



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Kildesorteret organisk dagrenovation (KOD) Business Case med miljømæssige og økonomiske konsekvenser

Miljøprojekt nr. 2092

Juli 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Rambøll Danmark A/S:

Per Haugsted Petersen

Marianne Rothmann

Rasmus Eisted

Fotos:

Jane Walsøe Schjerner

ISBN: 978-87-7038-087-4

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. 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.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	6
Sammenfatning	7
Summary	10
1. Indledning	13
2. Beskrivelse af cases	14
2.1 Omfang og mængder.....	14
2.1.1 Boliger med egen renovationsbeholder/-sæk.....	15
2.1.2 Boliger med fælles renovationsbeholder (overjordisk/underjordisk)	15
3. Business cases	16
3.1 Kildesortering	16
3.1.1 Køkken i bolig med egen renovationsbeholder	16
3.1.2 Køkken i bolig med egen renovations-sæk.....	17
3.1.3 Køkken i bolig med fælles renovationsbeholder	17
3.1.4 Køkken med køkkenkværn.....	17
3.2 Opbevaring.....	18
3.2.1 Boliger med egen renovationsbeholder	18
3.2.2 Boliger med egen renovations-sæk.....	19
3.2.3 Boliger med fælles minicontainere	20
3.2.4 Boliger med fælles nedgravede containere	20
3.2.5 Boliger med køkkenkværn	21
3.3 Afhentning og transport	21
3.3.1 Boliger med egen renovationsbeholder	21
3.3.2 Boliger med egen renovations-sæk.....	22
3.3.3 Boliger med fælles minicontainer	22
3.3.4 Boliger med fælles nedgravede containere	22
3.3.5 Boliger med køkkenkværn	23
3.4 Sortering og forbehandling	23
3.4.1 Teknologi	23
3.4.2 Effektivitet	24
3.4.3 Kvalitet af biomasse/pulp.....	24
3.4.4 Håndtering af restprodukt	24
3.5 Behandling af biomasse/pulp	25
3.5.1 Biogasanlæg på rensningsanlæg (rådnetank)	25
3.5.2 Biogasanlæg med husdyrgødning	25
3.5.3 Biogasanlæg med organisk affald.....	25
3.5.4 Kompostering	25
4. Miljømæssige og økonomiske konsekvenser	26
4.1 Grundlag.....	26
4.1.1 Systemgrænser	26
4.1.2 Parametre	27
4.2 Ressourcer	27
4.2.1 Input	28
4.2.2 Kildesortering	28

4.2.3	Opbevaring	28
4.2.4	Transport	28
4.2.5	Forbehandling	28
4.2.6	Behandling.....	29
4.2.7	Output	29
4.2.8	Resultater	29
4.3	Energi	31
4.3.1	Input	31
4.3.2	Kildesortering	31
4.3.3	Opbevaring	31
4.3.4	Transport	31
4.3.5	Forbehandling	32
4.3.6	Behandling.....	32
4.3.7	Output	33
4.3.8	Resultater	33
4.4	Klima.....	35
4.4.1	Input	35
4.4.2	Kildesortering	36
4.4.3	Opbevaring	36
4.4.4	Transport	36
4.4.5	Forbehandling	36
4.4.6	Behandling.....	36
4.4.7	Resultater	37
4.5	Økonomi	39
4.5.1	Input	40
4.5.2	Kildesortering	40
4.5.3	Opbevaring	40
4.5.4	Transport	41
4.5.5	Forbehandling	41
4.5.6	Behandling.....	42
4.5.7	Output	42
4.5.8	Resultater	42
Referencer		45

Forord

I forbindelse med udrulningen af nye affaldssystemer i de danske kommuner er det Miljøstyrelsens ønske, at bidrage med en letlæselig publikation om organisk affald til kommunale embedsmænd og politikere.

Rapporten er tænkt som et værktøj til kommunale embedsmænd og politikere, der arbejder med Kildesorteret Organisk Dagrenovation (KOD), hvor de hurtigt kan slå konkrete fakta op. Derudover angiver rapporten de umiddelbart bedste tekniske løsninger, der er til rådighed i dag, under hensyn til de forudsætninger, der er opstillet.

Rapportens enkelte afsnit kan ses i en sammenhæng eller hver for sig, men rapportens samlede konklusioner bygger på en række antagelser og forudsætninger, der ikke kan tages ud af en sammenhæng og stå alene.

Rapporten og de tilhørende beregninger er foretaget i samarbejde med styregruppen, der består af: Linda Bagge (Miljøstyrelsen), Inge Werther (Dakofa) og Per Haugsted Petersen (Rambøll).

Ligeledes er arbejdet fulgt og kommenteret af følgegruppen, der består af:

Linda Bagge (MST), Inge Werther (DAKOFA), Jacob Arp Fallov (Roskilde Kommune), Henrik Wejdling (Affaldplus I/S), Bjarne Bro (Billund Biorefinery A/S), Morten Brygger Kristensen (BGORJ), Helle Kayerød (DANVA), Henrik Wenzel (SDU), Per Haugsted Petersen (Rambøll), Søren Steensen (Brønderslev Kommune), Michael Tersbøl (Økologernes Landsforening), Henrik Bang Jensen (Landbrug og Fødevarer), Bruno Sander Nielsen (Brancheforeningen for Biogas), Marianne Rothmann (Rambøll), Rasmus Eisted (Rambøll).

Sammenfatning

Ressourcestrategien lægger op til øget udsortering af den organiske del af dagrenovationen, som udgør ca. 40 % af den samlede dagrenovation (Miljøstyrelsen, 2013). Ved at udsortere denne ressource ved husstanden kan den anvendes til energiproduktion i biogasanlæg, hvorefter den afgassede biomasse (digestate) kan anvendes som biogødning, således at næringsstofferne recirkuleres.

I dette projekt beskrives cases for en "tænkt" kommune med helårsboliger med individuelle affaldsbeholdere og 15 % etageboliger (gennemsnit for 35 mellemstore kommuner, Danmarks Statistik, 2015) med fælles affaldsbeholdere. Business casen vil præsentere resultater for en enkelt husstand, for 25.000 husstande og for 100.000 husstande. Der er i beregningsmodellen taget udgangspunkt i det, der under de givne forudsætninger må antages at være den bedst mulige løsning for kommunen. Alle cases tager afsæt i den nøje sammenhæng, der er mellem kildesortering, indsamling og behandling for at opnå et system, der er veltrimmet og robust. Der gøres opmærksom på, at der er en række alternative muligheder, og i denne rapport er blot valgt løsninger, der er vurderet til at være optimale i den givne situation med henblik på at opnå det bedste resultat.

Det første trin i indsamlingen af organisk affald fra husstande er en velorganiseret kildesortering i køkkenet. Der tages i business casen udgangspunkt i et specifikt valg af indsamlingsmateriel, der erfaringsmæssigt er vurderet til at være bedst egnet. Det andet trin i indsamling af organisk affald er de udendørs opbevaringsmuligheder, hvor leverandørerne er mange og udstyrstyperne alsidige.

Også her er valgt velafprøvet udstyr, der er vurderet som værende det bedst egnede i den givne situation. Den kildesorterede organiske dagrenovation skal derefter afhentes og transporteres til forbehandlingsanlæg. Der er i denne business case udvalgt en specifik teknologi (Komptech GmbH, A) til forbehandlingen. Den forbehandlede kildesorterede organiske dagrenovation (biopulpen) sendes til biogasanlæg, hvilket denne rapport ikke omfatter.

Optimalt vil biogassen fra alle anlæggene renses for CO₂, hvorved det opgraderes til biometan, som kan tilsluttes naturgasnettet. Biometan vil herefter have samme anvendelse som naturgasen.

Anden del af rapporten indeholder en modellering af en business case, baseret på en del af de beskrevne systemer i første del. Resultatet af modelleringen præsenteres i forhold til primær energi, klimapåvirkning, ressourcebalance og økonomi.

I modelleringen har fritliggende huse en spand med papirpose i køkkenet og en et-rumsbeholder til opbevaring, tæt-lav bebyggelse har en spand uden pose samt et stativ med sæk, og etageboliger har en spand med papirpose og fælles overjordiske eller nedgravede affaldscontainere. Boliger med sækkeløsning antages at udgøre 10 % af en-familieboliger, og boliger med nedgravet containere antages at udgøre 10 % af etageboliger.

Alt affald transporteres i renovationsbiler, der antages at være sammenlignelige i alle tilfælde. Hvor der er forskelle, er der taget højde for dette. Forbehandling og behandling er ens i alle tilfælde og er derfor regnet ens i alle tilfælde. Der medtages ikke beregningsmæssige eksempler på køkkenkværn af den årsag, at køkkenkværnen ikke er særligt udbredt og derfor ikke vil være repræsentativ for en gennemsnitlig kommune.

Grundlaget for de samlede masseberegninger er Miljøstyrelsens egne tal for organisk affald, hvor der tages hensyn til effektiviteten i systemet, og forholdet mellem lav-tæt bebyggelse og etageboliger. Masseberegningerne danner udgangspunkt for de energimæssige og klimamæssige beregninger, hvor der tages udgangspunkt i den nyeste viden om energiindhold og klimaeffekter.

Parameteren for ressourcer dækker over de næringsstoffer samt kulstof, der findes i den organiske dagrenovation og senere biogødningen. Forbehandlingsanlægget har her en indflydelse på hvor meget af ressourcerne, der går tabt i værdikæden og dermed hvor meget, der kan udnyttes i biogødningen. Under de givne forudsætninger om potentialer og effektivitet til udsortering af organisk dagrenovation indsamles 164 kg KOD pr. gennemsnitshusstand pr. år. Beregningerne viser desuden, at der under de givne forudsætninger recirkuleres 1,29 kg kvælstof, 0,67 kg fosfor og 0,41 kg kalium pr. gennemsnitshusstand pr. år.

Parameteren for energi dækker forbrug af brændstof og energi i forbindelse med indsamling, transport, forbehandling og behandling. Desuden inkluderes energisubstitution af outputtene, opgraderet biogas og biogødning. Al forbrug (og fortrængt produktion) omregnes til primær energi, dvs. den energi det kræver at producere den givne energikilde eller produkt. Beregningerne viser, at der netto anvendes 31 kWh-ækvivalenter pr. gennemsnitshusstand pr. år. Herunder er medregnet besparelser som følge af fortrængt produktion af naturgas og kunstgødning.

Parameteren for klima behandles ud fra et synspunkt af konsekvens LCT (Life Cycle Thinking), hvorved der anvendes marginal tænkning, hvilket betyder, at de processer, der responderer på øget eller reduceret efterspørgsel, anvendes. Der tages i business casen ikke højde for potentielle synergieffekter, der vil forekomme ved anvendelse af bioaffald som substrat i gyllebaserede biogasanlæg.

Outputtet fra systemet er opgraderet biometan, som tilsluttes naturgasnettet, hvorved det kan anvendes til en række forskellige formål, herunder produktion af transportbrændsel, som vil komplementere et fremtidigt dansk energisystem. Den producerede biometan fortrænger derved produktion og afbrænding af fossilt naturgas.

Parameteren for klima dækker emissioner forbundet med indsamling og transport relateret til forbrug af brændstof samt emissioner forbundet med energiforbruget i forbindelse med forbehandling og behandling. Konstruktion af materiel, anlæg og infrastruktur medregnes ikke. Beregningerne viser, at der spares 14 kg CO₂-ækvivalenter pr. gennemsnitshusstand pr. år. Dette er et konservativt resultat, da biomassen i denne business case modelleres i dedikerede biogasanlæg. Anvendes biomassen i stedet som substrat til samforgasning med gylle, kan der opnås væsentligt større besparelser som følge af synergieffekter med bl.a. gyllehåndtering (Cimpan et al., 2015).

Parameteren for økonomi dækker indkøb af indsamlingsmateriel, anlægsinvesteringer i forbindelse med forbehandlingsanlæg samt salg af biomasse til behandlingsanlæg (biogasanlæg). Driftsomkostninger forbundet med brændstof- og energiforbrug inkluderes ligeledes. Biogassen vil blive opgraderet, således at det vil kunne tilkøbes naturgasnettet. Værdien af denne biogas vil medregnes. Beregningerne viser, at selve indsamlingen af den kildesorterede organiske dagrenovation vejer tungt i regnskabet. Derudover opnås stordriftsfordele i forbindelse med afskrivning og drift af forbehandlingsanlæg. Under de givne forudsætninger om indsamlede mængder KOD vil oplande på 5000-20.000 husstande medføre nettoomkostninger for 800-525 kr. pr. gennemsnitshusstand pr. år, hvorimod et opland på 25.000-100.000 husstande vil medføre nettoomkostninger for 500-450 kr. pr. gennemsnitshusstand pr. år. Heri er fratrukket gevinsten, der følger af biomassens biogaspotentiale. Der er i priserne ikke medregnet den besparelse, der opnås ved, at det ikke skal indsamles og leveres til forbrænding.

Alle resultater præsenteres i tabeller i anden del af rapporten, og der henvises derfor til disse for nærmere oplysninger om resultaterne. Derudover er resultaterne vist grafisk for at vise eventuelle stordriftsmæssige fordele, som kun fremgår af økonomien.

Summary

The Danish National Resources Strategy prepares for increased separation of the organic fraction of domestic waste, which accounts for about 40% of the total domestic waste (DEPA, 2013). By sorting out this resource at the household it can be used for energy production in biogas plants, whereupon the degassed biomass (digestate) can be used as bio fertilizer, thus recycling the nutrients.

This project describes cases for an "imaginary" municipality with permanent residences with individual waste containers, and 15% multi-story buildings (the average of 35 medium-sized municipalities, Statistics Denmark, 2015) with communal waste containers. The business case will present results for a single household, for 25,000 households and 100,000 households. The calculation model is based on what, under the given circumstances, is likely to be the best possible solution for the municipality. All cases are based on the strong correlation between source separation, collection and treatment to achieve a system that is well-trimmed and solid. It should be noted that there are a number of alternatives, and this report only focus on solutions that are judged to be optimal in the given situation in order to achieve the best result.

The first step in the collection of organic waste from households is a well-organized source separation in the kitchen. The business case is based on a specific choice of collection materials which experience has proved to be most suitable. The second step in the collection of organic waste is the outdoor storage facilities, where suppliers are numerous and equipment types versatile.

Here is also chosen well-proven equipment that is rated as being the most appropriate in the given situation. The source separated organic domestic waste is then collected and transported to the waste pretreatment facility. This business case focuses on a specific technology (Komptech GmbH, A) for pretreatment. The pretreated source separated domestic waste (biopulp) is sent to the biogas plant, which is not covered by this report.

Optimally, the biogas is upgraded to biomethane by cleaning the CO₂ from the biogas, where after the biomethane can be connected to the natural gas grid. Biomethane will then have the same use as natural gas.

The second part of the report comprises a modeling of a business case, based on a number of the systems described in the first part. The results of the model are presented in relation to primary energy, climate impact, resource balance and economy.

The model operated with detached houses with a bucket with paper bag in the kitchen and a one-compartment container for storage; low-dense buildings have a bucket without bag, a tripod with bag; and multi-story buildings have a bucket with paper bag and common above-ground or underground waste containers. Homes with sacks solutions are assumed to account for 10% of individual housing and homes with underground containers is believed to account for 10% of multi-story buildings.

All waste is transported in collection vehicles that are assumed to be fully comparable, where differences are found, these are taken into account. Pretreatment and processing are the same in all cases and are therefore calculated alike in all cases. Computational examples of kitchen grinder

are not included, as a kitchen grinder is not particularly common in Denmark and therefore will not be representative of an average municipality.

The basis of all mass calculations is DEPA's own figures for organic waste, taking into consideration the efficiency of the system, and the relationship between low-dense buildings and multi-story buildings. Mass calculations form the basis of energy and climate calculations with starting point in the latest knowledge on energy and climate effects.

The parameter of resources covers the nutrients and carbon contained in the organic household waste and later in the bio fertilizer. The pre-treatment facility has an influence on how much of the resources that are lost in the value chain and thus how much that can be utilized in bio fertilizer. Given the assumptions of the potential and efficiency for separation of organic household waste an average of 164 kg source separated domestic waste is collected per household per year. The calculations also show that under the given circumstances 1.29 kg nitrogen, 0.67 kg phosphorus, and 0.41 kg potassium is recycled per average household each year.

The parameter for energy covers consumption of fuel and energy in the collection, transportation, pretreatment and treatment. Furthermore energy substitution of outputs, upgraded bio gas and bio fertilizer is included. All consumption (and displaced production) is converted into primary energy, i.e. the energy it takes to produce a given source of energy or product. The calculations show that net 31 kWh equivalents per average household are used per year. Included in this is savings from displaced production of natural gas and fertilizers.

The parameter of climate is treated from an aspect of impact LCT (Life Cycle Thinking), which uses marginal thinking, meaning that the operations responsive to increased or reduced demand, are employed. The business case does not account for potential synergies that will occur with the use of bio-waste as a substrate in manure-based biogas plants.

Output from the system is upgraded bio methane, which is connected to the natural gas network, and used for a variety of purposes, including the production of transport fuel, which will complement a future Danish energy system. Thus the produced bio methane replaces the production and burning of fossil natural gas.

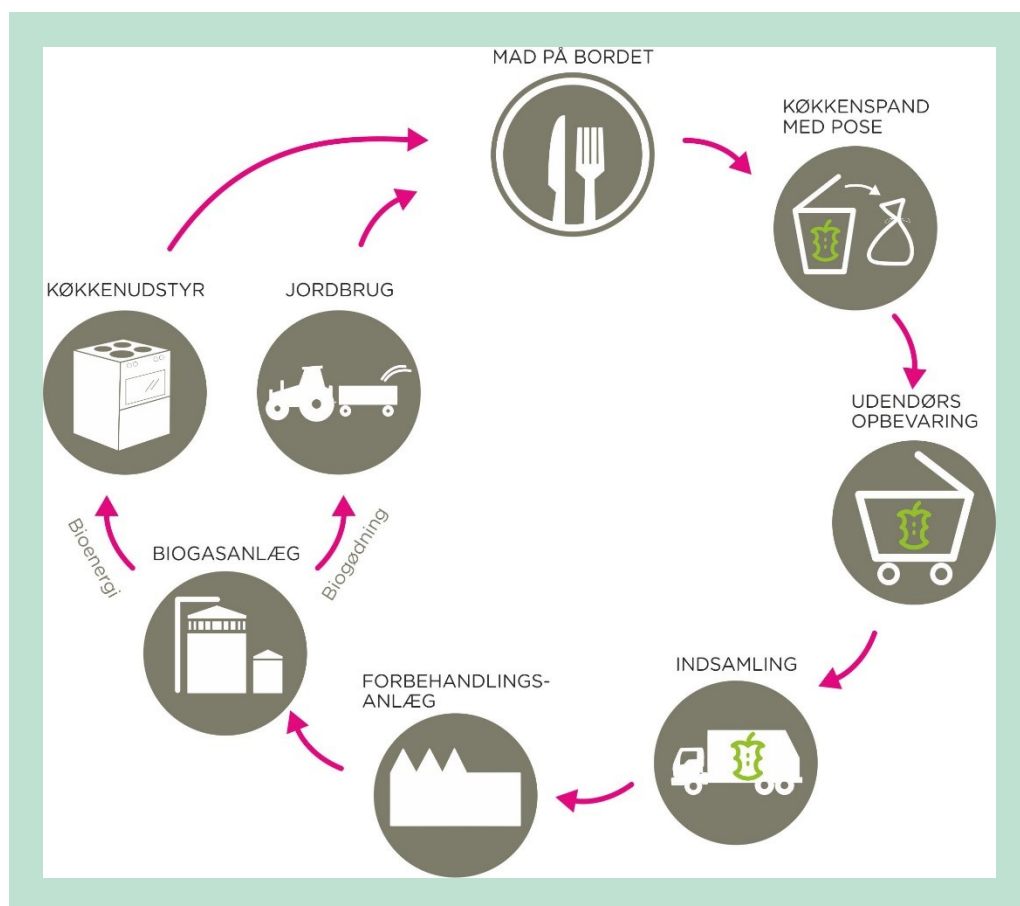
The parameter for climate covers emissions associated with collection and transport related to fuel consumption, and emissions associated with energy consumption in the pretreatment and treatment. Construction of equipment, facilities and infrastructure are not included. The calculations show that 14 kg CO₂ equivalents per average household is saved each year. This is a conservative result as the biomass in this business case is modelled in dedicated biogas plants. Is the biomass instead used as a substrate for co-gasification with manure, significantly higher savings can be achieved resulting from synergies with e.g. manure handling (Cimpan et al., 2015).

The parameter of economy covers the procurement of collection equipment, investments in fixed assets in connection with the pretreatment facilities and the sale of biomass to treatment plants (biogas). Operating costs associated with fuel and energy consumption are also included. The biogas will be upgraded for connection to the natural gas network. The value of this biogas will be included. Calculations show that the collection of source separated organic domestic waste in itself weighs heavily in the accounts. In addition, economies of scale related to depreciation and operation of pre-treatment facilities are obtained. Under the given circumstances on quantities of collected source separated domestic waste, tributary areas of 5,000 to 20,000 households will result in a net cost of 800-525 DKK per average household each year, whereas tributary areas of 25,000 to 100,000 households will result in a net cost of 500-450 DKK per average household each year. From this is deducted the gain following from the biogas potential of the biomass. The rates do not include savings by non-collection and delivery to incineration.

All results are presented in tables in the second part of the report, and these are referred to for further details of the results. Additionally, the results are displayed graphically to show any possible economics of scale, which appears only in the economy.

1. Indledning

Ressourcestrategien lægger op til øget sortering af dagrenovationsaffaldet; hvor særligt sortering af den organiske del af dagrenovationen er ny for de fleste danske kommuner. Cirka 40 % af gennemsnitligt dansk dagrenovation består af organisk dagrenovation dvs. madaffald (Miljøstyrelsen, 2013). Ved at sortere denne ressource ved husstanden kan den anvendes til energiproduktion i biogasanlæg, hvorefter den afgassede biomasse (digestate) kan anvendes som biogødning på landsbrugsjorde, således at næringsstoffer som kvælstof, fosfor og kalium recirkuleres. Indsamling af kildesorteret organisk dagrenovation kan dermed bidrage til produktion af biogas, som kan udnyttes som fleksibel energikilde, og recirkulering af næringsstoffer.



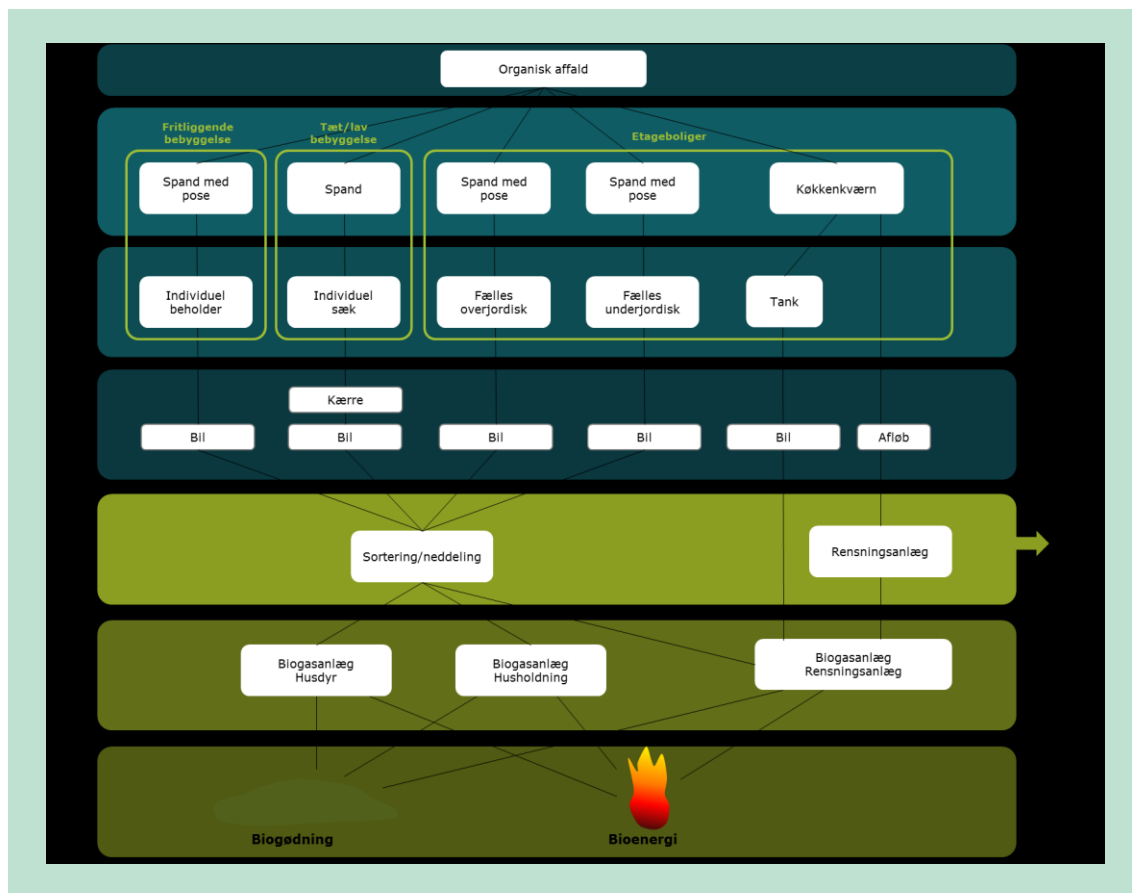
FIGUR 1. Skitse "Cirkulære madvaner" i husstanden. Med udgangspunkt i borgerens behov for mad på bordet analyseres en business case for optimal håndtering af de organiske restprodukter, der måtte være som følge heraf. Kildesortering af organisk dagrenovation vil i en vis udstrækning føre til ny produktion af fødevarer, og således sluttet cirklen.

I denne rapport opstilles en række cases for indsamling og behandling af organisk dagrenovation. Disse er opdelt på en serie specifikt udvalgte typer af indsamlingsmateriel og processteknologier. Der gøres opmærksom på, at der er en række alternative muligheder, og i denne rapport er blot valgt den løsning, der er vurderet til at være optimal i den givende situation med henblik på at opnå det bedste resultat.

2. Beskrivelse af cases

I dette projekt beskrives cases for en "tænk" kommune med helårsboliger med individuelle affaldsbeholdere og 15 % etageboliger (gennemsnit for 35 mellemstore kommuner, Danmarks Statistik, 2015) med fælles affaldsbeholdere. Business casen vil præsentere resultater for en enkelt husstand, for 25.000 husstande og for 100.000 husstande. Der er i beregningsmodellen taget udgangspunkt i det, der under de givne forudsætninger må antages at være den bedst mulige løsning for kommunen.

Alle cases tager afsæt i den nøje sammenhæng, der er mellem kildesortering, indsamling og behandling for at opnå et system, der er veltrimmet og robust.



Figur 1

Grafisk overblik over business cases fra materiale input til materiale output fordelt på de fem grundelementer i masseflowet af organisk materiale: kildesortering, opbevaring, transport, forbehandling og behandling. Køkkenkværne er medtaget i overblikket, men medtages ikke i beregningerne.

2.1 Omfang og mængder

Business casen giver resultater for en enkelt husstand, 25.000 husstande, 100.000 husstande og kan derefter skaleres til større opland. I det følgende præsenteres potentialet af organisk

dagrenovation samt den forventede mængde kildesorteret organisk dagrenovation (KOD) for de to størrelser af oplande. Disse oplysninger er fordelt mellem enfamilie-boliger og etageboliger, i henhold til generel effektivitet i indsamlingen for henholdsvis enfamilie-boliger og etageboliger (Miljøstyrelsen, 2013).

2.1.1 Boliger med egen renovationsbeholder/-sæk

Denne boligtype er defineret som enfamilie-boliger. På baggrund af affaldsanalyser fra forskellige kommuner er mængden af organisk dagrenovation i dagrenovationsaffaldet estimeret til at være 240 kg/husstand/år for enfamilie-boliger. Det forventes desuden, at indsamlingseffektiviteten for denne boligtype er 75 % af potentialet (Miljøstyrelsen, 2013).

Med afsæt i et opland på henholdsvis 25.000 og 100.000 husstande med en andel af 85 % enfamilie-boliger fås følgende potentialer og forventede mængder KOD. Det er desuden en forudsætning, at 90 % af haveboligerne har en individuel beholder (fritliggende), mens 10 % har et sækkestativ (tæt-lav), at 90 % af etageboligerne har en fælles minicontainer, mens 10 % har en fælles nedgravet container. Dette er selvfølgelig forhold, der er meget forskellige fra kommune til kommune, og som derfor skal betragtes som et gennemsnit.

Antal enfamilie-boliger (85 % af alle boliger)	Potentiale [t/år]	Forventet mængde KOD [t/år]
21.250	5100	3825
85.000	20.400	15.300

Tabel 1

Samlet potentiale og forventet mængde kildesorteret organisk dagrenovation (kod) i forhold til antallet af enfamilie-boliger, når disse udgør 85 % af det samlede antal husstande

2.1.2 Boliger med fælles renovationsbeholder (overjordisk/underjordisk)

Denne boligtype er defineret som etageboliger. På baggrund af affaldsanalyser fra forskellige kommuner er mængden af organisk affald i dagrenovationsaffaldet estimeret til at være 150 kg/husstand/år for etageboliger. Det forventes desuden, at indsamlingseffektiviteten for denne boligtype er 50 % af potentialet (Miljøstyrelsen, 2013).

Med afsæt i et opland på henholdsvis 25.000 og 100.000 husstande med en andel af 15 % etageboliger fås følgende potentialer og forventede mængder KOD.

Antal etageboliger (15 % af alle boliger)	Potentiale [t/år]	Forventet mængde KOD [t/år]
3.750	562	281
15.000	2250	1125

Tabel 2

Samlet potentiale og forventet udsorteret mængde af organisk materiale i forhold til antallet af etageboliger, når disse udgør 15 % af det samlede antal husstande.

Kommunerne kan desuden give tilladelse til brug af køkkenkvarne i områder, hvor det giver mening, f.eks. i forhold til pladsrelaterede problemer. Den mængde organisk dagrenovation, der frasorteres via køkkenkvarne, skal i de tilfælde fratrækkes den forventede mængde KOD.

3. Business cases

I dette projekt beskrives cases med eksempel på udstyr, der er gode erfaringer med. Der tages i business casen udgangspunkt i et specifikt valg af indsamlingsmateriel, der erfaringsmæssigt er vurderet til at være bedst egnet. Der findes dog alternative løsninger, der i givne sammenhænge kan være mindst lige så velegnede. Det anbefales, at der er en konsekvent overensstemmelse mellem brug af farver og piktogrammer i forbindelse med sorteringsudstyr og indsamlingsudstyr både indendørs og udendørs, så der på den måde skabes en logisk sammenhæng i systemet, så brugerne oplever en intuitiv sammenhæng. Det anbefales, at farven "brun" bruges til udstyret, da den signalerer muld/jord og derved kompostering/bioforgasning af organiske materialer. Brun er en gennemgående farve i Danmark og EU, når det kommer til organisk affald

3.1 Kildesortering

Det første trin i indsamlingen af organisk affald fra husstande er en velorganiseret kildesortering i køkkenet.

3.1.1 Køkken i bolig med egen renovationsbeholder

I køkkener i boliger med egen renovationsbeholder til organisk dagrenovation anbefales det, at der stilles en indendørs ventileret spand til rådighed, så risikoen for gennemvædelse af posen minimeres, og forrådnelse undgås. For at holde spanden ren for madrester, fores denne med en papirpose. Papirposen vil med den valgte forbehandlingsteknologi (se senere) blive opløst og efterfølgende indgå i processen i biogasanlæggene. Dette reducerer tab af biomasse og øger dermed outputtet fra biogasanlæggene. Posen begrænser i øvrigt tilsmudsning af både den indendørs spand og den udendørs beholder. Spanden bør have et volumen på 7 L, med tilhørende papirposer.



Billede 2

Eksempel på ventileret biospand med papirpose (joca.dk)

Denne løsning findes blandt andet i Billund Kommune, hvor den har været afprøvet igennem en længere årrække (Miljøstyrelsen, 2015). I Billund bruges en papirpose, fordi den blandt andet kan

gå med i processen med bioforgasning og kompostering, og den signalerer genanvendelse. Også [Morsø Kommune](#) har valgt denne løsning.

Alternativt kan anvendes såkaldte bioplast-poser til indsamling af organisk dagrenovation. Disse nedbrydes dog kun delvist i den anaerobe proces i biogasanlæg (RenoSam, 2013). Nedbrydning af disse kræver efterfølgende kompostering, som det ses ved blandt andet anlægget BioVækst. Ved brug af anden teknologi til behandling af bioaffaldet vil bioposerne sammen med almindelige plastposer blive sorteret fra, hvorved der opstår et tab af organisk materiale. Der kan desuden forekomme rester af bioplastposerne i slutproduktet, som spredes ud på markerne, da der ikke forekommer en eftersortering af bioslammet efter biogasanlægget.

3.1.2 Køkken i bolig med egen renovationssæk

I køkkener i boliger med eget stativ med renovationssæk til indsamling af organisk affald skal der anvendes en spand uden pose. Udlevering af papirposer til indendørs indsamling er i denne systemløsning overflødig, da der ikke er behov for at forhindre tilsmudsning af sækken til opbevaring uden for køkkenet. Spanden til indsamling i køkkenet kan nemt gå med i opvasken efter tømning og derved holdes ren indvendigt og udvendigt. Spanden bør have et volumen på 7 L.

Løsningen med en spand uden pose anvendes blandt andet ved hjemmekompostering.



Billede 3

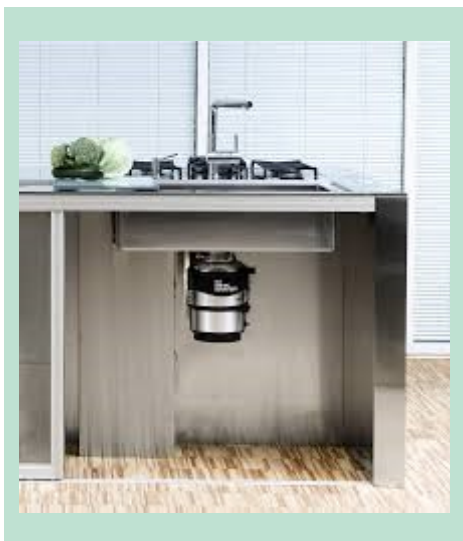
Eksempel på spande til køkkenet uden pose (joca.dk). For eksempel kan den grå spand anvendes til restaffald og den brune spand anvendes til organisk affald.

3.1.3 Køkken i bolig med fælles renovationsbeholder

I køkkener i boliger med fælles opbevaringsløsninger skal brugerne typisk bære affaldet til en standplads, hvor de afleverer affaldet i en minicontainer på hjul eller en nedgravet container. En poseløsning er derfor optimal, da denne kan tages ud og med, når brugeren alligevel skal ud i andre ærinder. Det forudsættes derfor, at kildesorteringsløsningen til køkkenet i etageboliger og andre boligformer med fælles indsamlingsløsning består af en ventileret spand med papirpose, som beskrevet i afsnit 3.1.1, se billede 3. Posen begrænser i øvrigt tilsmudsning af de udendørs containere.

3.1.4 Køkken med køkkenkværn

Ud over løsninger med spande og poser findes der kildesorteringsløsninger med køkkenkværne. Der har hidtil været en restriktiv holdning til brug af køkkenkværne i de fleste danske kommuner, men dette er under opblødning. Flere kommuner, herunder Odense, har givet tilladelse til forsøg med køkkenkværne både for husholdninger og storkøkkener, hvor der er direkte udledning til spildevandsafledningssystemet.



Billede 4

Eksempel på køkkenkværn (rørvig vvs)

Køkkenkværne i etageboliger kan indgå i to typer af systemer. Systemer med direkte udledning til spildevandsafledningssystemet og systemer med separat tankløsning, hvor vandet fra køkkenvasken med kværn samles i en tank, der tømmes med regelmæssige intervaller eller efter behov.

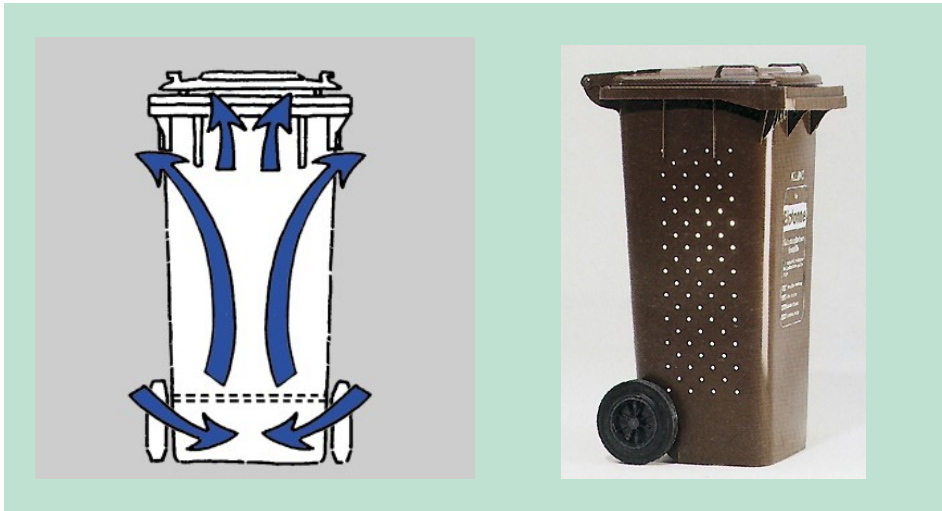
Brug af køkkenkværne stiller krav til renseanlægget. Renseanlægget skal have kapacitet til at håndtere den øgede tilførsel af organisk materiale. I DANVA's rapport om køkkenkværne (DANVA, 2011) anbefales det desuden, at renseanlægget har en forklaringstank, hvor uopløst organisk materiale bundfældes og pumpes direkte til en rådnetank. Renseanlægget skal være udstyret med et biogasanlæg/rådnetank for at kunne høste energien i det tilførte organiske materiale, og derudover skal det afgassede slam efterfølgende kunne anvendes til jordbrugsformål. Er disse krav ikke opfyldt, bør man vælge en anden løsning til sortering af bioaffald for at udnytte det fulde potentiale af den organiske dagrenovation. Opsamles det kværnede køkkenaffald derimod i en tank, kan produktet sælges direkte til biogasanlæg, og renseanlægget er dermed uden betydning for denne løsning.

3.2 Opbevaring

Det andet trin i indsamling af organisk affald er de udendørs opbevaringsmuligheder, hvor leverandørerne er mange og udstyrstyperne alsidige. Det, der beskrives i denne case, er eksempel på udstyr, der er gode erfaringer med, og som er vurderet som værende det bedst egnede i den givne situation. Det skal dog understreges, at der findes alternativer, og at der kan være andre forhold, hvor andet udstyr er lige så velegnet.

3.2.1 Boliger med egen renovationsbeholder

Boliger med egen renovationsbeholder vil få en udendørs særskilt beholder til opbevaring af kildesorteret organisk dagrenovation. Denne beholder bør være ventileret for at sikre udluftning og undgå forrådnelse og dermed lugtgener fra den kildesorterede organiske dagrenovation. Den ventilerede beholder minimerer også risikoen for dannelse af svovlbriente og metan under opbevaringen og den efterfølgende transport til behandlingsanlæg. Beholdere med dobbelt bund har vist sig særligt egnede og velventilerede, og det er derfor den type, der anbefales i denne case. Beholderen skal have et volumen på 140 L svarende til en 14 dages tømningfrekvens. Beholderen skal også her være samme brune farve som spanden i køkkenet, så der er logisk og intuitiv genkendelighed.



Figur 5
Principskitse af en
dobbeltbundet ventileret
beholder (biocon, joca.dk)

Billede 6
Eksempel på ventileret
beholder (joca.dk)

Alternativt kan brugerne tilbydes en beholder med skillevæg, således at organisk dagrenovation indsamles i den ene side, mens restaffaldet indsamles i den anden side. Denne løsning er som regel først aktuel, hvis kommunen allerede har indført indsamling af de tørre genanvendelige fraktioner, hvorved volumen af restaffaldet er reduceret kraftigt. Denne løsning med dobbeltkamret beholder reducerer pladsbehovet hos borgeren. Der kan dog være et problem i forhold til kommunikation til borgerne ved anvendelse af dobbelt-kamrede beholdere. Spørgsmål som f.eks. "blandes det ikke bare i indsamlingsbilen?" og "ender det alligevel på forbrændingen sammen med mit restaffald?" er spørgsmål, der kan få brugerne til at tvivle på nyttegraden af deres sortering. Den intuitive kobling mellem farver og piktogrammer indendørs og udendørs udgår desuden. Erfaringerne med denne type beholder er, at der kun indsamles den halve mængde KOD per husstand.

3.2.2 Boliger med egen renovationssæk

Boliger med egen renovationssæk skal have et ekstra stativ til den ekstra sæk. Sækken til kildesorteret organisk dagrenovation bør være mindre end den til restaffald, da KOD er tungere. En 60 L volumen sæk anbefales i den sammenhæng. Sækkene afhentes hver 14. dag.

Sækken bør være af papir, for at der er intuitiv overensstemmelse mellem det sorterede materiale og signalværdien i den komposterbare sæk, som desuden kan indgå i den efterfølgende bioforgasning. Sækken er ventileret for at sikre udluftning og undgå forrådnelse og dermed lugtgener fra den kildesorterede organiske dagrenovation. Sækken minimerer også risikoen for dannelse af svovlbrinter og metan under opbevaringen og den efterfølgende transport til behandlingsanlæg. Design af stativet kan variere, og på billede 8 vises et eksempel, hvor posen skærmes for vind og vejr.



Billede 7

Eksempel på udendørs opbevaring med sækkeløsning (miri stål).

3.2.3 Boliger med fælles minicontainere

Boliger med fælles minicontainer vil få en udendørs særskilt minicontainer til opbevaring af kildesorteret organiske dagrenovation. Denne minicontainer bør være ventileret for at sikre udluftning og undgå forrådnelse og dermed lugtgener fra det sorterede bioaffald. Ventilerede minicontainere med dobbelt bund har vist sig særligt egnede, og det er derfor den type, der anbefales i denne case. Det anbefales, at minicontaineren står i et aflukket skur med indkast udefra. Størrelsen af indkasthullet skal være tilpasset, således at papirposen kan kastes ind. Det begrænsede indkast vil sikre bedre udendørs sortering. Indkasthullet bør markeres med samme brune farve som spanden i køkkenet, så der er logisk og intuitiv genkendelighed.

Den anbefales, at voluminet af minicontaineren ikke overstiger 400 L, da den organiske dagrenovation er en tung fraktion. Minicontainerne tømmes hver 14. dag.



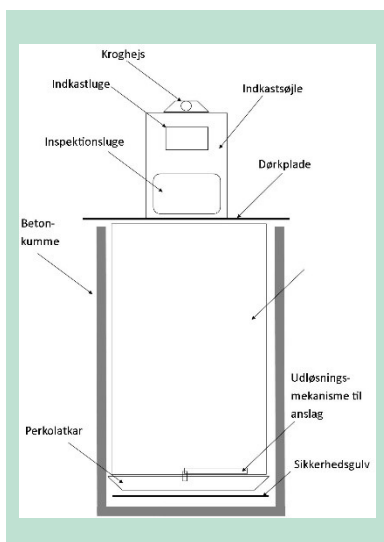
Billede 8

Eksempel på aflukket affaldsskur (miljøhus) med indkasthuller (træhåndværkeren aps

3.2.4 Boliger med fælles nedgravede containere

Boliger med fælles nedgravede containere vil få yderligere en nedgravet container, som er udstyret med en større særlig coatet perkolatopsamling. Indkastsøjlen skal her have samme brune farve som spanden i køkkenet, så der er logisk og intuitiv genkendelighed. Nedgravede containere nedkøler i øvrigt det organiske affald, så lugtgenerne minimeres.

En nedgravet container på 3 m³ vil stå for opbevaring af kildesorteret organisk dagrenovation fra 60-70 lejligheder med ugentlig tømning. Det anbefales, at der er en maksimal gåafstand til containeren på 40 m.



Billede 9

Skitse af nedgravet container, visende betonkummen, beholderen og indkastsøjlen (rambøll)



Billede 10

Eksempel på indkastsøjler til nedgravede containere (rambøll)

3.2.5 Boliger med køkkenkværn

Boliger, hvori der installeres køkkenkværne, kan anvende en af to muligheder. Der kan enten være en direkte tilslutning til afløbet/kloaknettet og renseanlægget, hvorved der ikke er behov for mellemlagring, eller der kan installeres en tank til opsamling af det kværnedede organiske dagrenovation, som skal tømme efter behov.

3.3 Afhentning og transport

Den kildesorterede organiske dagrenovation skal herefter afhentes og transporteres til modtageanlæg. Generelt anbefales det, at komprimering af affaldet undgås under afhentning og transport for at reducere udskillelse af perkolat. Bilerne skal under alle omstændigheder kunne opsamle det perkolat, der måtte fremkomme under afhentning og transport.

3.3.1 Boliger med egen renovationsbeholder

Den optimale løsning til afhentning og transport af kildesorteret organisk dagrenovation fra boliger med individuelle beholdere er en bil med en roterende tromle med skruepresse; en såkaldt ROTOPRESS. Denne teknik er optimal, da affaldet ikke komprimeres. I stedet sikrer den løbende rotation med skruepressen, at affaldet løsnes, hvorved dannelse af perkolat begrænses. Denne løsning minimerer også risikoen for dannelse af svovlbriinter og metan under indsamling og transport til behandlingsanlæg



Figur 11

Illustration af rotopress med roterende tromle og skruepresse (faun.com)

Alternativt kan anvendes samme type udstyr som til andre fraktioner i samme type beholdere, dog skal renovationsvognen være udstyret med mulighed for opsamling af perkolat, og affaldet må ikke komprimeres. Renovationsvognen kan være dedikeret til organisk affald, men behøver ikke være det.

3.3.2 Boliger med egen renovationsstæk

Det anbefales ligeledes for boliger med stækkeordning, at den organiske dagrenovation afhentes ved brug af ROTOPRESS biler, se figur 12. Det er dog nødvendigt at anvende en stækevogn/kærre til afhentning af stækkene ved husstanden, før de læsses på bilen, se billede 13.



Billede 12

Eksempel på kærre til afhentning af renovationsstæk (miri stål)

Alternativt kan anvendes samme type renovationsbil som til tømning af beholdere, dog skal renovationsbilen være udstyret med mulighed for opsamling af perkolat, og affaldet må ikke komprimeres. Renovationsvognen kan være dedikeret til organisk affald, men behøver ikke være det.

3.3.3 Boliger med fælles minicontainer

Samme løsning, som er beskrevet under afsnit 3.3.1, benyttes til afhentning af kildesorteret organisk dagrenovation fra boliger med fælles minicontainere.

3.3.4 Boliger med fælles nedgravede containere

Renovationsvognen skal være indrettet til tømning af nedgravede containere og skal være indrettet med mulighed for opsamling af perkolat.

3.3.5 Boliger med køkkenkværn

For boliger med køkkenkværne med afledning direkte til kloakledningsnettet løses transportopgaven af det medflydende vand i kloaksystemet. Der er derfor ikke brug for yderligere transport under indsamlingen.

For boliger med køkkenkværne med opsamling i tank skal der anvendes en slamsuger til tømning af tanken med passende intervaller, således at tanken ikke overfyldes. Bilen skal være indrettet til opgaven og være af miljømæssigt bedst mulige type.

3.4 Sortering og forbehandling

Der er i denne business case udvalgt en specifik teknologi til forbehandling af den kildesorterede organiske dagrenovation. Der gøres opmærksom på, at der eksisterer flere egnede teknologier til forbehandling af kildesorteret organisk dagrenovation. Dette er blot et godt eksempel på en sådan teknologi.

Komptech GmbH's pulperteknologi beskrives i det følgende.

3.4.1 Teknologi

Komptech har udviklet et forbehandlingssystem til organisk affald fra husholdninger, restauranter og detailhandlen. Komptechs pulpersystem er en vådproces, der består af en shredding, en pulping og en wet-screening. Det organiske affald konverteres til et pumpebart materiale til fermentering.



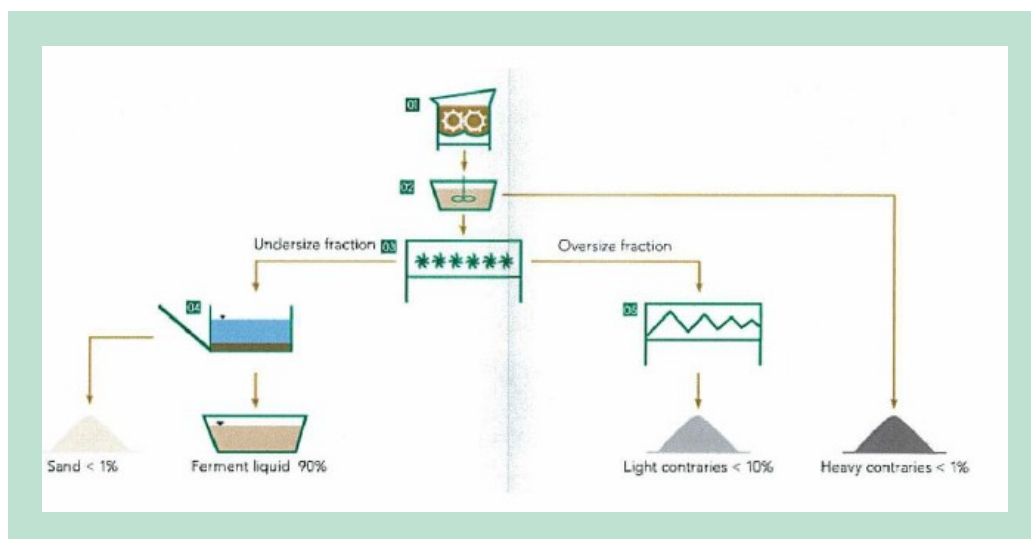
Billede 13

Forbehandlingsanlæg med pulper fra firma Komptech, gmbh, Østrig]

Det indkomne affald modtages i en shredder, der neddeler og knuser emballager til en partikelstørrelse på 60-120 mm og blander det organiske materiale sammen til en halvflydende masse. Shredderen er to-valset og har en lav omdrejningshastighed, der sikrer total destruktion af alle typer emballager og forhindrer emballagedele i at forstoppe shredderen.

Massen overføres i batch til en lukket container (8-16 m³), hvor det fortyndes med procesvand og udsættes for kraftig omrøring. De tungere materialer bundfældes og separeres, og den resterende flydende organiske masse (med 10 % tørstof) ledes igennem en "wet-screen", hvor større dele, som f. eks. fibre og emballagestumper, frasorteres. Den resterende flydende masse overføres til en

hydro-cyclon, hvorfra sand separeres, og 80-90 % af det oprindelige materialeinput er tilbage til fermenteringsprocessen. Systemet er opbygget til at kunne modtage og behandle 20.000 ton/år.



Figur 14

01 Shredder, 02 Pulper, 03 Wet-screen, 04 Sandseparation, 05 udspredning af let rejekt (Kilde: komptechs præsentationsmateriale)

Den beskrevne teknologi indeholder behandling af emissioner af luft i form af biofiltre og afledning af overskydende procesvand til eksisterende spildevandssystem. Hovedparten af procesvandet bliver dog recirkuleret og derved genanvendt.

3.4.2 Effektivitet

Effektiviteten med hensyn til genanvendelse og nyttiggørelse af ressourcerne i kildesorteret organisk dagrenovation er opgjort til 90 %. Effektiviteten er oplyst af producent af teknologien på grundlag af en forudsætning om, at det indsamlede affald har et indhold af ikke organisk affald på 2 til 6 % efter tørstofindhold, og tørstofindholdet er på omkring 35 %.

Det kan forventes, at 90 % af den organiske dagrenovation leveres til biogasanlæg med henblik på energi- og materialenyttiggørelse (genanvendelse). 5 % af biomassen vil blive sorteret fra under forbehandlingen, og yderligere 5 % vil blive sorteret fra som urenheder.

3.4.3 Kvalitet af biomasse/pulp

Indholdet af tungmetaller og miljøfremmede stoffer i kildesorteret organisk dagrenovation ligger i slutproduktet generelt under de grænseværdierne, der er angivet i Affald til jordbekendtgørelsen. Den afgassede biomasse (digestatet) forventes derfor at kunne anvendes til jordbrugsformål uden problemer. Der kan forekomme synlige urenheder i slutproduktet, hvilket kan forringe kvaliteten. Nogle lande har fastsat en værdi på 0,5 % synlige urenheder, målt på tørstofindhold, i slutproduktet, hvilket kan sikre kvaliteten af slutproduktet.

3.4.4 Håndtering af restprodukt

Fra forbehandlingsprocessen fremkommer et rejekt, der dels består af organisk materiale og dels af rester af emballageaffald og andre urenheder, der forekommer i det kildesorterede organiske dagrenovation.

Dette rejekt kan med fordel komposteres efterfulgt af en sigteproces, hvorved urenheder sorteres fra og anvendes til energiudnyttelse i forbrændingsanlæg. Den sigtede kompost kan anvendes og indgå som materialenyttiggørelse.

3.5 Behandling af biomasse/pulp

Der beskrives i de følgende afsnit forskellige anvendelsesmuligheder for biopulpen fra det kildesorterede organiske dagrenovation.

Optimalt vil biogassen fra alle anlæggene renses for CO₂, hvorved det opgraderes til biometan, som kan tilsluttes naturgasnettet. Anvendelsen af biometanen vil herefter være til samme formål som naturgassen.

3.5.1 Biogasanlæg på rensningsanlæg (rådnetank)

Mange renselanlæg udnytter energiindholdet i spildevandsslammet i rådnetank. Anvendes slammet efterfølgende til jordbrugsformål, kan man med fordel udrådne biopulpen fra det kildesorterede organiske dagrenovation sammen med spildevandsslammet, da bioslammet efterfølgende indgår som materialenyttiggørelse.

[Billund Energi A/S](#) har som eksempel et anlæg placeret på Grindsted Renselanlæg, som modtager forarbejdet organisk affald fra husholdninger og industri.

3.5.2 Biogasanlæg med husdyrgødning

Ambitionerne for biogassektoren betyder, at mere husdyrgødning skal udnyttes til biogasproduktion. Husdyrgødning (gylle) er et relativt tyndt substrat, og energiproduktionen og dermed rentabiliteten kan forøges ved at supplere inputtet med en kulstof-rig kilde som bl.a. kildesorteret organisk dagrenovation. Øget kildesortering af organisk dagrenovation kan bidrage til en udvidelse af sektoren, da mere gylle kan anvendes i rentabel biogasproduktion. Den øgede tilgængelige biomasse kan desuden konkurrere på markedet med energiafgrøder.

[NGF Nature Energy](#) opfører flere gyllebaserede biogasanlæg, som anvender forskellige kulstof kilder som co-substrat, herunder med forventning om udnyttelse af kildesorteret organisk dagrenovation.

3.5.3 Biogasanlæg med organisk affald

Dedikerede biogasanlæg, som kun behandler organisk affald fra husholdninger og erhverv, er en anden mulighed.

3.5.4 Kompostering

Et alternativ til bioforgasning er kompostering. Vælges dette alternativ, er det ikke nødvendigt at forbehandle affaldet i den tidligere beskrevne pulper. Den kildesorterede organiske dagrenovation blandes med haveaffald, som fungerer som strukturmateriale i komposteringen. Efter komposteringen sigtes komposten for at fjerne ikke-organiske urenheder.

[Klintholm I/S](#) har blandt andet erfaringer med kompostering af vegetabilsk affald indsamlet fra husstande i Kerteminde og Nyborg Kommune. Denne fraktion komposteres sammen med have- og parkaffald i et milekomposteringsanlæg.

4. Miljømæssige og økonomiske konsekvenser

I dette kapitel beregnes en business case, baseret på en del af de beskrevne systemer i kapitel 1. Resultatet af modelleringen præsenteres i forhold til energibalance, klimapåvirkning, ressourcebalance og økonomi. Alle dele præsenteres for 1 husstand, 25.000 husstande og 100.000 husstande.

I modelleringen har fritliggende huse en spand med papirpose i køkkenet og en et-rumsbeholder til opbevaring, tæt-lav bebyggelse har en spand uden pose samt et stativ med sæk, og etageboliger har en spand med papirpose og fælles overjordiske eller nedgravede affaldscontainere. Boliger med sækkeløsning antages at udgøre 15 %, og boliger med nedgravet containere antages at udgøre 10 %. Alt affald transporteres i renovationsbiler, der antages at være sammenlignelig i alle tilfælde, og hvor der er forskelle, er der taget højde for dette. Forbehandling og behandling er ens i alle tilfælde og er derfor regnet ens i alle tilfælde.

Der medtages ikke beregningsmæssige eksempler på køkkenkværn af den årsag, at køkkenkværnen ikke er særligt udbredt, og derfor ikke vil være repræsentativ for en gennemsnitlig kommune.

4.1 Grundlag

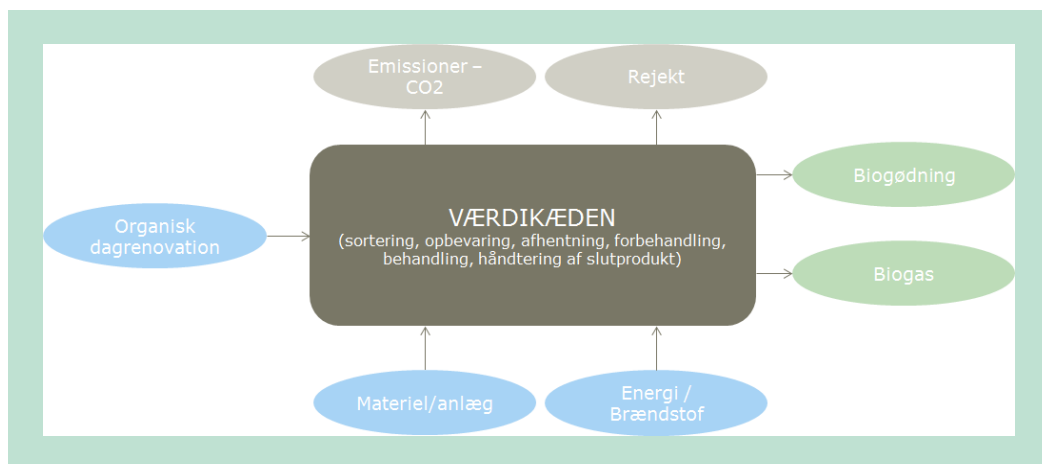
Grundlaget for de samlede masseberegninger (input og output) er Miljøstyrelsens egne tal for organisk affald, hvor der tages hensyn til effektiviteten i systemet, og forholdet mellem lav tæt bebyggelse og etageboliger. Masseberegningerne danner udgangspunkt for de energimæssige og klimamæssige beregninger, hvor der tages udgangspunkt i nyeste viden om energiindhold og klimaeffekter.

Således beregnes der klimamæssige effekter set i et overordnet perspektiv med udgangspunkt i Livcyklus Betragtninger (*Life Cycle Thinking*, LCT). Beregningerne opdeles i kildesortering, opbevaring, indsamling og transport, forbehandling, behandling og afsætning samt et samlet resultat. Det tages ikke højde for eventuelle gevinster eller tab ved specialsituationer, men ses udelukkende på et gennemsnitligt optimeret system for den gennemsnitlige kommune.

4.1.1 Systemgrænser

Figur 16 viser det overordnede system med input til og output fra værdikæden som helhed.

Input skal i denne sammenhæng forstås, som de ting, der skal til, for at systemet kan køre. Det gælder materiel og anlæg, hjælpestoffer og det organiske dagrenovation (markeret med blå). Output er fordelt mellem ønskede (grøn) og neutrale (grå). De ønskede output er her det direkte formål med indsamling af organisk affald; produktion af biometan og biogødning. De neutrale output er dem, der så at sige "følger med"; emissioner forbundet med energi/brændstofforbrug og produktion af biometan samt rejkt fra forbehandlingen.



Figur 15

Principskitse over input/output og grænser for hele værdikæden. Der skelnes ikke imellem parametrene. Blå angiver input, grå angiver afledede output og grøn angiver ønskede output.

Resultaterne af denne business case sammenlignes ikke med et alternativ (en reference i form af forbrænding), men beskriver, hvad det koster/giver, opgivet i fire parametre at håndtere bioaffald i en gennemsnitlig kommune jf. de beskrevne metoder.

Input og output opdeles i det følgende efter de 4 parametre.

4.1.2 Parametre

4 udvalgte parametre analyseres i business casen; økonomi, energi, ressourcer og klima. I det følgende beskrives hver parameter.

Ressourcer: kg masse. Massebalance for makro-næringsstoffer; kvælstof (N), fosfor (P), kalium (K) og kulstof (C).

Energi: Energimæssigt overblik i kWh ækvivalenter i forbindelse med energiforbrug og energioutputs.

Klima: Klimamæssigt overblik i CO₂-ækvivalenter, relateret til direkte forbrug og fortrængte emissioner i forbindelse med indsamling, transport, forbehandling, behandling og substitution af ressourcer og energi.

Økonomi: Pris i DKK, relateret til indkøb af og investering i materiel (spande, beholdere/containerere, biler, anlæg), samt omkostninger til drift og vedligehold.

4.2 Ressourcer

Parameteren for ressourcer dækker over de næringsstoffer samt kulstof, der findes i den organiske dagrenovation og senere biogødningen. Forbehandlingsanlægget har her en indflydelse på hvor meget af ressourcerne, der går tabt i værdikæden, og dermed hvor meget, der kan udnyttes i biogødningen. Der laves en massebalance fra kildesorteringen til biogødningen.

Massebalancen for det kildesorterede organiske dagrenovation påvirkes ikke af de forskellige muligheder for behandling (bioforgasning). Ved samforgasning med enten spildevandsslam eller gylle ændres næringsstofindhold og –output i selve KOD ikke.

4.2.1 Input

Den organiske dagrenovation indeholder en del vand (ca. 70 %). Derudover består det af tørstof med et højt glødetab og dermed let nedbrydelige organiske forbindelser, som kan bruges af mikroorganismer i biogasanlæggene, hvorved der produceres biogas. Der er også et indhold af næringsstoffer som kvælstof (N), fosfor (P) og kalium (K), som recirkuleres. Følgende tabel viser den sammensætning, der anvendes i denne case. Data stammer dels fra Miljøprojekt nr. 815 fra 2003, dels fra analyser fra Billund kommune.

Komponent	Indhold [g/kg KOD]
Tørstof (TS)	360
Glødetab (VS)	290
Kulstof (C)	170
Kvælstof (N)	8,3
Fosfor (P)	4,3
Kalium (K)	2,6

Tabel 3

Kemisk sammensætning af kod (billund analyse, 2009)

Den kildesorterede organiske dagrenovation vil desuden (med stor sandsynlighed) indeholde ikke-organiske urenheder fra emballager af plast, glas eller metal. Disse behandles ikke nærmere i denne case.

4.2.2 Kildesortering

Der vil under kildesorteringen ikke forekomme ændringer i inputtet af den kildesorterede organiske dagrenovation.

4.2.3 Opbevaring

Der vil under opbevaringen af den kildesorterede organiske dagrenovation ikke forekomme ændringer i forhold til inputtet.

4.2.4 Transport

Der vil under indsamling og transporten af den kildesorterede organiske dagrenovation ikke forekomme ændringer i forhold til inputtet.

Der kan forekomme materialetab i form af udslip af perkolat, særligt hvis materialet komprimeres, eller ufuldstændig tømning af bilerne.

4.2.5 Forbehandling

Ved forbehandlingen fortyndes den kildesorterede organiske dagrenovation, således at slutproduktet (biopulpen) har et tørstofindhold (TS) på 16 %. Dette betyder, at der i outputtet fra forbehandlingen er tilsat 1,25 L vand pr kg indsamlet KOD.

I forbehandlingen forekommer et tab af organisk materiale (rejkt) svarende til 5 % af det indsamlede KOD. Det forventes ikke, at denne forbehandling vil ændre den kemiske sammensætning, som fremgår af inputtabellen. De tilgængelige mængder reduceres dog som konsekvens af det separerede rejkt, og massen er nu fortyndet og indeholder derfor ca. det halve pr. kg biopulp.

Håndtering af rejktet i form af kompostering (eller forbrænding) behandles ikke i denne rapport.

4.2.6 Behandling

Ved bioforgasning antages den producerede biometan og biogødning at være den samme, uanset om det samdrådnes med spildevandsslam eller gylle.

Der vil i bioforgasningen ske en omdannelse af en del af kulstofindholdet. Dette vil gå fra fast form til gas i form af metan (CH₄) og kuldioxid (CO₂), som går under betegnelsen biogas. Det antages, at ca. 65 % af biogassen er metan (Møller et al., 2009). Fra selve biogasprocessen antages det, at der er diffuse emissioner af både metan og kuldioxid, hvorved 1 % går tabt til atmosfæren.

Biogassen opgraderes til naturgaskvalitet således, at det kan tilføres det eksisterende naturgasnet. Ved opgraderingen renses gassen for kuldioxid, som forekommer som direkte emission til atmosfæren, og outputtet er biometan. Det antages, at der fra opgraderingsprocessen vil være diffuse emissioner af metan svarende til 0,2 % (Møller et al., 2009).

4.2.7 Output

Outputtet er dels biometan og dels en biogødning.

Under de opstillede forudsætninger produceres der 136,1 Nm³ biometan/ton indsamlet KOD. Denne kan tilsluttes naturgasnettet og anvendes i gasmotorer til produktion af el (og varme).

Der produceres 1,89 ton biogødning/ton indsamlet KOD, hvilken har følgende sammensætning.

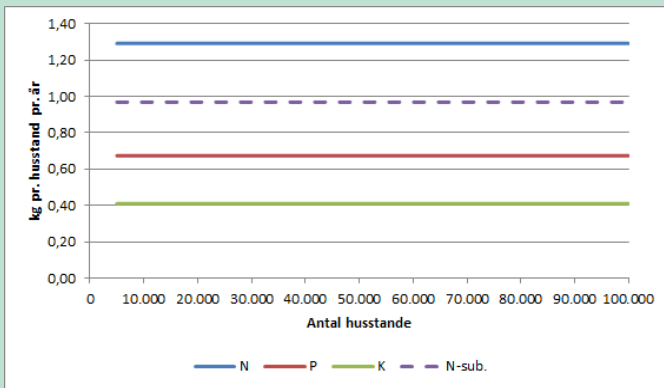
Komponent	Indhold [g pr. kg biogødning]
Tørstof (TS)	51
Glødetab (VS)	15,9
Kulstof (C)	26,5
Kvælstof (N)	4
Fosfor (P)	2,1
Kalium (K)	1,3

Tabel 4

Kemisk sammensætning af biogødning på baggrund af massebalance

4.2.8 Resultater

Med hensyn til massebalancen påvirkes omlandets størrelse ikke af mængden af næringsstof, som indvindes pr. gennemsnitlig husstand pr. år. Under de givne forudsætninger indvindes hhv. 1,29 kg N, 0,67 kg P og 0,41 kg K pr. gennemsnitshusstand pr. år. Heraf substitueres P og K i forholdet 1:1 med kunstgødning, mens N substitueres i forholdet 1:0,75, hvilket resulterer i en lidt lavere reel substitution af kvælstof (se stiplede linje i følgende figur).



Billede 16

Indvinding af næringsstoffer i kg pr. Gennemsnits husstand som funktion af oplandets størrelse.

4.2.8.1 Detaljeret overblik

Kildesortering og opbevaring samt indsamling og transport ændrer ikke i udgangspunktet på massen og er derfor ikke medtaget i nedenstående tabel. Da forbehandlingen ikke skelner imellem de enkelte husstande og deres særlige indsamlingssystemer, vises grundtallet for kg materiale per ton KOD og dernæst for 25.000 husstande og 100.000 husstande. Tab af materiale og emissioner er ikke inkluderet i nedenstående tabel.

				25.000 husstande	100.000 husstande
				kg/opland/år	kg/opland/år
Forbehandling	Input	KOD	kg/ton KOD		
		1000		4.106.250	16.425.000
		N	8,28	34.000	135.999
		P	4,32	17.739	70.956
		K	2,63	10.791	43.165
		C	172,8	709.560	2.838.240
		Vand	1250	5.132.813	20.531.250
	Output (biopulp)	Biopulp	2137,5	8.777.109	35.108.438
		N	7,87	32.300	129.199
		P	4,1	16.852	67.408
		K	2,5	10.252	41.007
		C	164,16	674.082	2.696.328
Behandling	Biogasoutput	Nm3 CH4	136,10	558.860	2.235.438
		kg C	73,07	300.027	1.200.109
	Biogødning	Biogødning	1892,1	7.769.407	31.077.629
		N	7,87	32.300	129.199

		P	4,1	16.852	67.408
		K	2,5	10.252	41.007
		C	50,19	206.097	824.389
Fortrængt	Kunstgødning	N	5,90	24.225	96.899
		P	4,1	16.852	67.408
		K	2,5	10.252	41.007

Tabel 5

Samlet massebalance for et system med indsamling og behandling af kod. Tabellen viser resultater for både 1 husstand, 25.000 husstande og 100.000 husstande. Sorte tal viser neutrale data, og grønne tal angiver mængden af vundet materiale og fortrængt materiale.

4.3 Energi

Parameteren for energi dækker forbrug af brændstof og energi i forbindelse med indsamling, transport, forbehandling og behandling. Desuden inkluderes energisubstitution af outputtene opgraderet biogas og biogødning. Al forbrug (og fortrængt produktion) omregnes til primær energi, dvs. den energi, det kræver at producere den givne energikilde eller produkt.

4.3.1 Input

Det kildesorterede organiske dagrenovation har som udgangspunkt et energiindhold i form af potentiel metanudbytte.

Bioaffald vil alt efter sammensætning og forbehandling samt opholdstid i biogasreaktorer have et metanpotentiale i et interval på 300-600 Nm³ CH₄/ton VS (Davidsson et al., 2006, Miljøstyrelsen, 2003). Det er i denne business case en forudsætning, at bioaffaldet har et metanpotentiale på 500 Nm³ CH₄/ton VS på baggrund af målinger af metanudbyttet fra bioaffald, indsamlet i hovedstadsområdet (Miljøstyrelsen, 2003).

4.3.2 Kildesortering

Der vil under kildesorteringen ikke forekomme ændringer i det organiske dagrenovations energiindhold. Der anvendes heller ingen ekstra energi under kildesorteringen, og der sker derfor ingen ændring i energibalancen i dette led.

4.3.3 Opbevaring

Det antages, at der ved opbevaring i forskellige primært ventilerede beholdere/containere ikke forekommer ændringer i det organiske dagrenovations energiindhold. Der anvendes heller ingen ekstra energi ved at overføre det kildesorterede organiske dagrenovation fra køkkenet til beholder eller sæk udenfor, og der sker derfor ingen ændringer i energibalancen i dette led.

4.3.4 Transport

Ved indsamling og transport af det kildesorterede organiske dagrenovation vil der være et energiforbrug forbundet med drift af renovationsbiler.

Følgende tabel giver et overblik over brændstofforbrug hhv. i liter diesel og omregnet til energiækvivalenter, relateret til indsamling og transport. Brændstofforbruget i liter diesel stammer fra Eisted et al. (2009) samt de i klimaafsnittet estimerede emissionsværdier. Dieselforbruget skal her konverteres til primær energi dvs. den energi, det kræver at producere brændstoffet. Primær energiforbruget pr. L diesel er 17,4 kWh-ækv. (52,6 MJ/kg diesel), (Cimpan et al, 2015).

Type	Brændstofforbrug [L diesel pr ton KOD]	Energiækvivalenter [kWh-ækv. pr ton KOD]
Indsamling: Individuel beholder eller sæk	3,33	57,9
Indsamling: Fælles minicontainer	1,65	28,7
Indsamling: Fælles nedgravet container	4,92	85,6
Transport	0,095 (L pr. t*km)	1,6 (kWh-ækv. pr. t*km)

Tabel 6

Brændstofforbrug og energiækvivalenter anvendt i forbindelse med indsamling og transport af kod

Det er antaget, at der mellem indsamlingspunkt og forbehandlingsanlæg som gennemsnit er 10 km. Der medregnes desuden transport af biopulp mellem forbehandlings- og biogasanlæg; estimeret afstand 20 km.

Energiindholdet i det kildesorterede organiske dagrenovation forventes uændret under indsamling og transport.

4.3.5 Forbehandling

Ved forbehandling af det kildesorterede organiske dagrenovation anvendes elektricitet. KompTechs pulperteknologi anvender 21,6 kWh pr. ton input KOD. Primær-energikoefficienten for kulbaseret el-produktion 2,6 kWh-ækv./kWh (9,3 MJ-ækv./kWh) (Cimpan et al, 2015), svarende til primær energiforbrug pr.ton input KOD på 56 kWh-ækv.

Ved forbehandlingen forekommer et tab af materiale (rejekt), i form af biomasse og dermed medføres et tabt energipotential samlet set. Tabet svarer til ca. 5 % af det indsamlede KOD. Energiindholdet pr. kg VS forbliver uændret, det er blot et spørgsmål om, at den samlede mængde VS er mindre. Håndteringen af rejektet i form af kompostering (eller forbrænding) er ikke medregnet.

4.3.6 Behandling

Det kildesorterede organiske dagrenovation behandles i et biogasanlæg, hhv. biogasfællesanlæg eller rådnetank på renseanlæg, og selve biogasprocessen samt den efterfølgende opgradering til biometan kræver energi. Der vil for forskellige anlæg kunne opnås forskellige værdier, og der er derfor i det følgende lagt vægt på gennemsnitsbetragtninger.

Baseret på Møller et al. (2009) er et gennemsnitsforbrug på 20 kWh/ton input og 2 L diesel/ton input anvendt i beregningen af energiforbruget i selve biogasproduktionen. Der er i denne proces estimeret 1 % (Boldrin et al., 2009) diffuse emissioner af metan (tab).

Baseret på Møller (2009) er et gennemsnitsforbrug på 0,025 kWh/MJ biometan output anvendt. Der er i denne proces estimeret 0,2 % (Møller, 2009) diffuse emissioner af metan.

El- og dieselforbrug omregnes på baggrund af de tidligere præsenterede primær-energikoefficienter for hhv. kulbaseret elektricitet og diesel.

Energiindholdet i biopulpen overgår i denne proces til den producerede biogas.

4.3.7 Output

I systemet produceres biometan. Der er her taget højde for tab af materiale (rejekt) og diffuse emissioner af metan under produktion. Det antages i denne business case, at den producerede biometan tilsluttes naturgasnettet, hvor det vil blive anvendt til forskellige formål bl.a. biobrændsel i fremtiden. Denne antagelse bevirker, at den producerede biogas fortrænger produktion og anvendelse af naturgas, hvilket i denne analyse forventes at forekomme et 1:1 forhold. Primær-energikoefficienten for produktion af naturgas er 10,6 kWh-ækv./Nm³ (53,2 MJ-ækv./Nm³) (Cimpan et al, 2015).

Fortrængt	kWh-ækv./ton KOD
Naturgas	1442

Tabel 7

Fortrængt produktion af naturgas pr. Ton indsamlet kod

Biogødningen indeholder næringsstoffer, som kan anvendes i stedet for konventionel kunstgødning. Der anvendes i business casen primær-energikoefficienter relateret til marginal produktion af kunstgødning; produktion af N, P og K kræver hhv. 22,22 kWh-ækv./kg N, 12,8 kWh-ækv./kg P og 1,92 kWh/kg K (Cimpan et al, 2015). Det antages, at P og K substituerer kunstgødning i forholdet 1:1, mens N substituerer i forholdet 1:0,75 (Boldrin et al. 2009). Kvælstof antages her at substituere på 75 % på baggrund af antaget forbrug af kvælstof fra svinegylle jf. Bekendtgørelse om jordbrugets anvendelse af gødning (Fødevareministeriet, 2014).

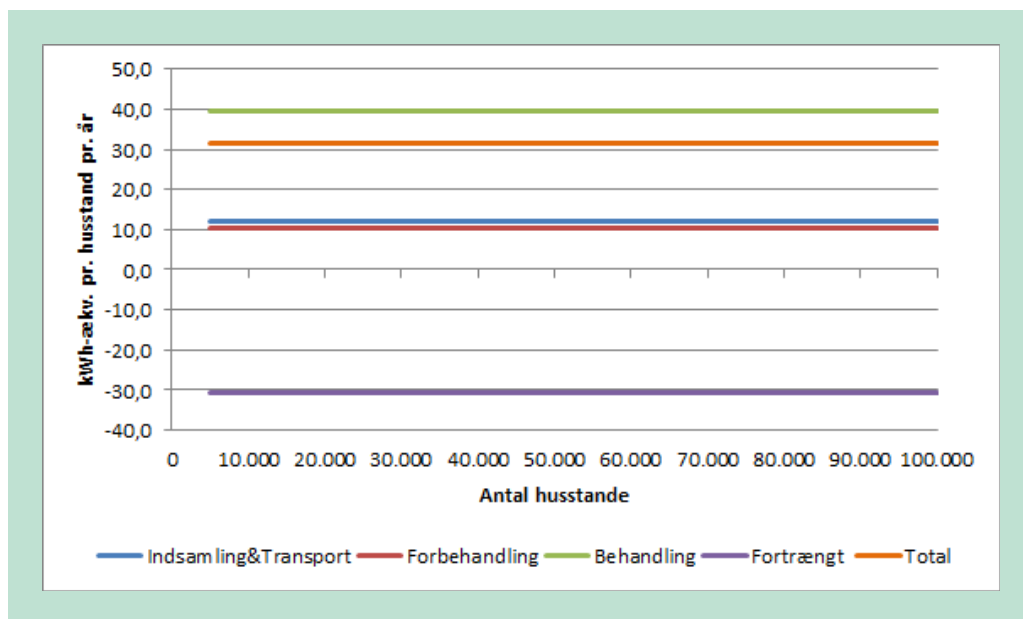
Fortrængt	kWh-ækv./ton KOD
N	131,1
P	52,5
K	4,5

Tabel 8

Fortrængt produktion af gødningsstoffer pr. Ton indsamlet kod

4.3.8 Resultater

Med hensyn til det energimæssige overblik ses af følgende figur, at dette ikke påvirkes af omlandets størrelse. Der spares en hel del i forbindelse med fortrængt produktion af naturgas og kunstgødning, hvilket bevirker, at der trods stort forbrug i særligt behandlingen, er et total forbrug af primær energi på 31 kWh-ækv. pr gennemsnitshusstand pr. år.



Billede 17

Primær energi fordelt på hvert led i værdikæden samt total. Kwh-ækv. Pr. Gennemsnits husstand som funktion af oplandets størrelse.

4.3.8.1 Detaljeret overblik

Kildesortering og opbevaring koster ingen energi, mens indsamling og transport udgør en energimæssig omkostning. For den enkelte husstand beregnet ud fra betragtningen om, at den udgør en del af en rute, er der ingen stordriftsfordele at hente, da dette allerede er udnyttet.

		1 husstand	25.000 husstande	100.000 husstande
		kWh/hus/år	kWh/opland/år	kWh/opland/år
Kildesortering	Fritliggende	0	0	0
	Tæt-lav	0	0	0
	Etage mini	0	0	0
	Etage nedgravet	0	0	0
Opbevaring	Fritliggende	0	0	0
	Tæt-lav	0	0	0
	Etage mini	0	0	0
	Etage nedgravet	0	0	0
Indsamling	Fritliggende	13	256.284	1.025.136
	Tæt-lav	13	28.476	113.904
	Etage mini	3	11.448	45.790
	Etage nedgravet	8	2872	11.487
		kWh/ton KOD	kWh/opland /år	kWh/opland /år

		1 husstand	25.000 husstande	100.000 husstande
Forbehandling	Pulping af KOD og transport af biopulp	64	262.466	1.049.866
Behandling	Biogasproduktion og opgradering	242	993.791	3.975.165
Fortrængt	Naturgas	1442	5.921.891	23.686.362
	Gødning	188	772.253	3.089.010

Tabel 9

Samlet overblik over driftsmæssig energibalace. Tabellen viser resultater for både 1 husstand, 25.000 husstande og 100.000 husstande. Røde tal angiver forbrug af energi, mens grønne tal angiver vundet energi. Sorte tal (her angivet med 0) viser neutrale data.

4.4 Klima

Parameteren for klima dækker emissioner forbundet med indsamling og transport herunder relateret til forbrug af brændstof samt emissioner forbundet med energiforbruget i forbindelse med forbehandling og behandling. Konstruktion af materiel, anlæg og infrastruktur medregnes ikke. Parameteren behandles ud fra et synspunkt af konsekvens LCT (Life Cycle Thinking), hvorved der anvendes marginal tænkning, hvilket betyder at de processer, der responderer på øget eller reduceret efterspørgsel, anvendes. Der anvendes derfor marginale processer i forbindelse med fortrængt produktion af el og varme samt gødningsstoffer. Der tages i business casen ikke højde for potentielle synergieffekter, der vil forekomme ved anvendelse af bioaffald som substrat i gyllebaserede biogasanlæg. Synergieffekter med gyllehåndtering og/eller produktion af energifgrøder vil dog påvirke klimaregnskabet positivt (dvs. større besparelser) (Cimpan et al., 2015).

Den energi, der anvendes i systemet, er baseret på følgende:

- Elektricitet: baseres på marginal dansk el-produktion dvs. kulbaserede kondens-elværker.
- Værdien for denne er 0,991 kg CO₂-ækv./kWh (Astrup et al., 2011).

Ændringer i det danske energisystem som følge af den nationale energistrategi betyder, at der i fremtiden vil være en større andel af vedvarende energi. Skiftet fra fossil energiproduktion til vedvarende energiproduktion vil betyde, at de anvendte marginaler i fremtiden vil ændre sig (Cimpan et al., 2015).

Outputtet fra systemet er opgraderet biometan, som tilsluttes naturgasnettet, hvorved det kan anvendes til en række forskellige formål, herunder produktion af transportbrændsel, som vil komplementere et fremtidigt dansk energisystem. Den producerede biometan fortrænger derved produktion og afbrænding af fossilt naturgas.

Alle klimagasudledninger opgøres i CO₂-ækvivalenter og præsenteres som sådan. For metan (CH₄) og lattergas (N₂O) benyttes International Panel on Climate Changes (IPCC) Global Warming Potential standardfaktore GWP CH₄ = 25 CO₂-ækvivalenter og GWP N₂O = 298 CO₂-ækvivalenter. De biogene CO₂ emissioner antages at være neutrale i sammenhæng med beregninger af klimapåvirkninger.

4.4.1 Input

Organisk affald i husholdningernes køkkener antages ikke at bidrage til udledningen af klimagasser og sættes derfor til 0 kg CO₂/ton KOD. Madvarer og deraf følgende organisk affald opbevares kortvarigt i køkkenerne uden at udlede nævneværdige mængder af klimagasser.

4.4.2 Kildesortering

Kildesorteringen af det organiske affald bidrager i sig selv ikke til udledning af klimagasser og indgår derfor ikke i de samlede beregninger af påvirkningerne. I kildesorteringen indgår ingen dele, der ved sorteringen bidrager til udledning af klimagasser. Kildesorteringen påvirker i øvrigt heller ikke det organiske materiale til at udlede klimagasser, da kildesorteringen antages at være en aktiv handling, hvor materiale flyttes manuelt fra et sted i køkkenet til indsamlingsudstyret.

4.4.3 Opbevaring

Det kildesorterede organiske affald samles i den udendørs beholder/sæk opsamlingen, og opbevaringen antages ikke at bidrage betydende til udledningen af klimagasser eller til en egentlig reduktion af udledningen. Det antages, at det blot er en ventileret statisk opbevaring, og bidraget kan derfor sættes til 0 kg CO₂/ton KOD. Dette skal dog ses i det forhold, at valget af både poser og beholdere samt tømningfrekvens kan have indflydelse på eventuel omsætning af organisk materiale under opbevaringen.

4.4.4 Transport

Transporten af organisk affald består af to dele: Indsamling af organisk affald og transport af organisk affald. Denne indsamling og transport er forbundet med emissioner af klimagasser.

Følgende tabel giver et overblik over de emissioner, der er forbundet med indsamling og transport af KOD (Eisted et al. 2009).

Type	Klimaækvivalenter [kg CO ₂ -ækv./ton KOD]	Kommentar
Indsamling: individuel beholder eller sæk	10,5	Brug af kærre til afhentning af sække antages ikke at give et klimamæssigt bidrag
Indsamling: fælles minicontainer	5,2	
Indsamling: fælles nedgravet container	15,5	
Transport	0,3 (kg CO ₂ -ækv./t*km)	

Tabel 10

Klimaækvivalenter anvendt i forbindelse med indsamling og transport af kod

Det er antaget, at der mellem indsamlingspunkt og forbehandlingsanlæg som gennemsnit er 10 km. Der medregnes desuden transport af biopulp mellem forbehandlings- og biogasanlæg; estimeret afstand 20 km.

4.4.5 Forbehandling

Set i en klimamæssig sammenhæng bidrager forbehandlingen af det organiske affald kun i begrænset omfang til udledning af klimagasser. Ved forbehandlingen bidrager affaldet i sig selv ikke betydeligt til udledningerne, og disse er derfor ikke medregnet. Derimod er energiforbruget til processen medregnet og er beregnet til 21,4 kg CO₂/ton KOD. Der regnes ikke med intern transport eller andet, der bidrager yderligere til udledningen af klimagasser.

4.4.6 Behandling

Behandlingen af KOD til produktion af biogas kan opdeles i to dele. Den egentlige behandling, hvor biopulpen omdannes til biogas og dernæst den videre opgradering af biogassen til salgbar gas.

Under behandlingen af biogassen tabes et begrænset omfang af gas i forbindelse med utætheder, og denne er sat til at være 1,0 % (Boldrin et al., 2009).

Biogasproduktionens første del forbruger energi svarende til 58,6 kg CO₂-ækv./ton KOD, og der skal tages højde for diffuse tab af metan i størrelsesordene 17,3 kg CO₂-ækv./ton KOD (omregnet til CO₂). Dette skal sammenholdes med, at opgraderingen har et energiforbrug i størrelsesordene 83,7 kg CO₂-ækv./ton KOD, mens tabet af biogas her er væsentligt mindre nemlig kun 3,4 kg CO₂-ækv./ton KOD (omregnet til CO₂).

4.4.6.1 Output

Outputtet fra biogasproduktionen er både biometan og et gødningsprodukt. Biometanet antages i denne business case at blive tilsluttet naturgasnettet. Biometan anses for at være en CO₂-neutral energikilde, og emissionerne fra anvendelse af gassen er derfor lig nul. Dette fortrænger produktion og anvendelse af naturgas; produktion af naturgas medfører 0,25 kg CO₂-ækv./Nm³ naturgas, og det forventes, at al kulstof omdannes til kuldioxid under anvendelsen, hvilket medfører en klimabesparelse på 1,97 kg CO₂-ækv./Nm³ fortrængt naturgas. Dette betyder, at der under de givne forudsætninger spares 302 kg CO₂-ækv./ton indsamlet KOD i forbindelse med fortrængt produktion og anvendelse af naturgas.

Det antages i denne business case, at biogødningen spredes ud på landbrugsjord umiddelbart efter, og der medregnes derfor ikke opmagasiner og emissioner forbundet hermed. Ved udspredding af biogødning på landbrugsjord inkluderes dog et forbrug af diesel (0,5 L/ton biogødning = 1,55 kg CO₂-ækv./ton biogødning) (Møller et al., 2009). Desuden er der mekanismer i jorden, som dels lagrer en del af kulstoffet (~10 %), hvilket reducerer klimapåvirkningen, dels foregår der nitrifikation og denitrifikationsprocesser, som alt efter jordtype, landbrugsmetoder, klima etc. medfører emissioner af den tunge drivhusgas, lattergas. Ved brug af gennemsnitsbetragtninger estimeres en lattergasemission på 75 g/ton biogødning (Møller et al., 2009). Som følge af disse betragtninger udledes 2,9 kg CO₂-ækv./ton indsamlet KOD i udspredding samt 42,3 kg CO₂-ækv./ton indsamlet KOD i form af lattergasemissioner. Desuden bindes kulstof i jorden svarende til 18,4 kg CO₂-ækv./ton indsamlet KOD.

Næringsstofferne i biogødningen fortrænger desuden produktion af kunstgødning. Følgende tabel giver et overblik over gennemsnitsbetragtninger for sparede klimagasser som følge af anvendelse af biogødning.

Reduktionsfaktorer	kg CO ₂ -ækv./kg	Substitutions forhold
N	8,9	75 %
P	1,8	100 %
K	0,96	100 %

Tabel 11

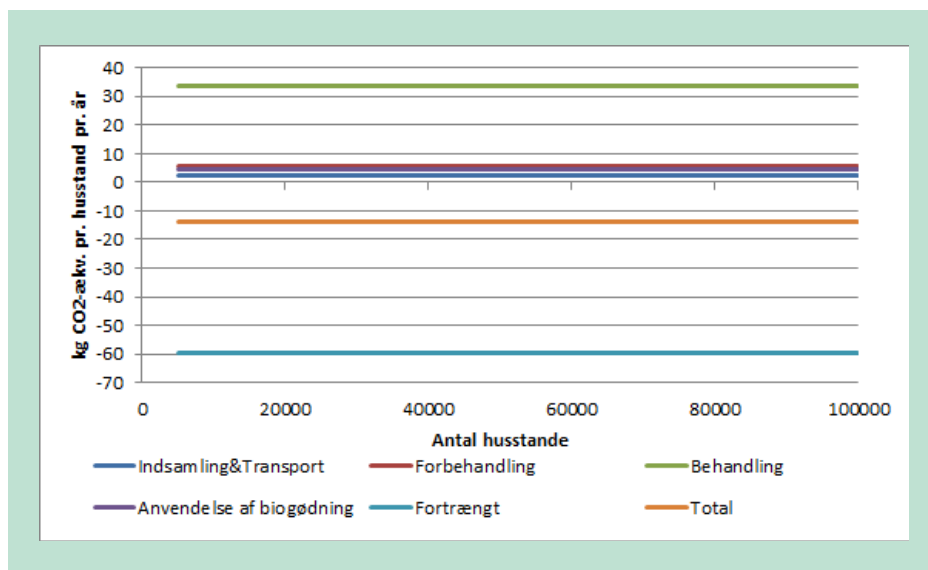
Reduktionsfaktorer for gødningsproduktet efter biogasproduktion fordelt på gødningselementerne: kvælstof (n), fosfor (p) og kalium (k) ((boldrin et al, 2009 og bekendtgørelse om jordbrugets anvendelse af gødning)

Under disse forudsætninger samt forudsætninger om bioaffaldets indhold af næringsstoffer opnås en besparelse på produktion af kunstgødning på 62,3 kg CO₂-ækv./ton KOD.

4.4.7 Resultater

Med hensyn til det klimamæssige overblik ses af følgende figur, at dette ikke påvirkes af oplandets størrelse. Der er store udledninger forbundet med behandling på biogasanlæg og opgradering til biometan og kun en mindre påvirkning i forbindelse med transport, forbehandling og udspredding af biogødning. Der er derimod store besparelser forbundet med fortrængt produktion af naturgas og

kunstgødning, hvilket bevirker, at der trods mange udledninger, særligt i behandlingen, er en totalbesparelse på 14 kg CO₂-ækv. pr. gennemsnitshusstand pr. år. Denne nettobesparelse kan forventes væsentligt højere ved samforgasning med gylle, hvor synergieffekter med gyllehåndtering inkluderes (Cimpan et al., 2015). Dette er dog ikke inkluderet i nærværende business case.



Billede 18

Klimapåvirkning fordelt på hvert led i værdikæden samt total. Kg co₂-ækv. Pr. Gennemsnitshusstand som funktion af oplandets størrelse.

4.4.7.1 Detaljeret overblik

Kildesortering og opbevaring er klimamæssigt neutrale, mens indsamling og transport udgør en klimamæssig omkostning. For den enkelte husstand beregnet ud fra betragtningen om, at den udgør en del af en rute, er der ingen stordriftsfordele at hente, da dette allerede er udnyttet.

Tab af materiale i forbehandling samt emissioner af metan og kuldioxid fra biogasprocesserne er ikke inkluderet i tabellen.

		1 husstand	25.000 husstande	100.000 husstande
		kg CO2-ækv/hus/år	kg CO2-ækv/opland/år	kg CO2-ækv/opland/år
Kildesortering	Fritliggende	0	0	0
	Tæt-lav	0	0	0
	Etage mini	0	0	0
	Etage nedgravet	0	0	0
Opbevaring	Fritliggende	0	0	0
	Tæt-lav	0	0	0
	Etage mini	0	0	0
	Etage nedgravet	0	0	0
Indsamling	Fritliggende	2	46.474	185.895
	Tæt-lav	2	5.164	20.655
	Etage mini	1	2.076	8.303
	Etage nedgravet	1	520	2.081
		kg CO2-ækv/ton KOD	kg CO2-ækv/opland /år	kg CO2-ækv/opland /år
Forbehandling	Pulping af KOD og transport af biopulp	34	140.559	562.238
Behandling	Biogasproduktion og opgradering	206	846.759	3.387.037
	Anvendelse af biogødning til jordbrugsformål	27	110.257	441.029
Fortrængt	Naturgas	302	1.239.148	4.956.593
	Gødning	62	255.776	1.023.105

Tabel 12

Samlet overblik over klimamæssig potentiel klimapåvirkning i form af klimagas, som følge af indsamling og behandling af kod. Tabellen viser resultater for både 1 husstand, 25.000 husstande og 100.000 husstande. Røde tal angiver emission af klimagas i form af co2-ækvivalenter/ kg kod, mens grønne tal angiver fortrængt mængde klimagas. Sorte tal (her angivet med 0) viser neutrale data.

4.5 Økonomi

Parameteren for økonomi dækker indkøb af materiel såsom indendørs spande, udendørs beholdere/containere og indsamlingsbiler og anlægsinvesteringer i forbindelse med forbehandlingsanlæg og behandlingsanlæg (biogasanlæg). Driftsomkostninger forbundet med brændstof- og energiforbrug inkluderes ligeledes.

Biogas og biogødning, som er output fra systemet, vil have en positiv værdi. Biogassen vil blive opgraderet, således det vil kunne tilkøbes naturgasnettet. Værdien af denne biogas vil medregnes. Der findes desuden enhedsværdier for de tilgængelige næringsstoffer i biogødningen.

4.5.1 Input

Den kildesorterede organiske dagrenovation har som udgangspunkt en neutral værdi. Der tages ikke højde for værdien forbundet med decideret madspil.

4.5.2 Kildesortering

I forbindelse med kildesortering stilles opsamlingsmateriel til rådighed, herunder biospande og papirposer. Biospanden er en "engangs-investering" i den forstand, at den har en forholdsvis lang levetid, hvorimod papirposerne forbindes med driftsomkostning, da der løbende skal forsynes med nye poser. Det er muligt at lægge omkostning til poser over på brugerne ved at lade dem købe poserne, hver gang de mangler.

Følgende skema giver et overblik over omkostningerne.

Materiel	Stykpris [kr/stk]	Antal pr husstand
7 L ventilleret køkkenspand	20	1 pr. husstand med beholder/minicontainer /nedgravet container
7 L lukket køkkenspand	20	1 pr. husstand med sækkestativ
Papirposer	0,50	200 pr. år pr. husstand med ventilleret køkkenspand

Tabel 13

Overlagspriser på det anvendte indendørs indsamlingsmateriel samt antal pr husstand

Køkkenspandene afskrives over 20 år med en forrentning på 4 % og uden skrotværdi.

4.5.3 Opbevaring

I forbindelse med udendørs opbevaring stilles materiel til rådighed, herunder beholdere, minicontainere, nedgravede containere, sækkestativer og sække. De forskellige beholdere, stativer og containere betragtes som "engangs-investeringer" i den forstand, at de har en forholdsvis lang levetid, hvorimod papirsækkene forbindes med driftsomkostning, da der løbende skal forsynes med nye sække. Det er muligt at lade brugerne betale deres udendørs udstyr selv og give dem ejerskab til udstyret.

Følgende skema giver et overblik over omkostningerne.

Materiel	Stykpris [kr/stk]	Antal pr husstand
140 L ventilleret beholder med alm. låg	270	1 pr. fritliggende enfamiliehusstand
Sækkestativ	1200	1 pr. tæt-lav bebygget husstand
Papirsæk	5	52 pr. år pr. husstand med sækkestativ
400 L ventilleret minicontainer	950	1 pr. 10 etagebolighusstande som ikke har nedgravet container
3m ³ nedgravet container med perkolatopsamling	50.000	1 pr. 65 etagebolighusstande som ikke har minicontainer
Nedgravning af container	15.000	Nedgravning af et stk. container.

Tabel 14

Overslagsværdier på det anvendte indsamlingsmateriel samt antal pr husstand

Alt opbevaringsmateriel afskrives i denne business case over 20 år med en forrentning på 4 % og uden skrotværdi.

4.5.4 Transport

Ved indsamling af det kildesorterede organiske dagrenovation anvendes forskellige indsamlingsbiler. Der er en investering forbundet med selve bilen samt driftsomkostninger i form af brændstof, vedligehold og lønninger. Der er i dette tilfælde taget udgangspunkt i et gennemsnit af faktuelle tømning priser, som kommunerne kan forvente at skulle betale i forbindelse med indsamling og transport af KOD.

Tømning priser	kr./tømning/beholder
Sæk	20,-
Et-rumsbeholder	14,-
Minicontainer 400 L	19,-
Nedgravet container 3 m ³	150,-

Tabel 15

Tømning priser for tømning af opbevaringsudstyr fra både enfamilieboliger og etageboliger.

Der sker tømning hver 14. dag.

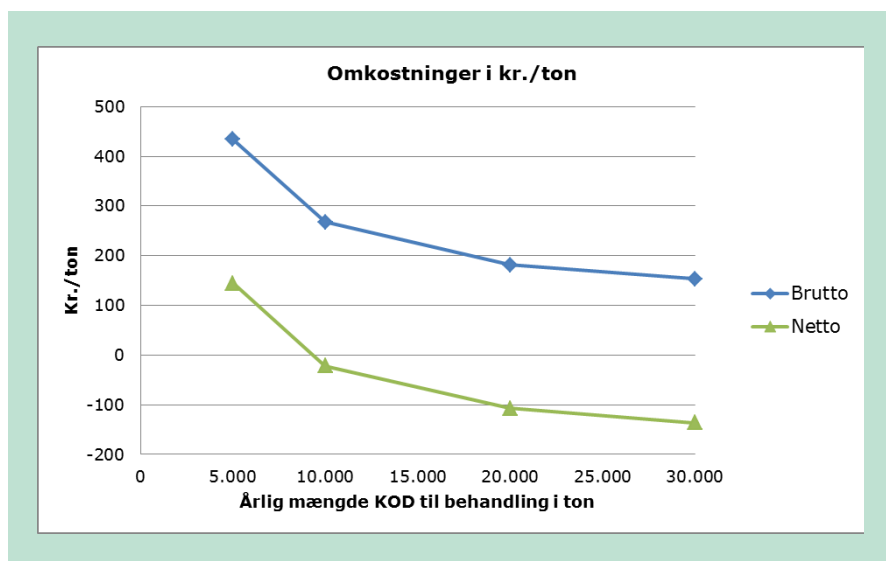
4.5.5 Forbehandling

Til behandling af det kildesorterede organiske dagrenovation skal der anlægges et forbehandlingsanlæg.

Anlægsinvesteringerne for et forbehandlingsanlæg af den type, der er beskrevet i denne business case, er vurderet til 16 mio. kr, hvilket inkluderer bygning, pulper, lagertanke og belægning. Driftsomkostningerne dækker forbrug, lønninger og afskrivning af bygninger og udstyr. Bygningerne afskrives over 40 år, og maskiner og udstyr afskrives over 20 år, begge med en forrentning på 4 % og 15 % i skrotværdi.

Biopulpen sælges herefter til biogasanlæggene. Det er oplyst, at biogasanlæggene betaler 2 kr./Nm³ CH₄ potentiale. Med et metanpotentiale på 145 Nm³/ton input KOD giver det en fortjeneste

på 290 kr./ton input KOD. Følgende figur viser stordriftsfordelene ved forbehandlingsanlægget. Behandlingen af rejektet samt tab af biomasse (og dermed fortjeneste) er ikke medregnet.



Figur 19

Brutto og netto omkostninger ved forbehandlingsanlæg, kr/ton input kod

4.5.6 Behandling

Biopulpen sælges til biogasanlæg, hvorefter den producerede biogas opfattes som en vare på det frie marked. Det videre salg af gassen til distributionsnettet eller andre kunder er ikke behandlet her, men det skal nævnes, at mængden af gas, der kan produceres fra biopulpen i høj grad afhænger af biopulpens sammensætning. Den økonomiske side af behandlingen er ikke taget med i denne business case.

4.5.7 Output

Outputtet fra biogasanlægget er en opgraderet biogas (biometan), som tilsluttes naturgasnettet, samt en biogødning, som kan anvendes til jordbrugsformål.

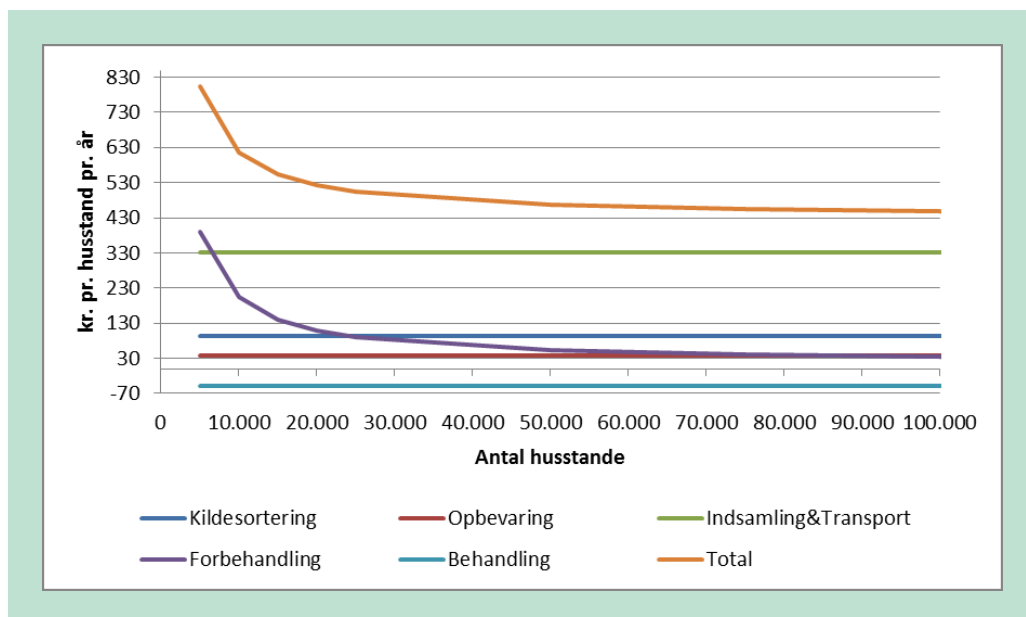
Biometanen udgør en værdi for videre salg til nettet til markedpriser.

Biogødningen udgør også en værdi i forhold til den kunstgødning, biogødningen substituerer. Da efterspørgslen på gødning i fremtiden må antages at øge presset på de begrænsede ressourcer, vil biogødningen værdi som gødningsprodukt stige.

4.5.8 Resultater

Med hensyn til de økonomiske omkostninger ses af følgende figur, at der i en vis grad kan opnås stordriftsfordele i forbindelse med forbehandlingen. Derudover kan det forventes, at man ved udbud og indkøb af materiel kan opnå nogen rabat ved storkøb. Dette er dog ikke afspejlet i figuren.

Det ses, at totalomkostningerne varierer fra 804 kr. pr. gennemsnitshusstand pr. år ved et opland på 5000 husstande og ned til 470 ved 50.000 husstande eller 450 ved 100.000 husstande.



Billede 20

Økonomi fordelt på hvert led i værdikæden samt total. Pris pr. Gennemsnitshusstand som funktion af oplandets størrelse.

4.5.8.1 Detaljeret overblik

Det ses af tabellen, at driftsudgifterne er så faste, at der ikke ændres ved disse uanset antallet af husstande. Det skal dog pointeres, at for selve forbehandlingen ligger der en stor besparelse i stordriftsfordelen, idet et anlæg til 5000 ton årligt koster næsten 4 gange så meget per forbehandlet ton KOD som et anlæg til 30.000 ton/år.

Driftsudgifterne dækker både over investering i udstyr, samt tømning og transport.

		1 husstand	25.000 husstande	100.000 husstande
		kr./husstand/år	kr./opland/år	kr./opland/år
Kildesortering	Fritliggende	101	1.940.645	7.762.580
	Tæt-lav	1	3.127	12.509
	Etage mini	101	342.467	1.369.867
	Etage nedgravet	101	38.052	152.207
Opbevaring	Fritliggende	20	379.958	1.519.831
	Tæt-lav	218	463.883	1.855.534
	Etage mini	9	29.490	117.961
	Etage nedgravet	89	33.295	133.182
Indsamling	Fritliggende	364	6.961.500	27.846.000
	Tæt-lav	520	1.105.000	4.420.000
	Etage mini	62	208.406	833.625
	Etage nedgravet	65	24.375	97.500
		kr./ton KOD	kr./opland/år	kr./opland/år

Forbehandling	Pulping af KOD	210-550 ¹	2.270.465	3.456.237
Behandling	Salg af biopulp	290	1.190.813	4.763.250

Tabel 16

Samlet overblik over de økonomiske udgifter til drift og indgangsættelse af indsamling af kod. Tabellen viser resultater for både 1 husstand, 25.000 husstande og 100.000 husstande. Røde tal angiver udgifter og grønne tal angiver indtægter.

¹ Stordriftsfordele

Referencer

Astrup, T., Dall, O., Wenzel, H., 2011: Fastlæggelse af energidata til brug i CO2-opgørelser. Dakofa.

Boldrin, A. Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions, Waste Management & Research, vol. 27, issue 8, nov. 2009 pp. 800-812.

Cimpan, C., Rothmann, M., Wenzel, H., 2015: carbon footprint og økonomisk vurdering af alternative veje til indsamling og behandling af fynsk husholdningsaffald. SDU Livscykluscenter, Syddansk Universitet, rapport 2015-02.

Cimpan, C., Rothmann, M., Hamelin, L., Wenzel, H., 2015: Towards increased recycling of household waste: Documenting cascading effects and material efficiency of commingled recyclables and biowaste collection, Journal of Environmental Management, vol 157, pp. 69-83

DANVA, 2011. Køkkenkvarne: energi-, miljø- og driftsmæssige konsekvenser ved brug i boliger.

Davidsson Å, Gruvberger C, Christensen T. H., Hansen T. L., Jansen J. C., 2006. Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste, Waste Management, vol. 27, pp 406-414.

Eisted, R., Larsen, A. W., Christensen, T. H., Collection, transfer and transport of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions, Waste Management & Research, vol. 27, issue 8, nov. 2009 pp. 738-745.

Energinet.dk, Energistyrelsen, 2012: Technology data for energy plants.

Fruergaard, T., Astrup, T., Ekvall, T., Energy use and recovery in waste management and implications for accounting of greenhouse gases and global warming contributions, Waste Management & Research, vol. 27, issue 8, nov. 2009 pp. 724-737.

Miljøstyrelsen, 2003, Datarapport om sammensætning og biogaspotentiale i organisk dagrenovation, Miljøprojekt nr. 815, 2003.

Miljøstyrelsen, 2013. Miljø- og samfundsøkonomisk vurdering af muligheder for øget genanvendelse af papir, pap, plast, metal og organisk affald fra dagrenovation. Miljøprojekt nr. 1458, 2013.

Miljøstyrelsen, 2015. Kortlægning af forbehandlings og biogaskapacitet af organisk affald Miljøprojekt nr. 1728, 2015

Møller, J., Boldrin, A. Christensen, T. H., 2009, Anaerobic digestion and digestate use: accounting of greenhouse gases and global warming contribution, Waste Management & Research, vol. 27, issue 8, nov. 2009 pp. 813-824.

RenoSam, 2013. Kortlægning af indsamlings- og forbehandlingsmetoder for organisk affald.

Kildesorteret organisk dagrenovation (KOD)

Projektet beskriver "cases" vedr. øget udsortering af den organiske del af dagrenovationen i en "tænkt" kommune med helårsboliger med individuelle affaldsbeholder og 15% etageboliger med fælles affaldsbeholder.

Business casen præsenterer resultater for en enkelt hus-stand, for 25.000 husstande og for 100.000 husstande.

Det første trin i indsamlingen af organisk affald fra hus-stande er en velorganiseret kildesortering i køkkenet. Der tages i business casen udgangspunkt i et specifikt valg af indsamlingsmateriel, der er vurderet at være bedst egnet.

Det andet trin i indsamlingen er de udendørs opbevaringsmuligheder, hvor der mange leverandører, og ud-styrstyperne er alsidige. Også her er der valgt afprøvet udstyr, der vurderes som værende det bedst egnede i den givne situation.

Det kildesorterede organiske affald afhentes og transporteres til et forbehandlingsanlæg.

Anden del af rapporten omfatter en modellering af en business case, der er baseret på de beskrevne systemer i første del. Resultatet af modelleringen præsenteres i forhold til primær energi, klimapåvirkning, ressource-balance og økonomi.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk