgørelse må derfor opfattes som gennemsnitstal for store områder, der ikke nødvendigvis vil svare til det der findes ved indsamling i et mindre område.

2.4 Sammenfatning af potentielle og faktisk indsamlede mængder kil desorteret organisk dagrenovation

På baggrund af fuld- og storskalaundersøgelsen, spørgeskemaundersøgelsen til alle kommuner og affaldsselskaber, der indsamler kil desorteret organisk affald og undersøgelsen af sammensætningen af dagrenovation kan potentialet og de realiserede mængder affald opgøres. De tre undersøgelser er vidt forskellig i karakter, omfanget af antallet af husstande der indgår og de kriterier affaldets sammensætning er bedømt efter. Alligevel bidrager de hver på sin måde til bedømmelsen af indsamlingspotentialet for kil desorteret organisk dagrenovation.

I potentialeopgørelsen er mængder alene de organiske fraktioner, medens de to andre undersøgelser er baseret på indsamlede mængder, hvor også indsamlingsposer og fejlsorteringer indgår. Massen af indsamlingsposer og fejlsorteringer udgør imidlertid kun nogle få procent af affaldets samlede masse /9/, således at denne forskel i opgørelsesmetode ikke ændrer væsentligt ved sammenligningsgrundlaget.

Det skal noteres at i alle undersøgelser er der konstateret meget store forskelle i mængden af indsamlet dagrenovation, som ikke kan forklares ud fra områdets karakter, beboertæthed, boligtype, indsamlingsordning etc. Det må således påregnes at der vil være stor usikkerhed forbundet med at forudse hvor store mængder kil desorteret organisk dagrenovation, der kan indsamles i et givet område. Selv i relativt ens kommuner med samme sorteringsvejledning og indsamling har der i praksis vist sig at kunne være op til en faktor 2 i forskel på den indsamlede mængde. Også opgørelsen af mængde og sammensætning af dagrenovation viser tilsvarende forskelle dog mellem mindre indsamlingsområder.

Tabel 2.6 Sammenstilling af potentielle og realiserede mængder indsamlet kil desorteret organisk dagrenovation (datagrundlag fra /4/, /5/ og /8/)

Undersøgelse	kg/husstand/uge	kg/Pe/uge	kg/husstand/år	kg/Pe/år
Potentialeopgørelse				
Fælles skraldespande	3,11-4,15	1,64-2,18	162-213	85-113
Individuelle skraldespande	4,25-5,18	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 at de faktisk indsamlede mængder ved fuld- og storskalaundersøgelse varierer meget i forhold til potentialet helt ned til ca. 40% af potentialet i områder med mindst indsamling til op imod 100% af potentialet for området med størst indsamling. For statusopgørelsen for 2000 svarer vurderingen af de mængder der skønnes muligt at indsamle - baseret på registrerede mængder fra relativt mange husstande - i det store og hele til 80% af potentialet, og skønnes derfor at være et godt bud på realistisk indsamlede mængder for større områder.

3 Forbehandling af kildesorteret organisk dagrenovation

De rapporterede undersøgelser af forbehandling af det kildesorteret organiske dagrenovation er sket på to fuldskaalanlæg i rutinemæssig drift (hvoraf det ene dog nu er nedlagt), på en prototype til forbehandling, der har været i drift med mindre mængder kildesorteret organisk dagrenovation gennem længere tid og på et anlæg i halvt teknisk skala, hvor der har været gennemført kortere forsøgsserier af forbehandling. De 4 anlæg er:

1. Neddeling og magnetseparation i Grindsted, der kører i rutinemæssig drift med ca. 1.100 t kildesorteret organisk affald pr år./6/
2. Rullesigte i Herning, der indtil medio 2002 har kørt i rutinemæssig drift med behandling af ca. 4.000 t kildesorteret organisk dagrenovation årligt. /6/ Anlægget er nu nedlagt.
3. Skrueseparator i Vaarst-Fjellerad er en prototype, der har været modificeret og fornyet et par gange i de senere år; men som i flere år løbende har behandlet kildesorteret organisk dagrenovation især fra storskalaforsøget i Aalborg. Anlægget har løbende behandlet ca. 500 t kildesorteret organisk dagrenovation pr år. /6/
4. På AFAV I/S har der været foretaget teknisk afprøvning af en stempelseparator, hvor der har været behandlet nogle få læs kildesorteret organisk dagrenovation. /7/

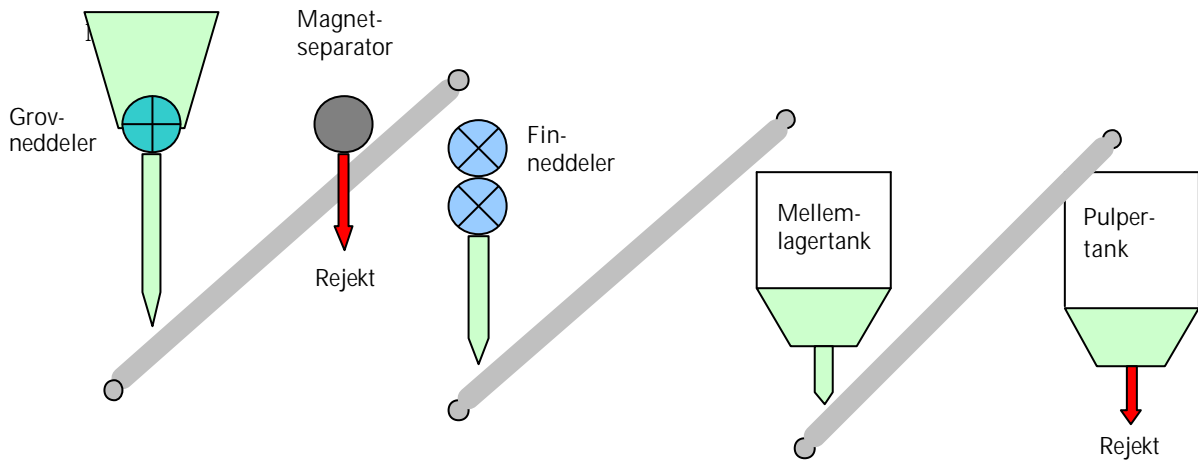
3.1 Forbehandling ved neddeling og magnetseparering i Grindsted

Forbehandlingen på Grindsted Renseanlæg sker ved neddeling og magnetseparering af det modtagne affald. Inden hygiejnisering og bioforgasning blandes det organiske affald herefter med slam fra renseanlægget. Da indsamlingen af organisk affald sker hver 14. dag (en uge med indsamling af organisk affald og en uge med indsamling af restaffald) er det nødvendigt at foretage mellemlagring af det neddelte affald for at sikre en kontinuert proces gennem anlægget. Figur 3.1 viser en principskitse af anlægget.

Affaldet modtages i en silo med vandrebund, som automatisk transporterer affaldet til grovneddeleren. Fra grovneddeleren føres affaldet via transportbånd til finneddeling. Dette transportbånd er forsynet med en magnetseparator, som frasorterer magnetisk metal.

Efter finneddeling føres affaldet til en mellemlagertank, hvorfra det løbende udtages (via transportbånd) til blande-/pulpertanken. Fra pulpertanken udtages rejekt, men da affald og slam er blandet i tanken, kan det ikke entydigt bestemmes, hvor stor en mængde rejekt der stammer fra affaldet. Det er dog vurderingen, at kun en mindre del af det samlede rejekt stammer fra slam (finkornet sand m.m.).

I pulperen blandes neddelte organisk affald med primær slam fra renselanlægget. Fra pulperen føres den blandede masse til hygiejnisering i en varmeveksler og herfra videre til bioforgasning i renselanlæggets rådnetank.

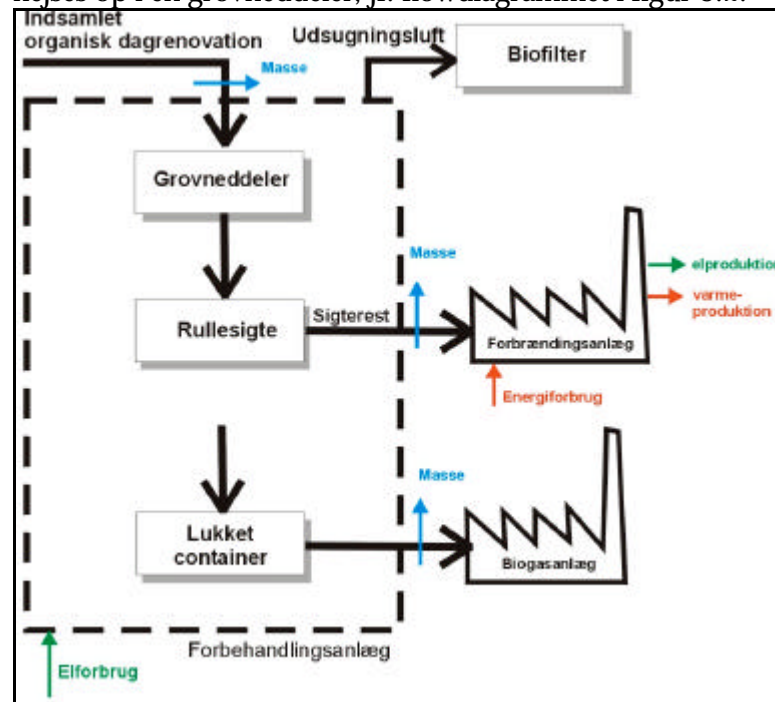


Figur 3.1 Principskitse af neddeling og magnetseparering i Grindsted (fra /6/)

Efter udtag af den afgassede biomasse fra rådnetanken foretages en sidste afpudsning i en separator, hvor uønskede materialer frasepareres. Det drejer sig hovedsageligt om sand, sten og den resterende del af plastmaterialer.

3.2 Forbehandling på ruller sigte i Herning

Forbehandlingsanlægget ligger ved EnergiGruppen Jylland A/S's affaldsforbrændingsanlæg, Knudmoseværket i Herning. Den indsamlede organiske dagrenovation tippes af i en grav inde i modtagehallen, hvorfra den hejses op i en grovneddeler, jf. flowdiagrammet i figur 3.2.



Figur 3.2 Flowdiagram for forbehandlingsanlæg, Knudmoseværket (fra /6/)

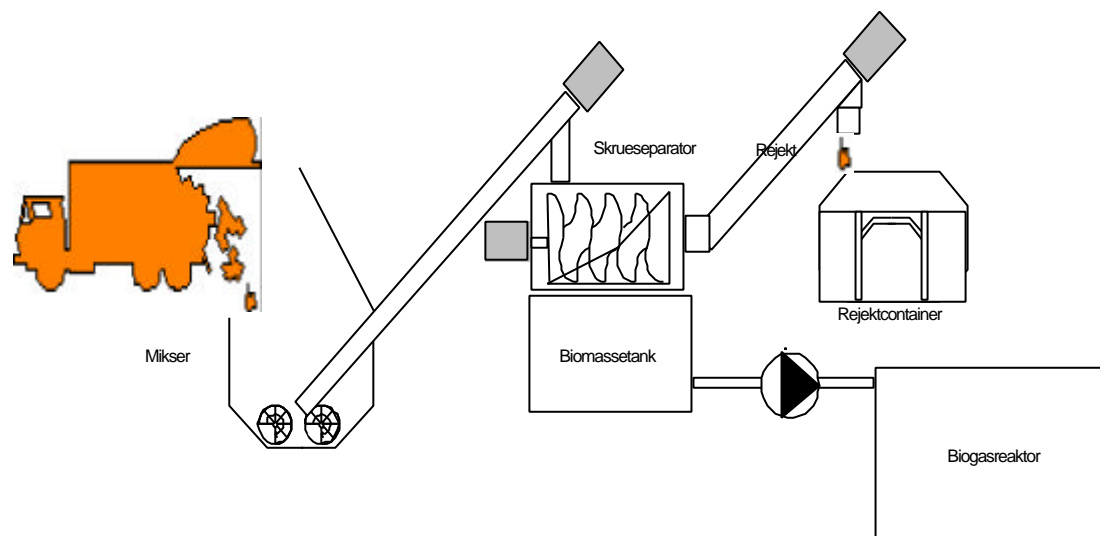
I grovneddeleren sønderrives plast- og papirposer. Efter neddeling falder affaldet ned på en rulle sigte. Den organiske del frasigtes og transporteres til en lukket container, hvori det køres til biogasfællesanlægget, Studsgård, i Herning. Det forbehandlede affald finneddeles på biogasfællesanlægget, hvorefter det blandes med gylle og andet organisk affald før bioforgasning.

3.3 Forbehandling på skrueseparator i Vaarst-Fjellerad

Forbehandlingen af den kildesorterede organiske dagrenovation sker på Vaarst-Fjellerad Biogasanlæg. Anlægget behandler gylle og andet organisk affald. Anlægget har en separat linie for organisk affald med en kapacitet på 10-15 t i døgnet. På denne linie kan udføres forsøg med sortering, afgangning og indholdsbestemmelse af bl.a. kildesorteret organisk dagrenovation, som først efter afgangning blandes med den afgassede gylle.

Til at frasortere fejlsorteringer og plastposer er opstillet en skrueseparator (prototype) som forbehandlingsenhed. Den er opbygget med en konisk snegl i et pressehus, som består af lameller, hvor den flydende del af affaldet kan presses igennem, mens faste bestanddele presses ud gennem en dysse. Dysen er forsynet med et trykleje, der sikrer et passende modtryk. Lamellerne er anbragt med en indre spalteåbning på 1,5 mm, der udvider sig til 2 mm ved overfladen.

Foran skrueseparatoren er placeret en mikser, der neddeler affaldet inden det føres op i skrueseparatoren med en snegl. Figur 3.3 viser en principskitse af anlægget.

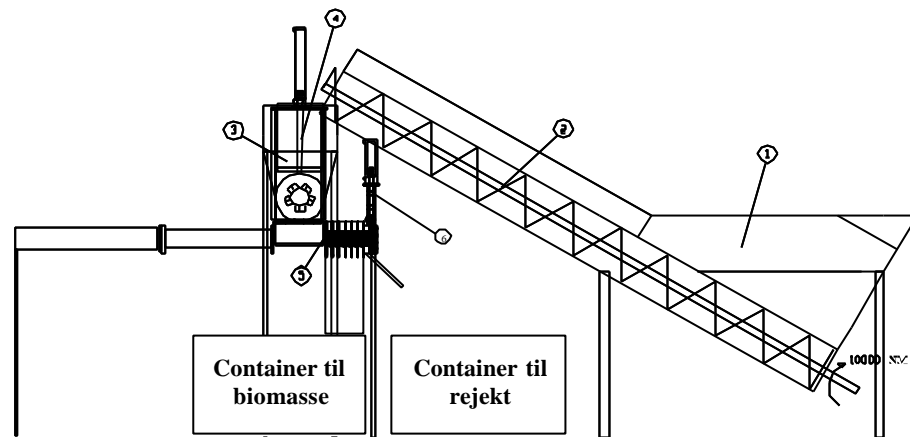


Figur 3.3 Forbehandling på skrueseparator på Vaarst-Fjellerad Biogasanlæg (fra /6/)

3.4 Forbehandling med stempelseparator på AFAV

AFAV I/S og TK Energi A/S har foretaget en principafprøvning af en stempelseparator til kildesortere organisk affald. Formålet var at undersøge separator-effektiviteten på en eksisterende hydrauliske stempelseparator ved driftsparametre, der vil kunne tænkes anvendt til kildesorteret organisk dagrenovation. Figur 3.4 viser anlægsoptstillingen på AFAV.

Anlægget modtager affald i en modtagetragt, hvorfra transportsneglen fører affaldet op i snegleforbehandleren. En snegl her føder det forbehandlede affald ned i fødekammeret til stempelseparatoren. Fra indfødningskammeret skubbes affaldet af separatorstempet ind i separator-kammeret, hvor det komprimeres samtidig med, at vandet og hovedparten af de bløde organiske bestanddele af affaldet presses ud gennem huller eller langsgående spalter i separator-kammeret. For enden af separator-kammeret er der placeret en skydeventil. Den lukker separator-kammeret under presseforløbet, og åbner når rejektet skubbes ud.



Figur 3.4 Separatoropstilling på AFAV (fra /7/)

- (1) Modtagetragt for påfyldning med gummiged
- (2) Transportsnegl
- (3) Snegleforbehandler til oprivning af affaldsposer og konditionering af affald
- (4) Stempel for indfødnings af det oprevne affald til højtryksseparator
- (5) Stempelseparator til adskillelse af affaldet i biomasse og rejekt
- (6) Skydeventil

3.5 Sammenhæng mellem sorteringsordninger og forbehandling

De forskellige forbehandlingsanlæg er baseret på meget forskellige tekniske og fysiske principper. Der er også i betydeligt omfang indrettet til at behandle affald fra bestemte indsamlingsordninger. Således at neddeling og magnetseparering som i Grindsted alene indrettet til at håndtere forsorret dagrenovation, hvor der ikke forekommer plast. Andre forbehandlingsanlæg er mindre følsomme for indsamlingsordningen; men effektiviteten afhænger altid af indsamlingssystemet. I rapporten *Sammenhæng mellem sortering, forbehandling og kvalitet af biomasse* /4/ er sammenhængen mellem indsamling og forbehandling undersøgt for et bredere spektrum af indsamlingsordninger og forbehandlingssystemer og AFAV I/S og TK energi AS har gennemført en teknisk afprøvning af et nyt forbehandlingsanlæg baseret på en stempelseparator. I den undersøgelse indgår affald fra flere forskellige indsamlingsordninger.

3.5.1 Resultater fra undersøgelser af kildesorteret organisk dagrenovation fra områder med permanente ordninger og med storskalaforsøg

Sammenhængen mellem forbehandling, kvalitet af biomasse og rejekt er opstillet i tabel 3.1, hvor resultater fra 5 byers kildesortering inklusiv forbehandling på 3 forskellige forbehandlingsanlæg er præsenteret.


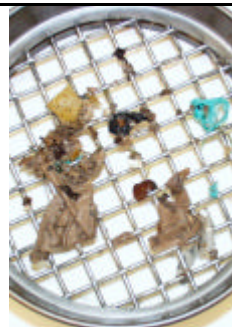
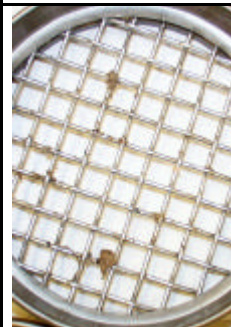
Den fysiske karakter af biomassen er undersøgt ved hjælp af sigtning af den kildesorterede organiske dagrenovation efter forbehandling. Undersøgelsen viser at især indsamlingen i køkkenet og forbehandlingsudstyret har betydning for den fysiske karakter af den organiske fraktion efter forbehandling.

Hvis der anvendes plastposer til indsamling i køkkenet kan det tydeligt ses i form af store plaststykker efter rullesigten og som små stykker i forsorteret affald efter skrueseeparatoren. Der er ikke fundet plast ved sigtning af biomasse fra områder, hvor der ikke anvendes plast ved indsamlingen; men der findes naturligvis i praksis plast som fejlsorteringer også i disse indsamlingsordninger.

Rullesigten og forbehandling ved neddeling+magnetseparering efterlader relativt store partikler >8 mm i det forbehandlede affald, medens skrueseeparatoren stort set ikke efterlader større partikler.

Det ses således at forbehandling i Grindsted og i Herning efterlader store stykker papir og i Herning også plast, medens skrueseeparatoren ikke efterlader større partikler i biomassen. Biomassen er væsentligt vådere ved behandling i skrueseeparatoren end ved behandling på de øvrige anlæg. Rejektprocenten er meget høj ved separation på rullesigten og på skrueseeparatoren således at kun ca. halvdelen af det oprindelige kildesorterede organiske dagrenovation tørstof og glødetab senere bioforgasses, medens den anden halvdel frasepareres.

Tabel 3.1 Sammenhæng mellem forbehandling og kvalitet af biomassen og rejkt (efter /4/)

Beliggenhed	Grindsted	Herning	Vaarst-Fjellerad
Forbehandling	Neddeling, magnetseparering, Pulper	Grovneddeler, rullesigte	Mikser, Skrueseparator
Biomasse			
Fysisk karakter (16 mm sigte)			
	Affald fra Grindsted	Affald fra Kolding	Affald fra Aalborg
Tørstof %	31	30	25
Andel tørstof ender i biomassen %	100	54	48
Andel glødetab ender i biomassen %	100	56	50
Rejekt			
Rejekt %	~0	33	39
Tørstof % i rejkt	~0	47	38

3.5.2 Resultater af undersøgelser gennemført med stempelseparator

Den tekniske afprøvning af stempelseparatoren på AFAV I/S har kun omfattet nogle få læs affald. Vurderingen af denne separationsmetode kan derfor ikke baseres på driftserfaringer gennem længere tid således som det gælder for de metoder der indgik i fuld- og storskalaforsøgene beskrevet ovenfor.

Det ser ud til at separationen i biomasse og rejekt afhænger meget af det kildesorterede affalds sammensætning, hvor især et stort indhold af bleer og anden plast giver en stor rejktmængde. For de undersøgte typer kildesorteret organisk dagrenovation lå rejktprocenten mellem 7 og 35% rejkt, hvor affald indsamlet i papirposer giver den laveste rejktprocent - noget lavere end ved sortering af tilsvarende affaldstyper på de øvrige forbehandlingsanlæg.

3.6 Sammenfatning vedrørende indsamlingsordninger og forbehandling af kildesorteret organisk dagrenovation

Indsamling af kildesorteret organisk dagrenovation har været praktiseret længe og der er veldokumenterede erfaringer med flere forskellige systemer til sortering i køkkenet og til den efterfølgende indsamling. I praksis har det vist sig at flere forskellige systemer kan anvendes med godt resultat.

Derimod er forbehandlingen efter indsamling det svage led i hele systemet til bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation. Der er kun begrænsede dokumenterede fuldskalaerfaringer. Kun systemet i Grindsted med neddeling og magnetseparering af affald er i drift. Rullesigten i Herning er nedlagt og 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). De øvrige rapporterede resultater med forbehandling baseret på prototyper eller på anlæg under teknisk afprøvning har vist at der kan udvikles andre systemer; men ikke dokumenteret at teknologien kan anvendes generelt. Udover ovennævnte findes fuldskaalanlæg til behandling af kildesorteret organisk dagrenovation på NOVEREN I/S (Skrueseparator), AFAV I/S (Tromlesigte) og Århus (Rullesigte); men der foreligger ikke publicerede driftserfaringer herfra.

4 Sammensætning og biogaspotentiale af kildesorteret organisk dagrenovation

Grundlaget for bedømmelsen af sammensætning og biogaspotentiale af kildesorteret organisk dagrenovation i Danmark har hidtil været mangelfuldt idet der ikke har været gennemført undersøgelser, hvor sammenhængen mellem kildesortering, indsamlingssystem, forbehandlingsteknik og bioforgasning har været set under et. Centrale spørgsmål i denne sammenhæng er, hvor meget næringsstof der genanvendes, og hvor meget biogas der kan udvindes af kildesorteret organisk dagrenovation som funktion af det samlede systems indretning. Elementer til besvarelse af disse centrale spørgsmål har indgået i tidligere undersøgelser; men de har ofte været koncentreret om et enkelt biogasanlæg og en enkelt type kildesorteret organisk dagrenovation, ligesom dokumentationen af det samlede systems funktion har været mangelfuld. Et samlet projekt til besvarelse af de centrale spørgsmål blev derfor igangsat med projektet *Basisdokumentation for biogaspotentiale i organisk dagrenovation*.

4.1 Undersøgelsens formål og indhold

Det overordnede formål med projektet *Basisdokumentation for biogaspotentiale i organisk dagrenovation* var at etablere den grundliggende dokumentation for, hvor meget næringsstof der genindvindes og hvor meget energi der spares ved bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation afhængig af, hvilket system der benyttes. Undersøgelsen tog udgangspunkt i eksisterende danske kildesorteringsordninger og fokuserede på den kildesorterede organiske dagrenovation efter indsamling, idet aspekterne omkring indsamlingssystemernes indretning, organiseringen og de indsamlede mængder er belyst i tilknyttede projekter jf. kapitel 2.

Projektets hovedelementer var:

- En kritisk gennemgang af det eksisterende danske datagrundlag vedrørende rapporterede mængder indsamlet kildesorteret organisk dagrenovation samt mængden af biogas og kvaliteten af det afgassede materialer fra danske biogasanlæg, hvad angår kildesorteret organisk dagrenovation
- Prøvetagning og måling af sammensætning og biogaspotentiale af kildesorteret organisk dagrenovation fra forskellige kildesorteringsordninger og forbehandlingssystemer
- Vurdering af mængden af genvundne næringsstoffer samt de energimæssige besparelser, udtrykt i primærenergi og drivhusgasemissioner, der opnås ved forskellige kildesorteringssystemer med forbehandling og bioforgasning af organisk dagrenovation

Prøvetagning og måling af kvalitet samt biogaspotentiale af kildesorteret organisk dagrenovation udgør langt den største aktivitet i projektet. Ved

samarbejdet med projektet *Sammenhæng mellem sortering, forbehandling og kvalitet af biomasse* blev det muligt at udtage prøver fra forskellige kildesorteringsordninger behandlet på forskellige forbehandlingsanlæg.

4.2 Rapporterede danske data om bioforgasning af kil desorteret organisk dagrenovation

Som indledning til de tekniske undersøgelser af sammensætning og biogaspotentiale af kildesorteret organisk dagrenovation blev der foretaget en sammenfatning af danske erfaringer om mængder af kildesorteret, organisk dagrenovation til bioforgasning. Sammenfatningen er præsenteret i et bilag til rapporten *Basisdokumentation for biogaspotentialet i organisk dagrenovation*, DTU, Lunds Tekniska Högskola, Rambøll, VA-verket Malmö /8/ Sammenstillingen er baseret på alle rapporterede undersøgelser op til april 2001 og omfatter følgende pilot- og fuldskala anlæg:

- Forsøgsanlæg på Biogafællesanlæg i Sinding, Herning.
- Fuldskalaanlæg på Biogafællesanlæg i Sinding-Ørre, Herning.
- Fuldskalaanlæg på Biogafællesanlæg i Studsgård, Herning.
- Fuldskalaanlæg på Grindsted Renseanlæg.
- Forsøgsanlæg på Vegger Biogasanlæg
- Nordsjællands Biogasanlæg, Helsingør
- Forsøgsanlæg på Vaarst-Fjellerad Biogafællesanlæg, 1998.
- Forsøgsanlæg på Vaarst-Fjellerad Biogafællesanlæg, 1999.
- Forsøgsanlæg på Vaarst-Fjellerad Biogafællesanlæg, 2000.

Århus Nord Biogasanlæg, Århus og Nysted Biogafællesanlæg indgår ikke i sammenstillingen. Århus Nord Biogasanlæg var under indkøring og Nysted Biogafællesanlæg har i 1999 og 2000 modtaget mindre mængder forkomposteret og forsorteret organisk husholdningsaffald fra AFAV, men erfaringerne herfra er ikke offentliggjort.

Sammenstillingen viser, at der kun er rapporteret driftsdata fra tre anlæg i normal drift, medens øvrige rapporter vedrører korterevarende undersøgelser enten i forsøgsanlæg eller i eksisterende biogafællesanlæg, der har været drevet med organisk husholdningsaffald i en kortere periode.

De gennemførte undersøgelser viser at der har foregået et betydeligt udviklingsarbejde omkring bioforgasning af dagrenovation i Danmark; men i forbindelse med undersøgelserne har hovedvægten været lagt på teknologiudvikling og -afprøvning således at der kun etableret begrænset dokumentation for biogaspotentialet i organisk affald som funktion af sorteringsvejledninger, forbehandling og procesbetingelser ved bioforgasningen ligesom viden om affaldets betydning for kvaliteten af restprodukterne er begrænset. Der er således ikke rapporteret undersøgelser med behandling af organisk husholdningsaffald i teknisk eller fuld skala, der er planlagt og gennemført således, at de fremkomne data giver en veldokumenteret sikker bestemmelse af det opnåede gasudbytte fra organisk husholdningsaffald.

I undersøgelserne er der anvendt kildesorteret husholdningsaffald fra mange forskellige indsamlingsordninger med betydelige forskelle i indsamlingsvejledninger og kvalitet af det indsamlede materiale. Derudover er der anvendt flere forskellige typer forbehandling af affaldet inden bioforgasningen. Det er ikke muligt at knytte de opnåede resultater entydigt

sammen med kriterierne i affaldsindsamlingen og effekten af forbehandlingsanlægget.

Gasudbytter for kildesorteret organisk dagrenovation må på baggrund af sammenstillingen anses for usikkert bestemt; men skønnes for forbehandlet affald at ligge i området 110-180 Nm³/ton affald med et metanindhold på ca. 65% (70-115 Nm³ CH₄/ton forbehandlet affald), svarende til typisk 100-120 Nm³/ton indsamlet affald. Der findes dog indsamlingsordninger, hvor forbehandlingen resulterer i en meget lille frasorteringen (f.eks. i Grindsted), således at gasudbyttet baseret på det indsamlede affald ikke reduceres væsentligt som følge af forbehandlingen.

I gennemgangen er endvidere medtaget 2 danske laboratorieforsøg udført på organisk husholdningsaffald. Disse undersøgelser viste et biogaspotentiale på 350-550 m³ CH₄/ton omsat affald målt som VS (glødetab).

Den kildesorterede organiske dagrenovation har i stort set alle undersøgelser været bioforgasset med anden biomasse. Det er derfor vanskeligt at bedømme bidraget herfra til den endelige kvalitet af restprodukterne. Fokus har i de fleste undersøgelser været at dokumentere at restprodukterne uden problemer kunne overholde gældende krav til jordbrugsanvendelsen og mindre på bidraget af næringsstoffer fra det sortererede materiale.

Kravene til restprodukterne fra bioforgasning, der ønskes anvendt i jordbruget, er ændret og skærpet flere gange i de sidste 10 år. Der er således indført grænseværdier for tungmetallindholdet i forhold til fosforindholdet som supplement til de tidligere grænseværdier baseret på forholdet til affaldets tørstofindhold. Der er løbende sket stramninger for en række tungmetaller og stillet krav til nye. Der er indført krav til indholdet af miljøfremmede organiske stoffer og endelig er der flere gange foretaget ændringer af, hvor i processerne kontrollen skal ske, idet fokus er flyttet fra de restprodukter - der anvendes i jordbruget - til sikring af at der ikke i affaldsbehandlingen anvendes råvarer, herunder kildesorteret organisk dagrenovation, med forhøjet indhold af problemstoffer. Ydermere er der sket ændringer i prøvetagningsstedet for kontrollen således at de tidligere undersøgelser kun i mindre omfang kan benyttes til at bedømme om kildesorteret organisk dagrenovation vil kunne overholde de gældende krav.

Der er dog en generel tendens til, at kun affaldets indhold af plastblødgøreren DEHP er så højt at det kan forventes lejlighedsvis at give problemer med overholdelse af dagens krav til jordbrugsanvendelse af restprodukterne.

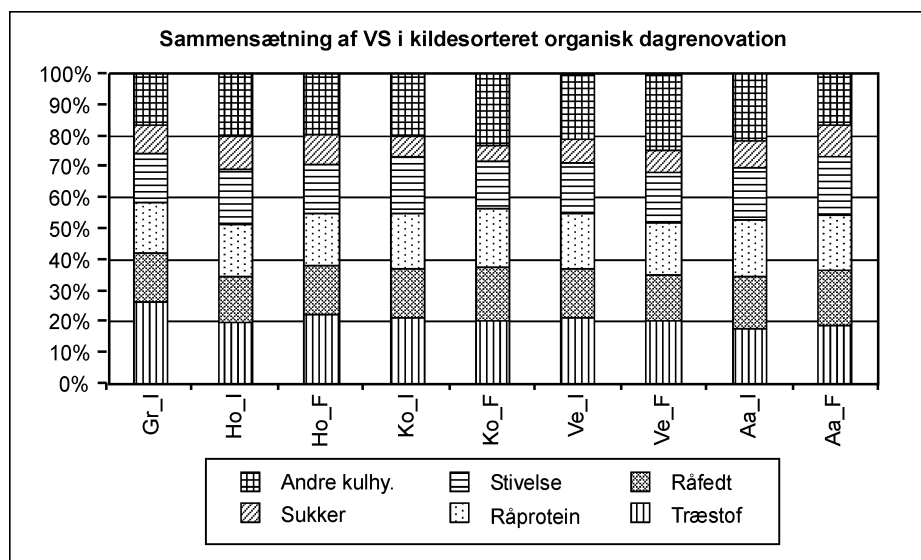
4.3 Prøvetagning og karakterisering af kildesorteret organisk dagrenovation

Kildesorteret organisk dagrenovation fra fælles og individuelle skraldespande fra kildesorteringsordningerne i Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg er over en 11 måneders periode hver to gange blevet behandlet på forskellige forbehandlingsanlæg: neddeling + magnetseparering, rullsigte og skrueseparator. I enkelte tilfælde er den tidsmæssige variation belyst med 6 prøver over perioden. Det forhandlede affald (biomassen) og rejektet er karakteriseret fysisk og kemisk og metanpotentialet er målt i laboratoriet over 50 døgn. I 14 tilfælde er biomassen blevet bioforgasset på et pilot-biogasanlæg, idet metanudbyttet er bestemt efter stabil drift er opnået.

Den afgassede biomasse er endvidere karakteriseret med hensyn til kemisk sammensætning og restmetanpotentiale.

4.4 Sammensætning af kildesorteret organisk dagrenovation

Sammensætningen af det organiske stof (målt som glødetab minus plast) i kildesorteret organisk dagrenovation er vist i figur 4.1 og figur 4.2 viser tilsvarende sammensætningen af tørstof (TS). Hver søjle er fremkommet som et resultat af karakterisering af 4 affaldsprøver, hvor biomasse og rejekt er karakteriseret hver for sig og siden vejet sammen til karakterisering af udgangsmaterialet på baggrund af forbehandlingssystemernes effektivitet.



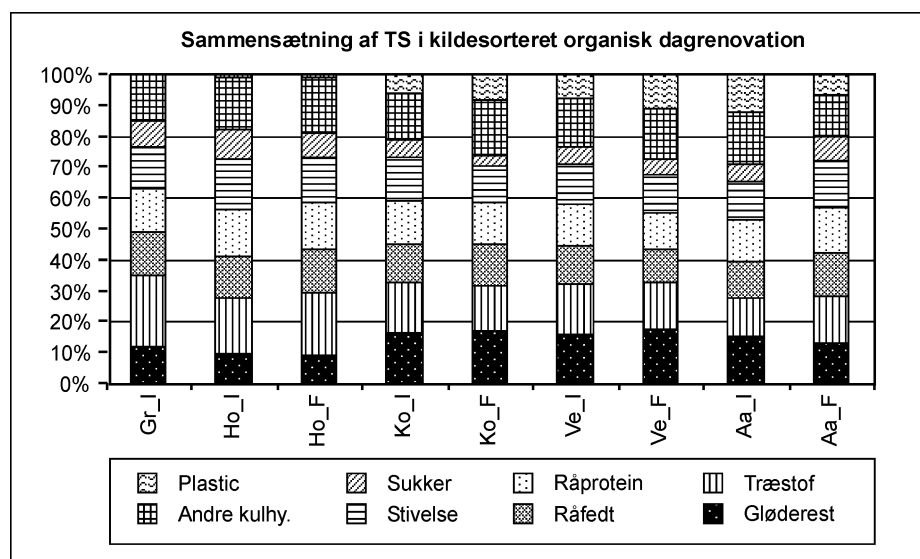
Figur 4.1 Komponentvis sammensætning af det organiske stofindhold (glødetab-plast) i kildesorteret organisk dagrenovation fra fælles (F) henholdsvis individuelle (I) skraldespande fra Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg (fra /8/)

Det organiske stof målt som glødetab minus plast repræsenterer frasorteringen direkte i køkkenet. Selvom der ses mindre forskelle i sammensætningen er der ingen systematiske forskelle mellem affaldet fra fælles og individuelle skraldespande, fra forskellige kildesorteringsordninger eller fra forskellige indsamlingssystemer. Det organiske stof der frasorteres i husholdningerne udviser således ingen systematiske forskelle; men i alle tilfælde er der betydelige variationer i sammensætningen af det organiske stof på den enkelte lokalitet.

Figur 4.2 viser sammensætningen af affaldet efter indsamlingen, hvor altså sorteringsvejledning og indsamlingssystem påvirker sammensætningen.

Her varierer sammensætning mellem de undersøgte geografiske områder betydeligt idet der konstateres store plasmængder i affald fra ordninger, hvor indsamlingen sker i plastposer (Vejle, Kolding og Aalborg), medens plast stort set er fraværende i Grindsted og Hovedstadsområdet, hvor indsamlingen sker i papirposer. Anvendelsen af plastposer i indsamlingen øger indholdet af plast, også udover den plasmængde, der skyldes selve indsamlingsposerne. I enkelte tilfælde har indholdet af plast været meget højt (>10%). Set i forhold til det organiske stof (målt som glødetab minus plast) er der ingen systematiske forskelle mellem affaldet fra fælles og individuelle skraldespande, fra forskellige kildesorteringsordninger eller fra forskellige indsamlingssystemer. Af figur 4.2 ses desuden et forøget indhold af uorganisk stof (gløderest) i dagrenovationen fra Vejle og Kolding, hvor kattegrus, potteplanter o.l. er

inkluderet i den grønne fraktion. Forskellene synes derfor forklarlige ud fra forskelle i kildesorteringsvejledning og i valg af indsamlingsposer.



Figur 4.2 Komponentvis sammensætning af tørstofindholdet i kildesorteret organisk dagrenovation fra fælles (F) henholdsvis individuelle (I) skraldespande fra Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg (fra /8/)

4.5 Forbehandling

Af forbehandlingsteknologierne udmærker neddeling + magnetseparering sig ved at resulterer i den højeste andel organisk stof til bioforgasning idet rejektets vægt er mindre end 1 %. Neddeling + magnetseparering er dog kun mulig på meget rent kildesorteret organisk dagrenovation og har kun kunnet gennemføres for affald fra Grindsted og Hovedstadsområdet. Til sammenligning giver rullesigte i gennemsnit 34% rejekt og skrueseparatoren 41% målt som vådvægt; men forbehandlingseffektiviteterne varierer betydeligt, med relative standardafvigelser i runde tal på 10-15%.

For rullesigten og skrueseparatoren var der ingen væsentlige forskelle i forbehandlingseffektiviteter mellem fælles og individuelle skraldespande. Signifikante forskelle er observeret for hovedstadsområde affald på rullesigte, idet biomassens andel af indholdet i den kildesorterede organiske dagrenovation her er størst for vådvægt, tørvægt, tørt organisk stof og vand, sammenlignet med affald fra de øvrige geografiske områder og samtlige forbehandling på rullesigte og skrueseparator. Det kan skyldes at netop affaldet fra Hovedstadsområdet var det reneste (sammenlignet med affald fra Kolding, Vejle, Aalborg) og rullesigten qua sin funktionsmåde lader mere falde gennem sigten til biomassefraktionen.

I runde tal havner 50-55% af alle komponenter i biomassen ved forbehandling på rullesigte eller skrueseparator. Affald fra Hovedstadsområdet og fra Vejle skiller sig lidt ud, idet rullesigten for en række komponenter masse-mæssigt fordeler mere til biomassen på rullesigten end på skrueseparatoren, således at rullesigten i lyset af hele spektret af indsamlingssystemer resulterer i større biogasudbytte end skrueseparatoren.

Biomassen fra skrueseparatoren er meget rent om end små plaststumper visuelt kan identificeres. Vægtmæssigt er det meget lidt (skønsmæssigt <0,5%). Rullesigten resulterer i mere plast og større stykker papir i biomassen. Rejektet består for begge forbehandlingers vedkommende primært af organisk

stof, oftest 90-98 %. Undtagelsesvist ses usædvanligt store plastmængder i biomassen fra rulllesigten. Mængden af fremmedlegemer ud over plast er forsvindende (skønsmæssigt <1%).

4.6 Sammensætning af biomasse og rejekt

Sammensætningen af biomassen for et givet system (geografi, indsamlingssystem, forbehandling) varierer over tid og variationen er forskellig for forskellige parametre. Tabel 4.1 viser biomassens gennemsnitlige sammensætning for de forskellige geografiske områder og forbehandlingsteknologier.

Tabel 4.1 Biomassens sammensætning i gennemsnit for de forskellige geografiske områder og forbehandlingsteknologier (N+M: neddeling + magnetseparering, Rul.: Rullesigte, Skr. : skrueseparator) (fra /8/).

	Grnst	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
Brændværdi: MJ/kg TS	20,3	21,1	20,3	21,5	19,3	19,7	19,4	19,7	19,6	20,8

*EFOS er enzymfordøjeligt organisk stof og et mål for enzymnedbrydeligheden af det organisk stof

Den største variation ses for stivelse og sukker, som er let omsættelige komponenter og derfor formentlig også påvirket af affaldets alder og opbevaringstemperatur. Også P og Cl, der begge forekommer i mindre mængder, udviser store variationer. Den relative standardafvigelse er af størrelsen 30-40%. For de øvrige parametre er den tidsmæssige variation væsentlig mindre og for centrale parametre som tørstof, glødetab og enzymfordøjeligt organisk stof (EFOS) kun 3-10%.

Biomassens sammensætning varierer mellem de geografiske områder, idet den konstaterede forskel i askeindhold i den kildesorterede organiske dagrenovation for de forskellige geografiske områder også genfindes i biomassen: 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%) og ikke signifikant påvirket af forbehandlingen. Bortset fra denne forskel i askeindholdet er der hvad angår det geografiske udgangspunkt ikke konstateret signifikante forskelle i sammensætningen af biomassen. Biomassen består typisk af 22-32% tørstof, 83-93% organisk stof (VS), 10-14% fedt, 13-15% protein, 10-16% stivelse, 4-10% sukker og 16-24% træstof. De malte komponenter udgør i snit 80% af det organiske stof, idet resten anses for at være "andre kulhydrater".

De væsentligste forskelle i biomassens sammensætning skyldes forbehandlingen. Forskellen mellem neddeling + magnetseparering og rullesigtning er med hensyn til den resulterende biomasses sammensætning marginal. Den væsentligste forskel findes mellem biomasse fra rullesigte og fra skrueseparator. Generelt kan de siges, at biomasse fra skrueseparator, sammenlignet med biomasse fra rullesigte, indeholder 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 forskellig i sammensætning fra det organiske stof i biomassen; men metanpotentialet på VS-basis er dog i snit 25-40% mindre end potentialet i biomassen

4.7 Metanpotentialet

Kildesorteret organisk dagrenovation fra fælles og individuelle skraldespande fra kildesorteringsordningerne i Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg er over en 11 måneders periode hver to gange blevet behandlet på forskellige forbehandlingsanlæg: neddeling + magnetseparering, rullesigte og skrueseparator. Det forhandlede affald, biomassen og rejektet er karakteriseret fysisk og kemisk og metanpotentialet er målt i laboratoriet over 50 døgn. I 14 tilfælde er biomassen blevet bioforgasset på et pilot-biogasanlæg, idet metanudbyttet er bestemt efter stabil drift er opnået. Den afgassede biomasse er endvidere karakteriseret med hensyn til kemisk sammensætning og restmetanpotentiale.

Komponentsammensætning og grundstofindhold varierer meget lidt i biomasse fra kildesorteret organisk dagrenovation. Beregning af det teoretiske biogaspotentiale bliver i gennemsnit $530 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$ baseret på den gennemsnitlige komponentsammensætning af biomassen. Der er en meget lille variationsbredde mellem alle de analyserede biomasser uden signifikante forskelle mellem geografiske områder, fælles og individuelle skraldespande eller forbehandling.

Målinger af metanpotentialet i laboratoriet over 50 døgn viser at det organiske stof i biomassen fra forbehandlet kildesorteret organisk dagrenovation har et stort metanpotentiale på i middel $470 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton VS}$. Målingerne udviser nogen variation men der er heller ikke her systematiske forskelle mellem geografiske områder, fælles og individuelle skraldespande eller forbehandlingsteknologien. Metanpotentialer beregnet enten ud fra komponentsammensætningen eller ud fra grundstofsammensætningen viser som forventet noget højere værdier end de faktisk målte, men der er ingen korrelation mellem beregnede og målte værdier. Betragtes organisk stof med meget varierende sammensætning, for eksempel rent fedt og rent sukker, er der en klar korrelation mellem beregnede og målte værdier. For biomasse fra forbehandlet organisk dagrenovation er variationen imidlertid så lille at den overskygges af variationen i den biologiske måling af metanpotentialet. Det kan ikke ud fra de gennemførte forsøg afgøres om måling eller beregning giver de mest brugbare estimater på metanpotentialet.

4.8 Realiserbart metanpotentiale: metanudbytte

Metanudbyttet for biomasse fra kildesorteret organisk dagrenovation bestemt for 14 prøver ved bioforgasning i pilot-biogasanlæg varierede i det væsentlige

mellem 300-400 Nm³ CH₄/ton VS, med et gennemsnit på 340 Nm³ CH₄/ton VS. Variationen kan heller ikke her henføres til forskelle i geografisk område, fælles og individuelle skraldespande eller til forbehandlingsteknologien. De målte metanudbytter korrelerede ikke med målte biogaspotentialer og heller ikke på brugbar måde med beregnede biogaspotentialer. Metanudbyttet kan derfor bedst og nemmest relateres til VS i biomassen, når det drejer sig om forbeholdt organisk dagrenovation.

Metan udgjorde 59-66% (gennemsnit 62%) af den dannede biogas, hvilket med et metanudbytte på 340 Nm³ CH₄/ton VS svarer til en biogasmængde på 515-575 Nm³/ton VS.

Metanudbyttet svarer til ca. 75-80% omsætning af VS og reflekterer et termofilt biogasanlæg med en opholdstid på ca. 15 døgn. Metanudbyttet er bestemt efter stabil drift er etableret og det er næppe sandsynligt at væsentligt 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.

4.9 Restmetan ved efter- og slutlagring af afgasset organisk dagrenovation

Opholdstiden i termofile, kontinuerte 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- og slutlagring af afgasset organisk dagrenovation /10/. I projektet er temperaturforholdene målt i en række lagerbeholdere, mens restmetanproduktionen er analyseret i laboratoriet ved forskellige temperaturer.

I projektet er der gennemført en undersøgelse af restmetanpotentialet ved 7 temperaturer fra 5-55°C. Ved 55°C ophører metanproduktionen efter ca. 1500 timer. Ved denne temperatur realiseres ca. 50% af den del af metanpotentialet, der ikke blev udnyttet i pilot-biogasanlægget, hvorfra det afgassede materiale stammede.

Ved 35°C, der svarer til den temperatur, der findes i lagertankene på biogasanlæg, og 30 dages lagring, vil der i en overdækket lagerbeholder beregningsmæssigt blive produceret metan svarende til en forøgelse af metanudbyttet med godt 5%. Dette metanudbytte er lavt i forhold til den produktion, der i praksis findes på biogafællesanlæg ved tilsvarende lagring af afgasset gylle. Denne forskel kan skyldes en forskel i omsættelighed og derved omsætningsgrad for VS i affald og i gylle.

Undersøgelsen viser yderligere, at det realiserede restmetanpotentiale er meget afhængig af temperaturen, således at metanproduktionen i praksis er meget lille ved de temperaturer, der findes i de gylletanke, der bruges til lagring af det bioforgassede materiale (< 22°C). I praksis er restmetanproduktionen fra bioforgasset organisk dagrenovation derfor både begrænset af temperaturen i gyllebeholderen og af omsætteligheden af VS.

Metanemissionen fra lagring af afgasset organisk dagrenovation i gyllebeholdere vurderes på baggrund af de gennemførte beregninger at udgøre ca. 8 promille af den metan, der produceres ved bioforgasning af det samme affaldsmængde i biogasreaktoren. Der vil ikke være nogen væsentlig

energigevinst forbundet med at opsamle denne metan, men emissionen vil have nogen effekt på systemets drivhusgasbalance. For det samlede biogassystem svarer dette således til, at metanemissionen fra lagring af afgasset affald vil reducere den samlede besparelse på drivhusgasregnskabet med ca. 4%.

5 Begrænsninger for anvendelse i jordbruget af restprodukter fra bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation

Anvendelse af bioforgasset eller komposteret kildesorteret organisk dagrenovation i jordbruget er styret af Bekendtgørelse Nr. 49 af 20. januar 2000 om anvendelse af Affaldsprodukter til Jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen). I bekendtgørelsen fastlægges en række krav til indhold af tungmetaller og organisk miljøfremmede stoffer i organisk affald herunder kildesorteret organisk dagrenovation, der ønsket bioforgasset med efterfølgende anvendelse af restprodukterne i jordbruget. Hvis flere forskellige typer organiske materiale sammenblandes som det stort set altid sker skal hver enkelt type overholde de stillede krav inden sammenblandingen. Det er i en række undersøgelser påvist, at kildesorteret organisk dagrenovation normalt overholder de stillede krav til tungmetaller; men at overholdelsen af afskæringsværdien for plastblødgørere DEHP kan give problemer, som evt. kan begrænse genanvendeligheden af denne affaldsfraktion.

En detaljeret undersøgelse af denne problemstilling er gennemført og præsenteret i projektet *DEHP i husholdningsaffald*, Miljøprojekt Nr. 702, 2002 /9/. Nedenfor præsenteres projektets formål og resultater og kommenteres i lyset af de senere undersøgelser. I beskrivelsen medtages også de dele af projektet, der vedrører kompostering idet jordbrugsanvendelsen er meget parallel for kildesorteret organisk dagrenovation uanset om det bioforgasses eller komposteres.

5.1 Projektets formål og hovedaktiviteter

Projektet havde til formål:

- at udvikle forslag til fremtidige fremgangsmåder for prøvetagning og analyse af dagrenovation, der ønskes udnyttet til jordbrugsformål
- at belyse sammenhængen mellem affaldshåndtering og DEHP-indhold og skitsere retningslinier for fremtidig strategi for sortering og forbehandling.

I projektet indgik tre hovedaktiviteter:

- Der blev identificeret strategier og muligheder for repræsentativ prøvetagning på biologiske behandlingsanlæg for dagrenovation samt praktisk afprøvning af metoder til udtagning af prøver. I den forbindelse blev der foretaget en gennemgang og beskrivelse af de vigtigste danske anlæg.
- En laboratoriemetode til homogenisering og oparbejdning af kildesorteret organisk dagrenovation, primært med henblik på bestemmelse af DEHP blev udviklet og dokumenteret.

- Sammenhæng mellem kvalitet af ubehandlet og (delvist) forbehandlet kildesorterede organiske dagrenovation og indhold af DEHP og tungmetaller blev kortlagt gennem undersøgelse på udvalgte danske behandlingsanlæg. Desuden blev der udarbejdet forslag til strategi for nedbringelse af DEHP i denne affaldstype til et acceptabelt niveau.

5.2 Strategier for og metoder til prøvetagning af dagrenovation

Prøvetagning af kildesorteret organisk dagrenovation, der ønskes anvendt i jordbruget efter bioforgasning eller kompostering er ikke enkel. Der er i Danmark ca. 20 anlæg af disse typer. På trods af det begrænsede antal er der så mange konkrete forskelle i teknologi, indretning og drift, at det er nødvendigt at definere syv kombinationer af indretning og affaldstyper for at kunne dække de forskellige situationer, der kan være relevante i sammenhæng med kontrollen af affalds kvalitet i henhold til Slambekendtgørelsen.

Grundlæggende er formålet med kontrollen af affald og/eller gødningsprodukt at sikre, at miljøbelastningen med forskellige kemiske stoffer holdes på et acceptabelt lavt niveau. Prøvetagningen bør derfor fokusere på den del af affaldet, der faktisk indgår i den biologiske behandlingsproces og efterfølgende ønskes genanvendt til jordbrugsformål og lignende. Samtidig skal der naturligvis tages hensyn til de gældende regler for kvalitetskontrol.

Hovedvanskeligheden er myndighedskravet om, at kvalitetskravene skal være overholdt inden der sker sammenblanding af forskellige affaldstyper. Dette krav vil i en række tilfælde give store praktiske problemer for behandlingsanlæggene, når prøverne samtidig skal være repræsentative for det modtagne affald. Det er derfor vigtigt, at reglerne fortolkes og administreres på en måde, der både tilgodeser det overordnede formål med kontrollen og samtidig sikrer, at de formelle krav ikke bliver en hindring for udbredelsen af biologisk affaldsbehandling.

Især vil en fornuftig fortolkning inden for følgende to områder være vigtig:

- At begrebet "affaldsproducent" fortolkes på en operationel måde. Det vil i denne sammenhæng sige, at kildesorteret organisk dagrenovation, der leveres fra flere oplandskommuner til det samme anlæg efter ensartede retningslinier, ikke betragtes som affald fra flere affaldsproducenter. Det vil nemlig medføre, at der skal føres kontrol med de indkommende læs fra hvert opland for sig, hvilket næppe vil kunne lade sig gøre i praksis. Der vurderes heller ikke at være væsentligt fagligt belæg for en sådan skelnen.
- At prøvetagning tillades foretaget, efter at strukturmateriale så som grenaffald, halm eller aviser er tilsat. Sådanne materialer benyttes ofte i forbindelse med kompostering af husholdningsaffald. I stedet kan man fastsætte standardbidrag for tungmetaller og miljøfremmede stoffer i sådanne materialer og foretage en simpel korrektionsberegning af indholdet af forurenende stoffer i udgangsmaterialet.

En række praktiske metoder til udtagning, neddeling og homogenisering af dagrenovationen har været afprøvet og der er identificeret udstyr, der kan foretage den forbehandling, der er påkrævet for at tilstrækkeligt homogene prøver kan leveres til analyselaboratorierne.

5.3 Homogenisering, oparbejdning og analyse af prøver af kildesorteret organisk dagrenovation

Der blev som led i projektet udviklet en laboratoriemetode til homogenisering af delvis forbehandlede prøver af kildesorteret organisk dagrenovation (med indhold af plast og andre urenheder). Metoden bygger på en kraftig nedfrysning af prøvematerialet med flydende nitrogen og efterfølgende findeling og homogenisering ved hjælp af en kødhakker.

Desuden er en række ekstraktionsmetoder for DEHP i affald blevet undersøgt, men har ikke givet anledning til at fravige den hidtil anvendte metode, der er identisk med Miljøstyrelsens metode for analyse af spildevandsslam. Den samlede metode er dokumenteret på husholdningsaffald fra tre forskellige anlæg og der blev opnået en præcision på $\pm 30\%$, hvilket må betegnes som tilfredsstillende for en så kompliceret prøvematrix som affald.

5.4 Sammenhæng mellem affaldskvalitet og indhold af DEHP

For at belyse den mulige sammenhæng mellem affaldssortering og indhold af DEHP i kildesorteret organisk dagrenovation blev der i efteråret 2000 gennemført et prøvetagnings- og analyseprogram på seks udvalgte anlæg, der foretager biologisk behandling af denne affaldstype. Der blev udvalgt tre biogas- og tre komposteringsanlæg, der på forhånd på baggrund af sorteringsvejledning og viden fra tidligere undersøgelser, forventedes parvis at falde i tre kategorier ("god", "mellem" og "dårlig") hvad angik kvaliteten af kildesortering af det modtagne affald i forhold til indholdet af plast. Der er tale om analyser af det indkommende affald inden bioforgasning og kompostering således at analyseresultaterne under et kan ses som udtryk for indholdet af DEHP i kildesorteret organisk dagrenovation med de modifikationer, der fremgår nedenfor. Tabel 5.1 viser en sammenstilling af resultaterne.

Tabel 5.1 DEHP i tre prøver af indkommende dagrenovation på 6 udvalgte biogas og komposteringsanlæg (efter /9/)

Anlæg	DEHP mg/kg tørstof
Forventet god kvalitet	
Grindsted	64, 11, 7,0
Fredericia	24, 6,6, 14
Forventet mellem kvalitet	
Vaarst-Fjellerad (Ålborg)	25, 24
Vejle	39, 74, 120
Forventet dårlig kvalitet	
Studsgård (Herning)	35, 10, 10
AFAV (Frederikssund)	110, 51, 56

Der skal knyttes nogle få bemærkninger til resultaterne i tabel 5.1:

- Den første prøve fra Grindsted fremstod visuelt som markant anderledes end de to næste prøver ved at have et langt højere indhold af fejlsorteringer så som plast og papir. Tidligere prøver taget på

Grindsted biogasanlæg har visuelt fremstået som prøve 2 og 3 og har haft tilsvarende lave indhold af DEHP og det vurderes derfor, at DEHP-indholdet i prøve 1 ligger væsentligt over gennemsnittet for dette anlæg.

- På Knudmoseværket i Herning var der driftsstop på anlægget under første prøvetagning. Der blev derfor udtaget 20 hele affaldsposer, som fik frasorteret en del af fejlsorteringerne indtil et skønnet gennemsnitligt niveau efter rullensigtning. Blandprøven blev fremstillet ud fra det manipulerede materiale. Der kan muligvis være skønnet galt med hensyn til, hvor meget materiale, der skulle frasorteres for at opnå en "gennemsnitlig" prøve. Efter en nærmere gennemgang af sorteringsvejledningerne fra oplandskommunerne til Studsgård/Knudmoseværket ser det i øvrigt ud til, at dette anlæg generelt burde betragtes som et anlæg med middelkvalitet. Dog er der jævnlige modtaget affald fra andre end de sædvanlige oplandskommuner. Angiveligt har noget af dette affald ofte haft en betydeligt ringere kvalitet end resten, hvorfor det har måttet frasorteres og sendes til forbrænding.

Resultaterne viste, at 10 ud af 11 prøver fra de "gode" og "mellemgode" anlæg kunne overholde afskæringsværdien for DEHP med god margin. Den sidste prøve fremstod visuelt som atypisk for det pågældende anlæg. På de "dårlige" anlæg overskred fem ud af seks prøver afskæringsværdien.

Det konkluderes, at de fleste af de eksisterende sorteringsvejledninger i sig selv er tilstrækkelig præcise og restriktive, således at der ikke bør være problemer med DEHP i affaldet, hvis husstandene efterlever vejledningerne. Med hensyn til emballering af affaldet anbefales det, at husstandene benytter særlige papirposer til formålet, og at der i hvert fald kun accepteres bestemte typer af køkkenaffaldsposer af plast. Det bedste resultat opnås formentlig, hvis de affaldsposer husstandene skal benytte udleveres fra centralt hold. Det vigtigste er at sikre, at vejledningernes krav rent faktisk bliver efterlevet. Dette kan for eksempel ske ved jævnlig information til husstandene om emnet samt konkret opfølgning på uacceptabel sortering hos enkelthusstande eller boligkarréer, f.eks. ved at man undlader at afhente affaldet eller forhøjer afhentningsafgiften.

Det anbefales anlæggene at etablere forbehandlingsudstyr, der kan frasortere de væsentligste urenheder inden den biologiske behandling påbegyndes. Derved kan afsmitning af DEHP og andre forureninger til den organiske fraktion minimeres.

6 Miljøvurdering af bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation

I forbindelse med kortlægningen af biogaspotentialer i kildesorteret organisk dagrenovation er der foretaget en miljømæssig vurdering af bioforgasning som funktion af kildesorteringskriterier, indsamlingssystem, forbehandling og bioforgasning samt forbrænding af rejektet. Vurderingen er begrænset til de for danske forhold væsentligste aspekter, idet der fokuseres på energi, drivhusgasser og næringsstofudnyttelse.

6.1 Energi, drivhusgasser og næringsstoffer

Modelberegninger af besparelser i energi, drivhusgasemission og næringsstoffer er gennemført for kildesorteret organisk dagrenovation for 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 substitution af kunstgødning.

Energibesparelsen ved bioforgasning af den organiske dagrenovation er den samme om forbehandlingen sker på ruller eller skrueseperator og er i øvrigt ikke signifikant forskellig fra forbrænding af den organiske dagrenovation for Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding og Vejle, mens der er en lille fordel (ca. 9%) i Aalborg.

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 energibesparelse er meget robust over for ændringer i det teknologiske system, idet ændringerne i energibesparelsen er lille ved en rejktmængde på 7 % frem for på normalt på 30 – 44 % (+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 biogasproduktion pr. tons (+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 energibesparelsen på 23 %.

Besparelsen i N, P og K forekommer ikke ved forbrænding og er pr. ton våd kildesorteret organisk dagrenovation ca. 5-7 kg N, 0,5-1 kg P og 1,5-2 kg K for Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg. I Grindsted, hvor affaldet er meget rent og kun forbehandles ved neddeling og magnetseparering er besparelse stort set dobbelt så stor, da rejktmængden her er forsvindende.

7 Referencer

- /1/ Haugsted, Per (2003): "Fuldskalaforsøg i hovedstadsområdet". Rambøll. Miljøprojekt nr. x, 2003 (in press).
- /2/ Larsen, Frank Michael (2003): "Fuldskalaforsøg i Kolding". COWI. Miljøprojekt nr. x, 2003 (in press).
- /3/ 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. x, 2003 (in press).
- /4/ Jansen, Jes la Cour og Orla Jørgensen (2003): "Sammenhæng mellem sortering, forbehandling og kvalitet af biomasse" Lunds Tekniska Högskola og Planenergi Miljøprojekt nr. x, 2003 (in press).
- /5/ Petersen, Claus (2002): "Evaluering af ordninger for hjemmekompostering samt kortlægning af dagrenovationens sammensætning". Econet AS. Miljøprojekt nr. x, 2003 (in press).
- /6/ Christensen, Thomas Højlund, Orla Jørgensen og Jes la Cour Jansen (2003): "Datarapport om sammensætning og biogaspotentiale i organisk dagrenovation". DTU, Lunds Tekniska Högskola og PlanEnergi. Miljøprojekt nr. x, 2003 (in press).
- /7/ Jørgensen, Bjørn Stampe m.fl. (2003): "Forbehandling af organisk husholdningsaffald ved hydraulisk stempelseparation", AFAV, TK Energi AS og DTU. Miljøprojekt Nr. 759 2003
- /8/ Christensen, Thomas Højlund m. fl. (2003): "Basisdokumentation for biogaspotentialet i organisk dagrenovation". DTU, Lunds Tekniska Högskola, Rambøll, VA-verket Malmö. Miljøprojekt nr. x, 2003 (in press).
- /9/ Kjølholt Jesper, Jes la Cour Jansen og Claus Dahl Thomsen (2002): "DEHP i husholdningsaffald". Miljøprojekt Nr. 702, 2002.
- /10/ Gabriel, Søren m.fl. (2003): "Metanemission fra lagring af bioforgasset organisk dagrenovation". DTU og Forskningscenter Bygholm. Miljøprojekt nr. x, 2003 (in press).