

Bionedbrydning fra kildesorteret
organisk dagrenovation i den
kommunale affaldshåndtering
- *Et cirkulært økonomisk perspektiv*



Af Michelle Diana Hansen (54773)
og Andreas Dyreborg Martin (55152)

Gruppenr.: V18-25681-MA

Vejleder: Tyge Kjær og Regin Gaarsmand

1 Resumé

Dette projekt har til formål at undersøge, hvordan håndteringen af kildesorteret organisk dagrenovation (KOD), på nuværende tidspunkt, har indvirkning på, om der sker en bionedbrydning. Projektet arbejder ud fra et cirkulært økonomisk perspektiv, og undersøger således om KOD udsættes for bionedbrydning gennem affaldshåndteringen i landets kommuner og hos affaldsselskaberne.

Problemformuleringen lyder som følgende:

Hvordan kan KOD håndteres, således at bionedbrydningen mindskes samtidig med at det understøtter en cirkulær økonomisk tankegang?

Projektet anvender to modeller til at beregne bionedbrydning og udslip af drivhusgasser, Påledal et al.'s 2018 analyseresultater for BMP-tab i KOD, og EPA-modellens beregning af udledninger ved deponeringsanlæg. Således skabes der en forståelse for, i hvilke led en række parametre er med til at forøge bionedbrydningen, og heraf udledning af drivhusgasser.

I forbindelse med vidensindsamling er der udført et interview med Henning Jørgensen fra Affaldskontoret ApS, samt tilsendt spørgeskema til tre medarbejdere fra hhv. ARC, Vestforbrændingen og Argo. Interviewet og svar på tilsendte spørgeskemaer har således været med til at underbygge påstande og bidraget med informationer, som har været relevante for beregninger.

Resultaterne viser at kommunerne og affaldsselskaber ikke har undersøgt og forsøgt at mindske bionedbrydningen i forbindelse med håndtering af KOD. Dette leder til, at der i sær i affaldsspande "Udenfor hjemmet" vil være et tab af biometanpotentialet i biomassen på samlet 13 %, hvilket svarer til en drivhusgasledning på 5312 tons CO₂e. Dermed vil der være nogle miljømæssige skadevirkninger forbundet med nedbrydningen, samt et tab af biogas, som har en økonomisk effekt.

Ved at der sker en bionedbrydning af KOD før det indføres i et biogasanlæg, svækkes de tre opstillede kriterier for cirkulær økonomi. 1) Udledninger af CH₄ og CO₂ svækker miljøeffekten af anvendelse af KOD 2) BMP-tabet svækker det økonomiske perspektiv og 3) et muligt kvælstofstab i processen skaber et større tab i produktionskæden.

1	Resumé.....	2
2	Problemfelt.....	6
3	Problemformulering.....	7
4	Projektdesign.....	8
5	Metode	10
5.1	Cirkulær økonomi	10
5.2	Interview	12
5.3	Spørgeskema	13
5.4	Metode for beregning af karbontab i KOD.....	14
5.4.1	Forudsætninger	15
6	EU's affaldsdirektiv.....	19
7	Udbud af affaldsindsamling.....	20
7.1.1	Sorø Kommune	21
7.1.2	Vejle Kommune	22
8	Teori.....	24
8.1	Bionedbrydning af KOD.....	24
8.1.1	Bionedbrydning.....	24
8.2	CO ₂ -udledning ved nedbrydning af KOD.....	27
9	Kortlægning af affaldsordninger i kommuner.....	28
9.1	Besvarelser på spørgeskema	28
9.1.1	ARC	28
9.1.2	Vestforbrændingen.....	29
9.1.3	ARGO	30
9.2	Interview	30
9.3	Lovgivning.....	31
9.4	Delkonklusion	32
10	Modelberegninger for bionedbrydning og udledning af drivhusgas.....	33
10.1	Anvendelse og usikkerheder ved modellen.....	33
10.2	Affaldsselskaberne.....	34
10.3	Delkonklusion	36
11	Opsummerende diskussion	37
12	Konklusion.....	39

13	Perspektivering	41
14	Litteraturliste.....	43
15	Oversigt over bilag.....	47
15.1	Bilag 1 – Interview med Henning Jørgensen, Affaldskontoret ApS.....	47
15.2	Bilag 2 – Besvarelse af spørgeskema, ARC	47
15.3	Bilag 3 - Besvarelse af spørgeskema, Argo	47
15.4	Bilag 4 – Besvarelse af spørgeskema, Vestforbrændingen	47
Figur 1	– Projektdesign, egenproduktion 2018	10
Figur 2	– Lineær energi- og materialeflows. Viser de globale økosystemer som en cirkel, der bliver mindre. På samme tid bliver menneskets brug af økosystemerne (firkanten) større. Kilde: Korhonen et al. 2018, s. 38.	11
Figur 3	- Model af beregningen for de tre led.	15
Figur 4	- Biomethanproduktion (BMP) fordelt på hhv. 6 °C og 22 °C og hhv. i plastikposer og papirposer. Kilde: Påledal et al. 2018, Figur 6 s. 641.	16
Figur 5	– Udviklingen af biogasproduktionen fordelt på metan (CH ₄), kuldioxid (CO ₂), dioxygen (O ₂) og resterende gasarter (BAL, herunder N ₂ og H ₂). Kilde: Zordan et al. 2013, s. 8).....	17
Figur 6	– Skitsering af affaldsfraktioner i to 240 liters beholdere i Sorø Kommune (Affaldplus.dk 2018a) 22	
Figur 7	- Udviklingen af biogasproduktionen fordelt på metan (CH ₄), kuldioxid (CO ₂), dioxygen (O ₂), dinitrogen (N ₂) og dihydrogen (H ₂). Kilde: Zordan et al. 2013, s. 8.	37
Tabel 1	– Udlædninger fra bionedbrydning for de tre affaldsselskaber ARGO, ARC og Vestforbrændingen for de tre led.	35

Cui bono?

- *Lucius Cassius Longinus Ravilla*

2 Problemfelt

I oktober 2018 udkom rapporten ”Global Warming of 1.5 °C” fra IPCC, som konkluderer, at der vil ske uoprettelig skade, hvis den globale opvarmning overstiger 1,5 °C i forhold til præindustrielle gennemsnitstemperatur. Hvis der ikke reduceres i den globale CO₂-udledning, opnås temperaturstigningen på 1,5 °C allerede i 2040 (IPCC SR1.5 2018, s. 50). Hvis temperaturstigningen skal forhindres, skal en lang række tiltag initieres. Eksempelvis skal der ske en udfasning af fossile brændstoffer og hvormed der overgås til vedvarende energikilder (IPCC SR 1.5 2018, s. 315).

En af måderne dette kan opnås på, er ved at udnytte potentialet for biogas. Biogasanlæg anvender organiske biomasser fra bl.a. industrien og landbruget til at producere metangas, samtidig med at restproduktet fra produktionen kan recirkuleres til landbruget som gødskning. Kildesorteret organisk dagrenovation (KOD), kan også anvendes til at producere biogas. I modsætning til håndtering af KOD på forbrændings- eller deponeringsanlæg forurener produktionen af biogas ikke, hvis den producerede biogas bliver anvendt korrekt (Campuzano og Gonzalez-Martinez 2016, s. 4). Biogassen kan derudover erstatte fossile brændsler (Scarlet, Dallemann og Fahl 2018, s. 469), og dermed vil en øget produktion af biogas, fra bl.a. KOD, være behjælpelig til, at opnå en målsætning om at holde globale temperaturstigning på under 1,5 °C.

KOD skal i fremtiden sorteres separat, hvorefter det kan behandles på et biogasanlæg og genanvendes som gødskning på markerne (Directive (EU) 2018/851, artikel 11a). Ved at udsortere og genanvende den organiske del af husholdningsaffaldet, og dermed skabe recirkulering af næringsstoffer, vil EU og Danmark arbejde sig hen imod en mere cirkulær økonomi, hvor ressourcer ikke går til spilde, men i stedet genanvendes.

At recirkulere KOD til landbruget, er dog ikke nok, hvis det i sin helhed skal bidrage til en cirkulær økonomisk fremtid. Biogasproduktionen skal også bidrage til at det er økonomisk fordelagtigt at genanvende KOD'en (Lieder og Rashid 2016, s. 47-48). Dog er den økonomiske faktor ikke i så høj grad indtænkt, når kommunerne planlægger, hvordan deres indsamling og behandling af KOD skal foregå. I stedet er der fokus på prisen og lugtgener forbundet med indsamlingen af KOD (Jørgensen, Bilag 1: 00:37:35). Eksempelvis har Frederiksberg Kommune i deres forsøgsordning valgt at se bort fra konsekvenserne ved bionedbrydning, og i stedet haft fokus på at indsamle informationer om lugtgener fra KOD (Frederiksberg Kommune 2016, s. 15)

En kortere indsamlingsfrekvens, valg af posetype og høje temperaturer under lagring kan potentielt have en stor indflydelse på hvilken kvalitet KOD'en har, inden den indføres som inputmateriale i et

biogasanlæg. En undersøgelse af Påledal et al. 2018 viste at potentialet for metangasproduktion kunne falde helt ned til 50 %, ved at lagre det over længere tid. Dette kan lede til et forøget udslip af drivhusgasser såsom metan og kuldioxid. Hvis ikke dette indtænkes i affaldsplanlægningen hos kommunerne, kan det medføre skadevirkninger på miljøet, udlede drivhusgasser og mindske den økonomiske rentabilitet i at producere biogas fra KOD. For at håndtere KOD korrekt, er det derfor relevant at undersøge, hvordan det potentielle tab fra håndteringen af KOD skal håndteres og hvilket effekt det kan have (Påledal et al. 2018, s. 636-637).

Dette leder ned til problemformuleringen:

3 Problemformulering

Hvordan kan KOD håndteres, således at bionedbrydningen mindskes samtidig med at det understøtter en cirkulær økonomisk tankegang?

For at besvare problemformuleringen, er der opstillet 3 arbejdsspørgsmål, som lyder som følgende:

1. Hvordan vurderes bionedbrydningen af KOD i indsamlingen og opbevaringen inden forbehandlingsanlægget?
2. Hvordan håndteres KOD, fra hjem til forbehandling, og hvad ligger til grund for kommunernes valg af affaldsordning?
3. I hvor stor grad bionedbrydes KOD i affaldshåndterings forskellige led?

4 Projektdesign

Projektdesignet (Figur 1, s. 10) er bygget op omkring besvarelsen af de tre arbejdsspørgsmål, hvis formål er at besvare den overordnede problemformulering.

Først i projektet redegøres for forskellige opfattelser af cirkulær økonomi, og hvilken opfattelse dette projekt arbejder ud fra. Cirkulær økonomi er omdrejningspunktet for alle valg, analyser og diskussioner i projektet og omkredser derfor hele projektet, som det ses på nedenstående Figur 1 .

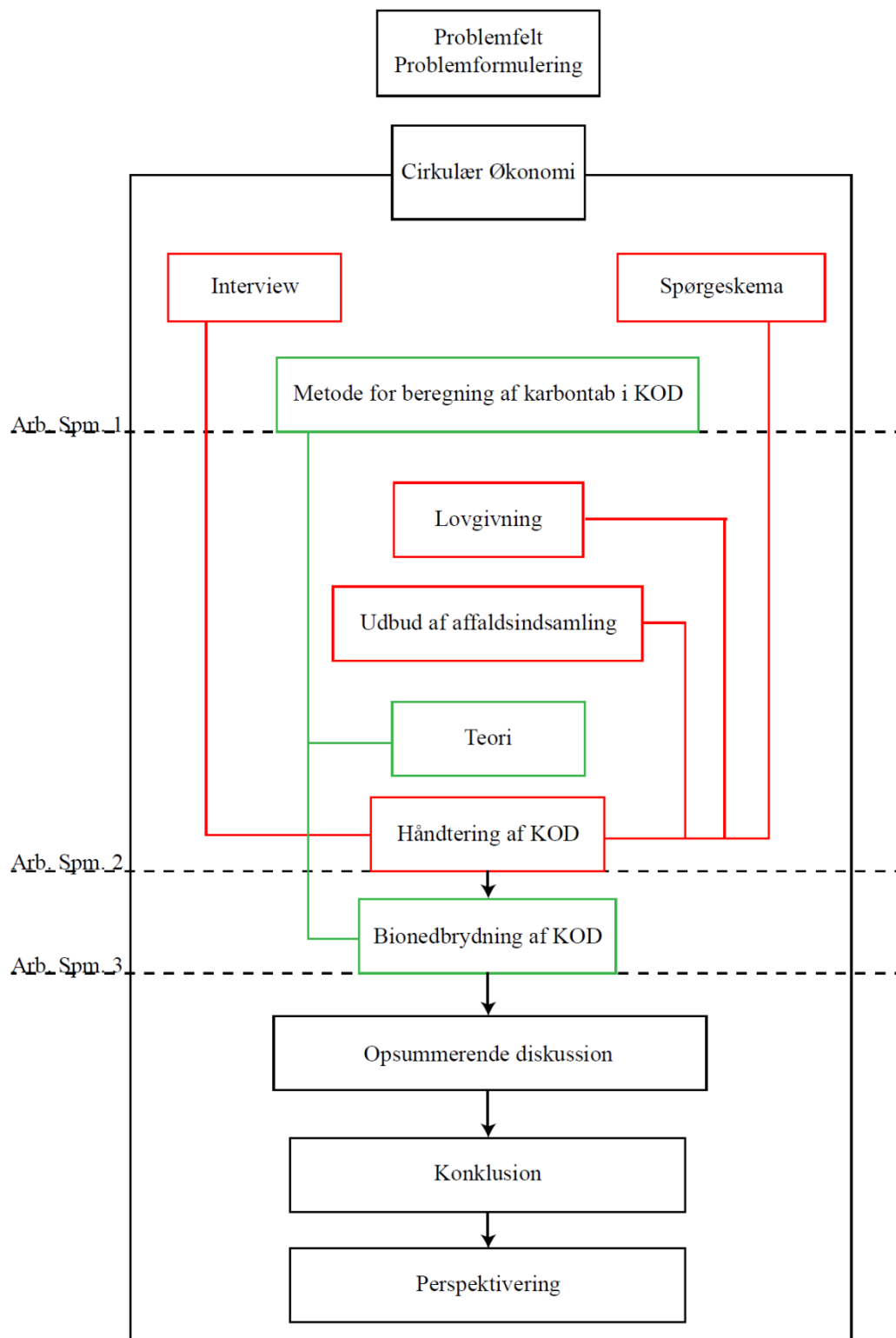
Første arbejdsspørgsmål bliver besvaret i metodeafsnittet ”Metode for beregning af karbontab i KOD” (Afsnit 5.4, s. 14). Dermed besvares det første arbejdsspørgsmål metodisk, og denne metode vil senere blive anvendt til tredje arbejdsspørgsmål.

De **røde** bokse i projektdesignet demonstrerer de afsnit, som anvendes i besvarelsen af det andet arbejdsspørgsmål. Interviewet og spørgeskemaer bidrager til at besvare spørgsmålet ved at danne et overblik over, hvordan KOD håndteres i dag og hvilke valg og tanker kommunerne har gjort sig om affaldshåndteringen. Derudover besvares dette spørgsmål gennem en forståelse for de krav i lovgivningen, som kommunerne er underlagt i forbindelse med håndteringen af KOD. Til sidst bygger besvarelsen af arbejdsspørgsmålet også på, eksempler på de krav kommunerne har udarbejdet, når de har udbudt affaldshåndteringen (herunder KOD).

De **grønne** bokse i projektdesignet udgør besvarelsen af arbejdsspørgsmål tre. Det tredje arbejdsspørgsmål besvares ud fra den udviklede metode, fra besvarelsen af første arbejdsspørgsmål, samt teori omkring bio-nedbrydning og drivhusgasudledning. Arbejdsspørgsmål tre bygger også på besvarelsen af arbejdsspørgsmål to, hvor karbontabet bliver beregnet ud fra definerede parametre i arbejdsspørgsmål to, eksempelvis mængder, tømningintervaller og omlastningstider.

På baggrund af de tre arbejdsspørgsmål vil der til sidst være en opsummerende diskussion, hvor resultaterne bliver diskuteret.

PROJEKTDESIGN



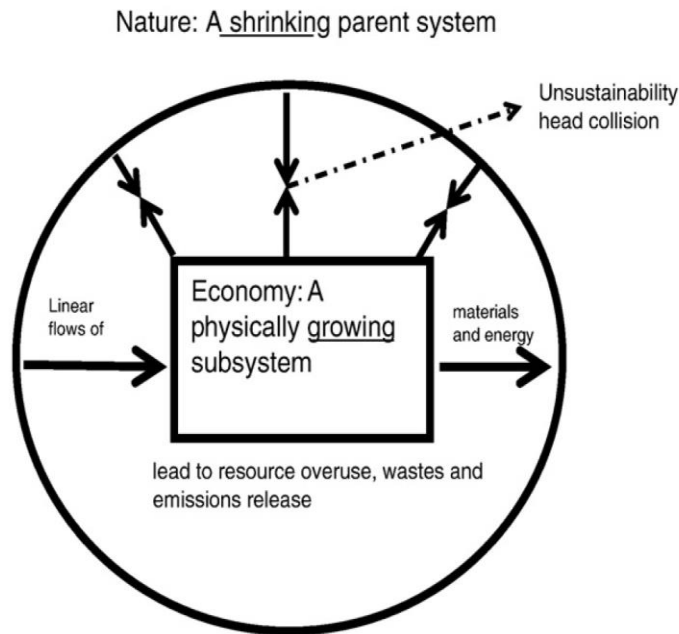
Figur 1 – Projektdesign, egenproduktion 2018

5 Metode

5.1 Cirkulær økonomi

Afsnittet har til formål, at beskrive cirkulær økonomi i sammenhæng med KOD. Cirkulær økonomi vil i projektet blive anvendt til at anse og vurdere, hvilken indgangsvinkel der er til at løse problemstillinger omkring miljø, recirkulering og energi. Cirkulær økonomi er valgt, frem for andre metoder, idet EU har målsat denne som sin rettesnor til europæisk affaldshåndtering. Afsnittet vil, udover at afdække cirkulær økonomi i relation til projektet, også afdække projektets definition af cirkulær økonomi.

Verden i dag, har et stort spild af ressourcer, idet der er en traditionel mentalitet med mønstret ”udvind råstoffer-producer-forbrug-smid ud”. Dette leder til et højintensivt forbrug af ressourcer. Ressourcer er ved at blive knappe, og i højere grad kigger forskellige lande og stater på at gendanne ressourcer fra produktioner og forældede produkter i stedet for at anskaffe sig helt nye jomfruelige råstoffer (Korhonen et al. 2018, s. 143). På Figur 2 ses effekten af den lineære produktion. Imens verdens brug af ressourcer fra økosystemer fortsætter og stiger bliver økosystemernes kapacitet derfor mindre. Ligeledes er affald og miljøskadevirkninger i den lineære produktionskæde med til at mindske økosystemerne yderligere. På samme tid stiger menneskets forbrug. Dermed vil der på et tidspunkt være en kollision mellem menneskets forbrug og økosystemernes kapacitet (Korhonen et al. 2018, s. 38).



Figur 2 – Lineær energi- og materialeflows. Viser de globale økosystemer som en cirkel, der bliver mindre. På samme tid bliver menneskets brug af økosystemerne (firkanten) større. Kilde: Korhonen et al. 2018, s. 38.

Problemstillingen bunder ikke kun i ressourceknapheden, som forekommer ved produktion fra jomfruelige råstoffer, men også i emissionsudledningerne og de store mængder affald der produceres (Rada et al 2017, 121). Et overtal af forskere anser derfor definitionen af cirkulær økonomi som en erstatning af lineære produktionskæder med mere regenerative og restorative rammer (Masi et al. 2017, s. 8).

Der findes mange definitioner på cirkulær økonomi. Alene i 2016 blev der publiceret over 100 ”peer-reviewed” artikler omkring emnet. Interessen for cirkulær økonomi har været stor, i og med konceptet anses for en måde at implementere bæredygtig udvikling på, i forretningsmodeller. Dermed har forskere, men også praktikere taget modellen til sig (Kirchherr et al. 2017, s. 221). De mange definitioner og forståelser af cirkulær økonomi kan dog lede til et kollaps af konceptet (Kirchherr et al. 2017, s. 221).

Cirkulær økonomi bygger på at recirkulere ressourcer i systemet for at mindske tab i produktioner, men jo længere oppe i produktionskæden ressourcer recirkuleres, jo bedre. Der er forskellige niveaumæssige hierarkiske opdelinger af ressourcers recirkulering, hvoraf de fleste bygger på tre eller fire opdelinger; Reduktion, genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse (sidstnævnte nævnes ikke ved de tre opdelinger). Her er EU’s affaldshierarki beskrevet i affaldsdirektivet (og således også implementeret i affaldsbekendtgørelsen), er det mest kendte med fire opdelinger (Kirschherr et al. 2017). Alligevel er der i nogle kilder defineret op til ni opdelinger. Ud af de 9 opdelinger er brug af kildesorteret organisk dagrenovation i et biogasanlæg, den næst mindst effektive recirkulering, da det anses som genanvendelse der er ”en brugbar

applikation af materialer” (Potting et al. 2017, s. 5 & Van Buren et al. 2016, s. 3). Dette betyder ikke at recirkuleringen af KOD til landbruget er en dårlig recirkulering i sig selv, men at der først og fremmest og hvis muligt skal forsøges at forebygge tab af organiske fraktioner tidligere i produktionskæden.

Cirkulær økonomi bygger på forståelsen af tre overordnede kriterier, 1) At minimere miljømæssige skadevirkninger, 2) ressourceknaphed, og 3) økonomisk rentabilitet. Først når alle tre elementer ligeligt prioriteres og implementeres kan der tales om cirkulær økonomi (Lieder & Rashid 2016, s. 48). Ved at afgasse KOD i stedet for at kompostere det, opnås alle tre elementer i cirkulær økonomi. Komposteres KOD opnås en recirkulering af næringsstoffer, men der produceres ikke metangas. Metanen bidrager til økonomisk rentabilitet. Dermed er det vigtigt at KOD, som produkt, har en høj kvalitet med et højt biometanpotentialt for at styrke det økonomiske aspekt i cirkulær økonomi (Rada et al. 2017, s. 4). Derudover skal det undgås at recirkulering af KOD kan forårsage skadevirkninger på miljøet. Dette sikres ved at oparbejde en så ren fraktion som muligt som føres ud på landbrugsjorden, men også ved at sikre at KOD under affaldshåndteringen ikke medfører drivhusgasudledninger. Til sidst sikrer genanvendelse af næringsstoffer at imødekomme ressourceknapheden ved recirkulering af essentielle elementer og stoffer, som ellers skulle være anskaffet ved brug af fossile råstoffer.

5.2 Interview

I forbindelse med vidensindsamlingen til udarbejdelse af dette projekt, er der udført et interview med Henning Jørgensen fra Affaldskontoret ApS. Affaldskontoret hjælper ministerier samt kommuner med affaldsplaner, og udbud af bl.a. indsamling af affald.

Interviewet blev udført semi-struktureret, og foregik på Roskilde Universitet.

Interviewet havde til formål, at opnå kendskab omkring et område, som kun en kvalificeret respondent besidder en brugbar viden omkring (Andersen 2014, s. 153). Denne viden blev Henning Jørgensen vurderet til at besidde, i kraft af hans erfaringer og CV (Affaldskontoret u.d. a & Affaldskontoret u.d. b).

Interviewet, som kan betragtes som et analytisk interview, med en såkaldt kvalificeret respondent, har bidraget til, at det område der forud for interviewet er blevet undersøgt, er blevet sat i spil. Interviewet blev en diskussion om, hvordan genanvendelse, især af KOD, samt indsamling og udbud i kommuner foregår, og hvordan Henning Jørgensen mener det vil kunne ske mest optimalt.

I og med at Henning Jørgensen besidder en viden omkring kommuner og ministeriers planlægning af indsamling og behandling af affald, betød det, at der både var behov for at stille opklarende spørgsmål, samt opfølgningsspørgsmål. Opfølgningsspørgsmålene havde i høj grad til formål at udfordre respondentens

viden, samt at inddrage andre perspektiver på området (Andersen 2014, s. 153). Dermed fik intervieweren mulighed for, at inddrage forløbelige resultater fra dette projekts analyser. Disse perspektiver, som til dels havde til formål at udfordre, og nuancerede Henning Jørgensens udtalelser, bevirkede også til at respondentens interesse blev fastholdt, samt at han inddragede flere perspektiver, som både be- og afkræftede antagelser intervieweren havde om affaldsområdet.

En af de antagelser, som der var overvejet forud for interviewet, var at det i høj grad er kommunernes økonomi, som har en afgørende rolle for affaldsindsamlingsfrekvenser.

Interviewet med Henning Jørgensen, blev dermed ikke udført som et decideret ekspertinterview, hvor respondentens besvarelser i høj grad tages for gode vare. I stedet blev respondentens antagelser og besvarelser udfordret, sat i perspektiv, diskuteret og nuanceret, som et analytisk interview foreskriver (Andersen 2014, 152-153). Dette er gjort for at udfordre den eksisterende viden omkring håndtering af KOD, og for at skabe en større forståelse for, hvordan man i kommuner vægter forskellige elementer i affaldshåndteringen op imod hinanden, såsom udgifter ved tømningintervaller op imod lugtgener. Henning Jørgensens viden, overfor interviewers, bidragede desuden til en klarlægning af, hvad det er for en metode, som muligvis mangler, før en kommunernes økonomi kan sættes over for tab af karbon. Dermed har interviewet i høj grad medvirket til, at der er skabt en forståelse for, hvilke værktøjer efterspørges, før at biobrydning er en faktor der kan indregnes i kommuners økonomi.

5.3 Spørgeskema

I forbindelse med dette projektarbejde, blev der udarbejdet en række spørgsmål, som blev sendt til de 5 sjællandske affaldsselskaber, AffaldPlus, ARC, ARGO, Norfors og Vestforbrændingen. Spørgsmålene der blev fremsendt, var ens for alle.

NorFors besvarede spørgsmålene med, at der ikke var udsortering af KOD i deres kommuner, at de ikke vidste hvornår det ville komme og hvordan det i fremtiden skal håndteres. NorFors håndterer affald for Allerød, Fredensborg, Hørsholm og Rudersdal Kommune.

AffaldPlus, som håndterer affaldet for Faxe, Ringsted, Næstved, Slagelse, Sorø og Vordingborg Kommune, vendte ikke tilbage med svar på de tilsendte spørgsmål. AffaldPlus har dog etableret deres eget forbehandlingsanlæg på samme adresse som deres affaldsforbrænding (Affaldplus.dk, 2018b).

De tre sidste affaldsselskaber bidrog med besvarelser, som primært anvendes i besvarelsen af arbejds-spørgsmål 2. Besvarelserne indeholder informationer om, hvilke kommuner de modtager KOD fra, hvor

meget, hvordan det behandles, både via forbehandling og biogasanlæg, om det omlastes og om de eventuelt oplever problematikker ifm. håndteringen af KOD.

De 3 affaldsselskabers besvarelser kan ses i Bilag 2-4.

Spørgeskemaet blev udsendt til udvalgte personer, som hver besidder en stilling, hvor de til hverdag har med affaldsselskabernes behandling af KOD at gøre.

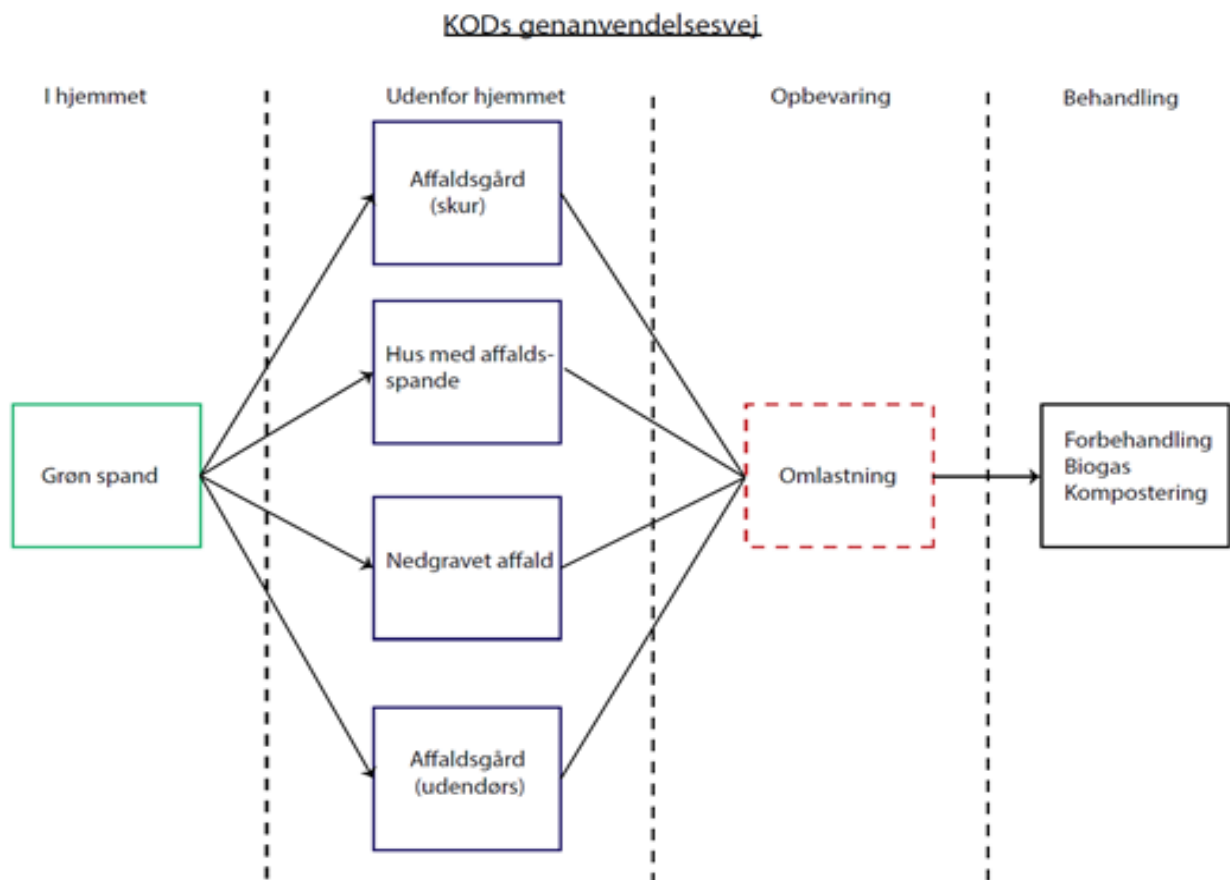
Et spørgeskema anses som værende en kvantitativ interviewform. Det skyldes, at besvarelserne på spørgeskemaundersøgelsen, kan omsættes til tal (Schmedes og Nielsen 2009, 1-3). Svarene, på de spørgsmål der har været i fremsendt til respondenterne, kan analyseres kvantitativt, da en stor del af dem er 'ja/nej'-spørgsmål, som dog alle lægger op til en større uddybelse. Alle spørgsmålene er bygget op, således at der kan svares simpelt, men uden lukkede svarkategorier – f.eks. spørges der ”kommer det (KOD) på et biogasanlæg”, hvilket der kan svares ja eller nej til, men herefter stilles spørgsmålet ”hvis ja, hvor?”, som lægger op til en uddybelse af besvarelsen. Dog giver svaret på, hvor det eventuelt bioforgasses, også mulighed for en kvantitativ analyse.

Besvarelserne på spørgeskemaet vil blive brugt til en kvalitativ analyse sammen med det personlige semi-struktureret interview med Henning Jørgensen, samt en analyse af to renovatørbud. Dermed vil besvarelserne til en vis grad undergå både en kvantitativ og kvalitativ analyse. Den kvantitative sker i forbindelse med behandlingen af rådata (hvordan svarprocent mm. er), udarbejdelse af kodning af besvarelser, samt indlæsningen af data (Andersen 2014, s. 166-167). Det kvalitative sker når dataene skal undergå en tolkning og præsenteres. Her vil besvarelserne ikke blot blive opsat som tal i en kodning, ud fra om der er svaret ja/nej, om KOD'en behandles, og hvor, men der vil også være fokus på, hvordan besvarelserne er udformet, om respondenterne undlader at svare, om besvarelserne er vage eller tvetydige, samt hvad besvarelsen er på det sidste spørgsmål, som omhandler om affaldsselskabet oplever komplikationer.

5.4 Metode for beregning af karbontab i KOD

Når KOD indsamles fra en dansk husstand, foregår det igennem tre led. Først smider en person sit madaffald ud i en grøn biospand inde ”I hjemmet”. Derefter tømmes biospanden, til en affaldsspand ”Udenfor hjemmet”. Herefter er det kommunens ansvar at indsamle affaldet, som skal overtages af et affaldsselskab. Typisk sker det ved at KOD'en samles et sted til omlastning, og derved sker der en ”Opbevaring”, hvorefter det bliver sendt til et forbehandlingsanlæg.

Dette afsnit beskriver, en metode der kan anvendes til at beregne tabet af karbon i KOD. Beregningen er delt op på de tre led, jf. Figur 3. I alle tre led kan der ske en bionedbrydning, hvor KOD afgasser og derved mister en vis mængde karbon afhængig af de påvirkninger det udsættes for. Første led er karbontabet ”I hjemmet”. Andet led er karbontabet ”Udenfor hjemmet”. Tredje led er karbontabet i forbindelse med ”Opbevaring”. Dette leder til to hovedresultater. Først drivhusgaseffekten af karbontabet i form af CO₂ og CH₄. Andet kvaliteten af biomassen for biogasanlægget udtrykt i tab af biometanpotentiale i leddene. Metoden bygger også på nogle teoretiske forståelser, som beskrives senere i afsnit 8.1 (s. 24).



Figur 3 - Model af beregningen for de tre led.

5.4.1 Forudsætninger

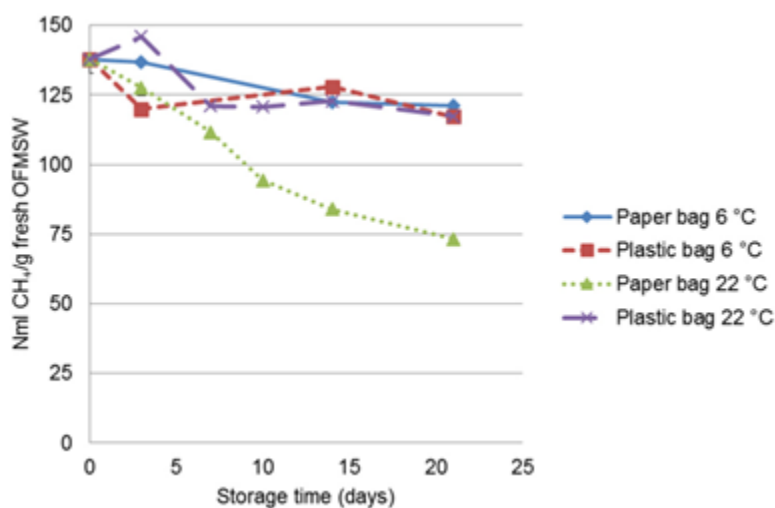
Første led ”I hjemmet” forudsættes at være opbevaring ved stuetemperatur. Det forudsættes derudover at alle grønne spande har samme betingelser. Det kan dog variere meget, hvilke betingelser bionedbrydning i en grøn spand har, herunder renlighed, temperatur, type af madrester, udskiftningsinterval.

Andet led ”Udenfor hjemmet” er delt op i de forskellige affaldssystemer, jf. Figur 3. Alternativt kunne det også fordeles på etageboliger og familiehuse el.lign. Dette er ikke valgt på grund af, at det vurderes at de forskellige affaldssystemer muligvis kan have en effekt på KODs bionedbrydelighed i leddet. Eksempelvis kan solindstråling og vindstyrke ændre en del på temperaturforholdene mellem et affaldssystem der står udenfor og i et skur. Ligeledes kan temperaturen og temperatursvingninger være meget forskellige for nedgravet affaldsløsninger til sammenligning med affaldsløsninger som er lokaliseret op over jorden.

Modellen for beregning af karbontabet er udarbejdet på den måde, at hvis kvaliteten ændres i første led har det en effekt på andet led, som derefter har en effekt på tredje led. Til sidst er det samlede tab for alle led, den biomasse som ender på biogasanlægget. Hvis de foregående led ikke havde en effekt længere ud i leddene, ville metanpotentialet være beregnet, som lige så stort i tredje led som i første led.

Der findes få helt specifikke undersøgelser for, hvor meget karbontabet for opbevaring af KOD er i hjemmet, udenfor i en skraldespand eller på omlastningspladser.

Til de første to led anvendes Påledal et al.’s 2018 beregninger for tab af biometanpotentiale (BMP) ved opbevaring i hhv. papir- og plastposer. Plastposer antages, at være ens med bioplastposer, selvom bioplastposerne er væsentlige mindre robuste (Miljøstyrelsen 2018, s. 28). Da der er lavet få beregninger er de mulige temperaturer enten 6 og 22°C. Den grafiske fremstilling af de værdier, der bliver brugt i dette projekt, til at vurdere tabet ud fra ses på Figur 4.



Figur 4 - Biometanproduktion (BMP) fordelt på hhv. 6 °C og 22 °C og hhv. i plastikposer og papirposer. Kilde: Påledal et al. 2018, Figur 6 s. 641.

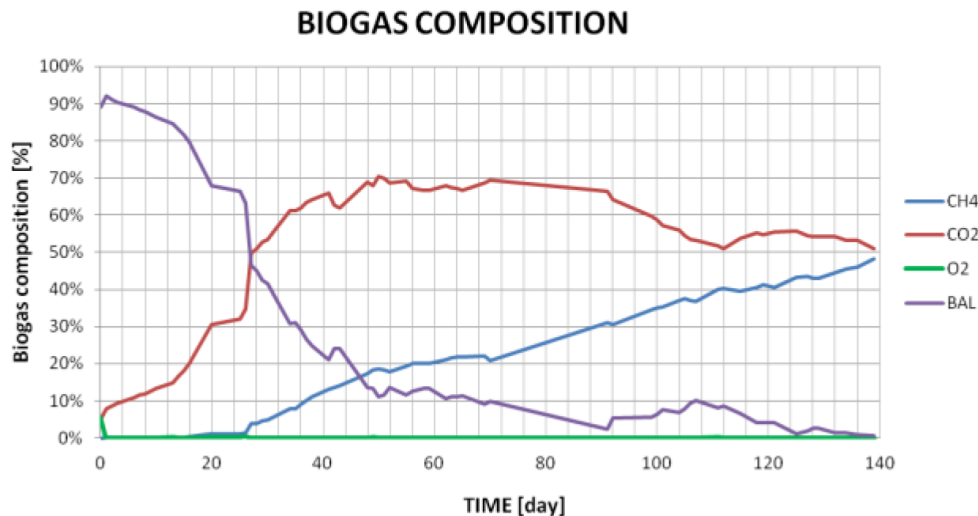
For alle led bruges biometanpotentialet og metanprocenten i gassen, som udgangspunkt for biogasproduktionen. Dermed skal CO₂-produktionen også udregnes. Dette kan beregnes ud fra metanproduktionen og metanprocenten. Dette beregnes således (EPA 2005, s. 18):

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \left\{ \left(\frac{1}{\frac{P_{CH_4}}{100}} - 1 \right) \right\}$$

, hvor P_{CH₄} er metanprocenten, Q_{CO₂} er kuldioxidproduktionen og Q_{CH₄} er metanproduktionen. Således gælder:

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4}$$

, hvis metanprocenten er 50 %. Det antages derfor i modellen, at biogassen kun består af CO₂ og CH₄, som ligeledes også antages i EPA (2005). Dog kan det ses på Figur 5 at tidligt i bionedbrydningen er CO₂-gasproduktionen markant højere end metanproduktionen og at andre gasarter også bidrager til den samlede biogasproduktion.



Figur 5 – Udviklingen af biogasproduktionen fordelt på metan (CH₄), kuldioxid (CO₂), dioxygen (O₂) og resterende gasarter (BAL, herunder N₂ og H₂). Kilde: Zordan et al. 2013, s. 8).

Til omkostningen bruges EPAs ”landfill gas model”, som beregner biogasproduktionen fra deponering på lossepladser ud fra en første ordens reaktion (EPA 2005, s. 4):

$$Q_t = BP \int_{\tau=t_{0B}}^t k * e^{-k(\tau-t_{0B})} d\tau$$

, hvor Q_t er biogasproduktionen, BP er biogaspotentialt, k er nedbrydningskonstanten og t_{0B} er dagen for metanproduktionens begyndelse (metagenese begynder altid ved højeste punkt i EPA-modellen) (Gourc et al. 2010, s. 1565). Modellen applikeres således, at den daglige metanproduktion beregnes i stedet for den årlige biogasproduktion. Dette gøres ved at ændre nedbrydningskonstanten til dage i stedet for år. Derudover ændres biogas til metan, og dermed BP til BMP. Fordelen er at der, ved denne ændring af modellen, lettere kan regnes og skelnes mellem anaerobe og aerobe forhold. Derudover gør det beregningerne mere kompatible med beregninger for første og andet led, som ligeledes udregnes fra metantabet først. Temperatur, vandindhold, pH og substrater til bioprocesserne er indregnet i nedbrydningsraten (k). I modellen bliver der anvendt en nedbrydningsrate på $0,289 \text{ år}^{-1}$, som svarer til deponeret husholdningsaffald på en moderne losseplads (De la Cruz & Barlaz 2010, s. 4723-4724). Hvis forholdene er mindre gunstige, kan der anvendes en lavere værdi.

I og med ligningen er beregnet ud fra biometanpotentialt, ændrer metanprocenten kun på gasproduktionen af CO_2 (og potentielt andre gasarter, men disse medregnes ikke i modellen).

Modellen, og beregningerne, vil blive anvendt til at besvare analysespørgsmål 3, hvor der anvendes data tilsendt fra de tre affaldsselskaber.

6 EU's affaldsdirektiv

Dette afsnit beskriver EU's affaldsdirektiv, som bestemmer, hvordan KOD kan genanvendes igennem affaldshierarkiet.

D. 30. maj 2018 blev en række ændringer til EU's affaldsdirektiv udfærdiget. Direktivet henvender sig til alle medlemsstaterne, og omhandler affaldshåndteringen i Unionen. Affaldsdirektivet har fokus på, at medlemsstaterne i Unionen skal forebygge affaldet, samt at minimere affaldets miljøpåvirkning (Directive (EU) 2018/851, s. 5).

Affaldet skal søges løftet op i affaldshierarkiet, således at der vil forekomme en større andel af genbrug og genanvendelse. Det skal bl.a. gøres ved, at der indføres separat indsamling af forskellige affaldstyper, således at genanvendelsesmulighederne ikke bliver begrænset. Dog kan der ses bort fra denne separering, hvis det sikres at affaldets stadig kan genanvendes i samme omfang, trods en blanding af fraktioner (Directive (EU) 2018/851, s. 8).

Affaldsdirektivet arbejder ud fra to definitioner: madaffald og bioaffald. Madaffald defineres som affald fra alle typer af fødevarer, som der er beskrevet i EF nr. 178/2002 af 28. januar 2002 om generelle principper og krav i fødevarelovgivningen (Directive (EU) 2018/851, artikel 3 stk. 4a), hvor bioaffald indbefatter *”bionedbrydeligt have- og parkaffald, mad- og køkkenaffald fra husholdninger, kontorer, restauranter, engrossalg, kantiner, cateringfirmaer og detailforretninger samt lignende affald fra fødevarerforarbejdningens virksomheder”* (Directive (EU) 2018/851, artikel 3 stk. 4).

KOD er i affaldsdirektivet umiddelbart anset som affald. Affald defineres således ved:

“any substance or object which the holder discards or intends or is required to discard” (Artikel 3 stk. 1 Affaldsdirektivet 2008/98/EC).

Dog kan KOD ophøre med at være affald og blive anset som en ressource til alle affaldshierarkiets niveauer, hvis det ud fra de fastsatte kriterier i affaldsdirektivet artikel 6 genoprettes. Kriterierne for genopretningen er, at det skal kunne anvendes og ønskes anvendt til specifikke formål, uden at det går imod nuværende gældende regler og at det ikke medfører skadevirkninger på menneskets sundhed eller miljøet. Kun stoffer og genstande, hvis affaldsfase ophører til fordel for genanvendelse kan tælles med i genanvendelsesprocenten. Fortolkningen af kriterierne ligger generelt op til medlemslandene at definere. I udfærdigelsen af ændringer for affaldsdirektivet fra 2018, er der sat større fokus på, at der skal være genomsigtighed med, hvordan kriterier i medlemslandene fortolkes og der skal skabes nogle mere

produktspecifikke regler for, hvornår affaldsfasen ophører for stoffer eller genstande (Directive (EU) 2018/851, s.9).

Som noget nyt ændres reglerne for beregning af genanvendelsesmålenes opfyldelse. I det tidligere affalds-direktiv kunne affald blive anset som genanvendt hvis det efterfølgende blev oparbejdet. I de nye ændrin-ger af affaldsdirektivet regnes mængden der går til genanvendelse *efter* oparbejdning. Eksempelvis kan kun den mængde af KOD, som anses som værende klar til input i biogasanlægget, medregnes som genan-vendelse. Det rejekt, der produceres på et forbehandlingsanlæg, skal således anses som nyttiggørelse, hvis det eksempelvis går til forbrænding (Directive (EU) 2018/851, s. 8).

Derudover skal kommunalt bioaffald fra 2027 være sorteret særskilt eller adskilt ved kilden. Det kan såle-des tolkes at KOD ikke kan anses som værende genanvendt, hvis det sorteres til restaffald, hvorefter det sorteres fra andre fraktioner i et sorteringsanlæg (Directive (EU) 2018/851, artikel 11a).

Artikel 11 stk. 2 litra c-e omhandler de nye genanvendelsesmålsætninger. Litra c lyder således *”senest i 2025, at forberedelse med henblik på genbrug og genanvendelse af kommunalt affald skal øges til mindst 55 vægtprocent”*, år 2030 skal det øges til mindst 60 vægtprocent, og år 2035 mindst 65 vægtprocent (Di-rective (EU) 2018/851).

Senest ved udgangen af år 2023 skal der ske en særskilt indsamling af bioaffald (Directive (EU) 2018/851, artikel 22), eller hvis bioaffaldet undergår aerob eller anaerob behandling, skal der indføres se-parat indsamling i senest år 2027, ellers kan bioaffaldet ikke anses som værende genanvendt (Directive (EU) 2018/851, artikel 11a). Dermed kan det tillades at KOD blandes med andre bioaffaldsfraktioner, f.eks. haveaffald.

Bioaffald, som *”undergår aerob eller anaerob behandling”* anses som værende genanvendt, hvis det ef-terfølgende *”anvendes som et genanvendt produkt”*, dvs. at digestat, som er lavet på KOD, anses som væ-rende et genanvendt produkt, hvis det anvendes som gødskning på marken efterfølgende (Directive (EU) 2018/851, s. 9).

Samlet set kan KOD derfor, ifølge de nye ændringer i affaldsdirektivet, først anses som værende genan-vendt, hvis der sker en separat indsamling, og det efter enten en aerob eller anaerob behandling, kan an-vendes til jordbrugsformål.

7 Udbud af affaldsindsamling

Nedenstående renovatørudbud er udarbejdet i forbindelse med at Sorø samt Vejle Kommune planlægger at påbegynde en ny affaldsordning. Dermed bliver den kommende affaldsordning beskrevet, og

indeholder både forventede mængder, samt hvordan affaldet skal sorteres og behandles. Udbuddene viser desuden, hvordan en kommune prioriterer økonomi overfor miljø og service, samt hvad der lægges i disse begreber. Dette afsnit vil primært have fokus på, hvilke parametre de to kommuner har udvalgt som værende vigtige, i forbindelse med deres nye affaldsordninger. Dermed bidrager informationerne herfra, til besvarelsen af arbejdsopgørelse 2, jf. afsnit 9.

7.1.1 Sorø Kommune

I april 2016 vedtog Sorø Kommunes Byråd, Økonomiudvalg og Teknik- og Miljøudvalget, at borgerne i kommunen skulle sortere deres affald (Sorø Kommune 2016). Dette blev besluttet et år efter, at kommunen havde overdraget en del af deres driftsopgaver til affaldsselskabet I/S AffaldPlus (Sorø Kommune 2017a).

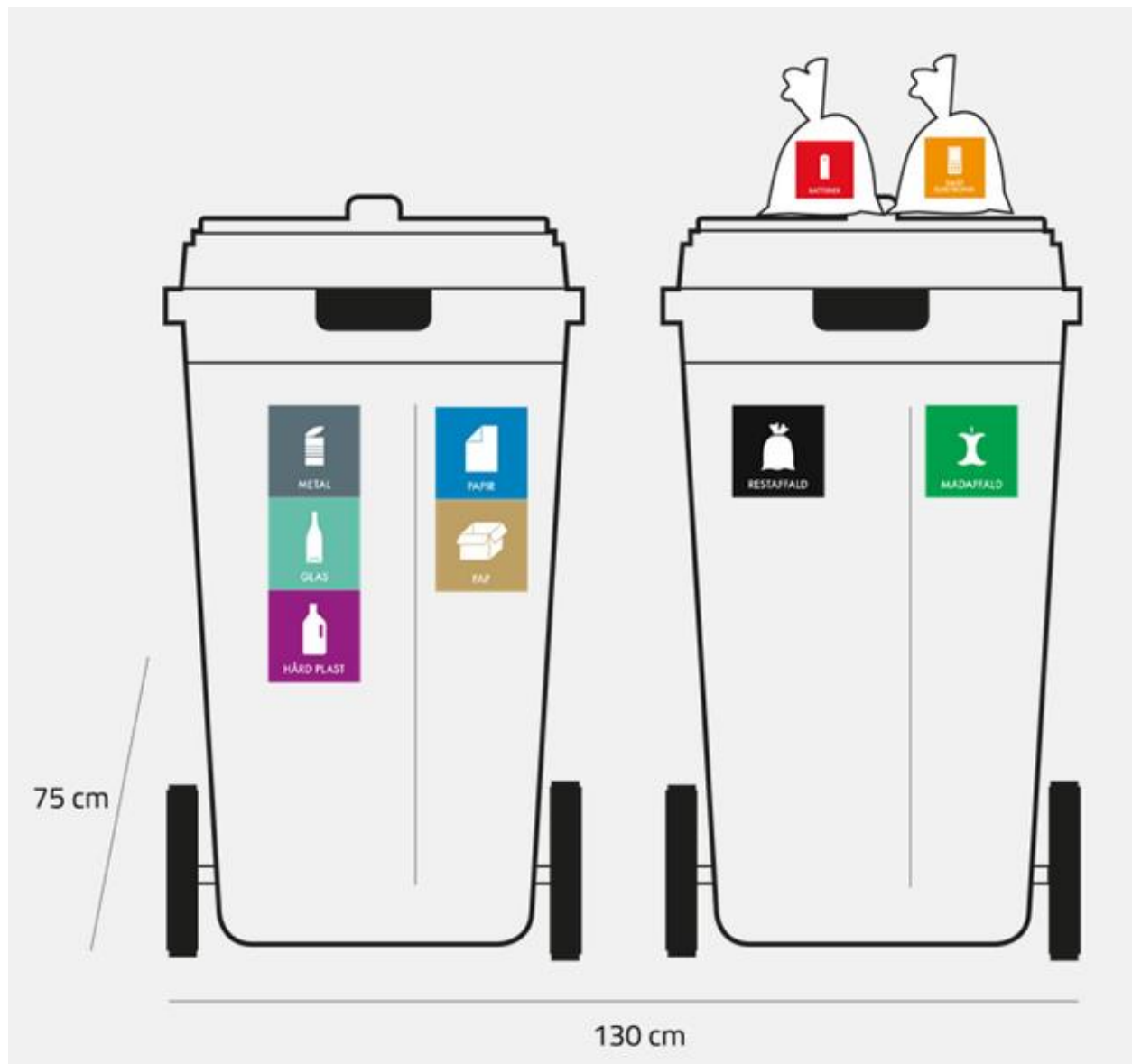
Borgerne i Sorø Kommune skulle sortere i følgende fraktioner: restaffald, madaffald, metal, hård plast, småt pap, småt elskrot, papir, glas og batterier (Sorø Kommune 2017b).

Forinden sorteringen skulle påbegyndes i maj 2018, blev der lavet et offentligt EU-udbud. Heri fremgår det, at ordregiverens tilbud vil blive vurderet på 3 tildelingskriterier: Pris (70%), Miljø (15%), og kvalitet og service (15%). Prisen omhandler den årlige kontraktsum, miljø er opdelt i 4 underkategorier, og kvalitet og service er opdelt i 2 underkategorier (AffaldPlus 2017, s. 9-10).

Miljø, der vægtes med 15%, har fokus på at *"indsamlingskøretøjerne giver anledning til lave emissioner"*, *"at indsamlingsskøretøjernes komprimatoraggregat i videst muligt omfang er drevet helt eller delvist elektrisk"*, *"at virksomheden har et certificeret miljøledelsessystem"* og *"at virksomheden har et certificeret arbejdsmiljøsystem"* (AffaldPlus 2017, s. 7). Kvalitet og service, som ligeledes vægtes med 15% har to underkriterier, som omhandler at *"virksomheden har et certificeret kvalitetssikringssystem"* samt at *"virksomheden har kapacitet til at sikre et højt serviceniveau for Sorø Kommunens borgere"* (AffaldPlus 2017, s. 7).

Sorø Kommunes nye affaldsordning gik i gang d. 30. april 2018 (Affaldplus.dk 2018a). Sorteringen i enkeltfamiliehusstande foregår med to 240-liters beholdere, som tilsammen har fire

rum. Disse fire opdelte rum skal indeholde 7 affaldsfraktioner, og yderligere kan der placeres to fraktioner ovenpå lågene (se Figur 6).



Figur 6 – Skitsering af affaldsfraktioner i to 240 liters beholdere i Sorø Kommune (Affaldplus.dk 2018a)

7.1.2 Vejle Kommune

Vejle Kommune har i deres udbud valgt at anvende tildelingskriteriet *”det økonomisk mest fordelagtige tilbud”*, og *”prisen er det eneste underkriterium”* (Vejle Kommune 2018, s. 17). Dog er der en række kriterier ordrelieferandøren skal leve op til, for at kunne kvalificere sig.

Et af kriterierne omhandler, at renovatøren skal have mindst 12 gasbiler, og alle nyanskaffede biler skal opfylde EURO 6 normen for dieslbiler. Derudover skal renovatøren opfylde kravene der stilles i

forbindelse med udfyldelsen af en erklæring om virksomhedens økonomiske formåen, og at den overholder gældende lovgivning. Dette sker gennem en udfyldelse af et ESPD (Vejle Kommune 2018, s. 14-17 og Bilag 3).

Renovatøren skal desuden have *"fungeret som renovatør på mindst to lignende opgaver/kontrakter med indsamling af affalds inden for de seneste 3 kalenderår"* (Vejle Kommune 2018, s. 17).

Dermed ses det, at begge udbud har lagt vægt på prisen for indsamlingen af affaldet, og at der minimal fokus på miljøet. Der er ikke stillet kriterier op for håndtering af KOD, herunder f.eks. at minimere opholdstider.

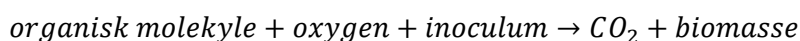
8 Teori

8.1 Bionedbrydning af KOD

Dette afsnit har til formål at redegøre for den potentielle biologiske nedbrydning, der kan ske, inden KOD bliver behandlet på et forbehandlingsanlæg. Dette afsnit er således et teoretisk værktøj til at vurdere, hvor i kæden, mellem den grønne spand i hjemmet og forbehandlingsanlægget, der kan være mulighed for at KODs kvalitet forringes.

8.1.1 Bionedbrydning

Bionedbrydning kan overordnet defineres som en enzymatisk nedbrydning af cellestrukturer. Dette leder til substanser, der for mindre organiske arter kan anvendes til celleanabolismen. De mindre organiske arter producerer i anvendelsen vand og CO_2 (Calow 2009, s. 355-356):



Bionedbrydning kan også forekomme anaerobisk, hvorved der produceres metan i stedet for CO_2 (Calow 2009, s. 355-356). I projektet beskrives biogassen, som produktionen af gas fra begge former for bionedbrydning. Den simpleste ligning, som kan anvendes til at beskrive denne proces, er således tabet af karbon i et lukket system:

$$k = \left(\frac{\ln \left(\frac{W_t}{W_0} \right)}{t} \right)$$

, hvor k er nedbrydningskonstanten i år^{-1} , W_t er tørstofsmassen, der er tilbage efter nedbrydningen, W_0 er tørstofsmassen for forsøgets begyndelse og t er tid i år (Berg og Laskowski 2005, s. 301). I denne ligning er både den anaerobiske og aerobiske nedbrydning repræsenteret i W_t og beregnes ved (De La Cruz og Barlaz 2010, s. 4723):

$$W_t = W_0 - (W_{\text{CO}_2} - W_{\text{CH}_4})$$

Nedbrydningskonstanten kan også udregnes fra BMP og udtrykkes:

$$k = \frac{\ln(2)}{t_{1/2} - t_{0B}}$$

, hvor $t_{1/2}$ er antal dage til halveringen af biometanpotentiallet og t_{0B} er dag 0 for begyndelse af metanogenesens proces (Zordan et al. 2013, s. 9).

Nedbrydningskonstanten for madaffald under gunstige forhold, blev i et laboratorieforsøg målt til $15,02 \text{ år}^{-1}$ ($0,041 \text{ dage}^{-1}$). Nedbrydningskonstanten og biometanpotentiallet afhænger dog af forskellige parametre, som har en stor indflydelse på nedbrydningsraten. Dermed skal laboratorieforsøgs konstanter korrigeres ud fra, hvilke forhold der gør sig gældende for biomassen (De La Cruz og Barlaz 2010, s. 4723-4724).

Måling af bionedbrydning kan være ekstremt kompliceret, idet massen der måles på, kan være meget kompleks. Dødt organisk materiale kan være meget forskelligt i den måde og den tid det nedbrydes på (Berg og Laskowski 2005, s. 301).

De vigtigste systemrelaterede parametre er følgende:

- Inoculum
- PH
- Oxygen
- Temperatur
- Tid

Inoculum i KOD repræsenterer den bakteriekultur, som er til stede i biomassen. Bionedbrydelsens hastighed og omfang er stærkt afhængig af bakteriekulturen. I laboratorieforsøg kan det være en fordel at forberede bakteriekulturer på de biomasser, som skal nedbrydes. Dermed er tilvænnings tiden til nye kemiske strukturer mindre og man vil se en hurtigere begyndelse på en bionedbrydning. I KOD er bakteriekulturen ikke direkte forberedt på de fysiske forhold, som kan sænke nedbrydningsraten. Generationstiden er omkring 3-30 dage for metandannende bakterier og derfor relativt lang, hvilket betyder at de især kræver en forberedt podning (bakterietsætning) (Gerardi 2003, s. 87-88).

Metanogenerne, som omdanner flygtige fedtsyrer (VFA) til metan, er defineret som mikroorganismer og ikke en bakterie, men omtales som en bakterie i dette projekt (Angelidaki & Karakashev 2008, s. 6; Jiang et al. 2013, s. 525).

PH kan inhibere bionedbrydelsen. Den optimale pH for anaerob nedbrydning er omkring 7,20-7,25. PH i madaffald blev vurderet i 19 forskellige undersøgelser. Gennemsnittet viste sig at være omkring 5,2 pH ved en temperatur på 273,15 K og 1 atm. Dog varierede det mellem 3,9 og 7,9 i pH (Campuzano og Gonzalez-Martinez 2016, s. 6-7). I en undersøgelse af Chen et al. (2016, s. 5752) kollapsede batch-reaktorer ved et indhold af TAN ($\text{NH}_3\text{-N}$; Total N) på ned til 2 g/L. Dermed var det kun hydrolyse- og syredannelsesprocesser som forekom. PH under 6 inhiberede de metanproducerende organismer. Derudover identificeres ammoniak også som problemet til inhiberingen. Når pH sænkes forskydes ligevægten mellem

ammoniak og ammonium mod ammonium, som sænker koncentrationen af ammoniak (Gerardi 2003, s. 83; Chen et al. 2016, s. 5752). I en undersøgelse af VFA-produktionen for madaffald ($\text{pH } 4,59 \pm 0,17$) i forskellige biogasprocesser, viste det sig at syredannelsen fik pH helt ned på 3, hvis ikke processen blev kontrolleret (Jiang et al. 2013, s. 526).

Temperaturer som bakterier kan fungere under, er forskelligt for anaerobisk og aerobisk nedbrydning. Ved en aerobisk nedbrydning fungerer bakterierne mellem 4-35 °C og for anaerobisk nedbrydning mellem 10-65 °C. En tommelfingerregel er, at bionedbrydningshastigheden fordobles for hver gang temperaturen stiger 10 °C mellem 10-30 °C (Calow 2009, s. 362). Dog er de metandannende bakterier mest aktive fra 30 °C (Gerardi 2003, s. 89).

Tid er et parameter, som oftest bruges til at definere biogasproduktionen af en biomasse. Tid kan deles op i tørstoffets retentionstid (SRT) og den hydrauliske retentionstid (HRT). SRT er ens med HRT, så længe intet tørstof recirkuleres. Dermed recirkuleres bakterier heller ikke tilbage. HRT er retentionstiden (opholdstiden) biomassen befinder på et givent område, hvormed biogasproduktionen ud fra HRT og biogaspotentiallet kan beregnes. HRT kan forøges og reduceres væsentligt afhængig af den biomasse der præsenteres for mikroorganismer og bakterier (Gerardi 2003, 85).

I en undersøgelse af Påledal et al. 2018, blev lagringens effekt for biometanpotentiallet (og dermed bionedbrydningen) på KOD målt. Først der blev produceret en biomasse, som var tilsvarende den gennemsnitlige KOD-biomasse i Sverige, med korrigeringer baseret på undersøgelser fra Danmark og Norge. Herefter blev biomassen lagt i papir- eller plastposer og opbevaret i hhv. 3, 7, 10, 14 og 22 dage ved hhv. 6 °C og 22 °C i en ventileret plastikcontainer. Forskellen på lagringstid for KOD ved 6 °C viste ingen signifikant forskel. Derimod viste lagring af KOD ved 22 °C en stor forskel på biometanpotentiallet på vådvægt. Både med plast- og papirposer opbevaret ved 22 °C, var der et tab i det organiske tørstof (VS), men tabet var størst for papirposer. Derudover steg VFA, men mest for plastposer, hvilket medførte et surt miljø. For plastposerne faldt pH fra ca. 5,5 til under 5 og for papirposer steg pH til over 6. Dette kunne tyde på at indholdet i papirposerne fik tilført ilt, der var med til at omdanne VFA'er, hvorimod plastikposer være mere impermeable, som sikrer en mindre ilttilførsel. Dermed er der mere anaerobiske forhold i plastikposerne, som fungerer bedre ved højere grader end aerobisk nedbrydning. Dette resulterede i et op til 60 % højere metanudbytte fra plastikposer end papirposer ved 22 °C. Værdierne i undersøgelsen bruges, som estimat til biogasproduktionen i de to første led af processen inden omlastning.

8.2 CO₂-udledning ved nedbrydning af KOD

Tabet af metan og CO₂ fra bionedbrydning bliver i projektet udregnet. Disse klimagasser bidrager til drivhusgasudledning fra KOD. For at disse kan udregnes, skal de omregnes til kg CO₂-ækvivalenter fra kubikmeter metan og CO₂.

Først skal metan og CO₂ omregnes til kg. CO₂ og metan har en molarmasse på hhv.:

$$M_{CO_2} = M_C + M_O * 2 = 12 \frac{g}{mol} + 15,9994 \frac{g}{mol} * 2 = 44,0095 \frac{g}{mol}$$

$$M_{CH_4} = M_C + M_H * 4 = 12 \frac{g}{mol} + 1,0079 \frac{g}{mol} * 4 = 16,0423 \frac{g}{mol}$$

Ved standardbetingelserne (STP) 273,15 K og 1 atm (IUPAC 1990, s. 2217) omregnes med Avogadros tal til massen af gassen pr. liter (Mohr et al. 2016, s. 62):

$$m_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{22,41 \frac{l}{mol}} = \frac{44,0095 \frac{g}{mol}}{22,41 \frac{l}{mol}} = 1,96349 \text{ g/l}$$

$$m_{CH_4} = \frac{M_{CH_4}}{22,41 \frac{l}{mol}} = \frac{16,0423 \frac{g}{mol}}{22,41 \frac{l}{mol}} = 0,71573 \text{ g/l}$$

STP er ens med grundlaget for tabel-værdier anvendt fra Påledal et al. 2018, og Campuzano & González 2016.

Metan omregnes til CO₂, defineret ud fra gassens klimaeffekt på atmosfæren over 100 år. Metan svarer således til 28 [CO₂]-ækvivalenter (IPCC 2014, s. 87).

En kubikmeter CO₂ og en kubikmeter CH₄ er i vægt dermed:

$$vægt_{CO_2} = 1,96349 \frac{g}{l} * 1 \text{ m}^3 = 1,96 \text{ kg } [CO_2]e$$

$$vægt_{CH_4} = 0,71573 \frac{g}{l} * 1 \text{ m}^3 * 28 [CO_2]e = 20,04 \text{ kg } [CO_2]e$$

Således udregnes CO₂-udledningen i vægt fra volumen af metan- og kuldioxidgas.

9 Kortlægning af affaldsordninger i kommuner

Dette analyseafsnit vil inddrage interviewet med Henning Jørgensen fra Affaldskontoret, besvarelser på fremsendte spørgeskema fra tre affaldsselskaber, viden om affaldsordninger i kommuner, renovatørudbud og den gældende lovgivning. Dermed skal første analyseafsnit besvare det andet arbejdsspørgsmål: *Hvordan håndteres KOD, fra hjem til forbehandling, og hvad ligger til grund for kommunernes valg af affaldsordning?*

9.1 Besvarelser på spørgeskema

De fremsendte spørgeskemaer blev besvaret af tre affaldsselskaber på Sjælland: ARC, ARGO og Vestforbrændingen. Alle besvarelserne findes i bilag 2-4.

9.1.1 ARC

Amager Ressource Center (ARC), er et affaldsselskab som ejes af København, Tårnby, Hvidovre, Frederiksberg og Dragør Kommuner (ARC.dk 2018).

Fra ARC, besvarede Linda Rebien spørgeskemaet. Hun er ansat hos ARC til at stå for ”*udvikling af genbrugspladser og afsætning af fraktioner*” (ARC, bilag 2).

ARC behandler KOD for Frederiksberg og Københavns Kommuner. ARC oplyste at disse to indsamler KOD'en hver uge om sommeren, og resten af året hver 14. dag (ARC, bilag 2), hvilket dog ikke stemmer overens med Frederiksberg Kommunes oplysninger. Frederiksberg indsamler bioaffald, som er madaffald blandet med let omsætteligt haveaffald, én gang om måneden om vinteren fra villakvarterer, og hver 14. dag om sommeren. Fra etageejendomme indsamles KOD'en hver uge året rundt (Frederiksberg.dk 2018). ARC har ansvaret for afsætningen af 2/3 af Københavns KOD, den resterende del håndteres af Vestforbrændingen.

Sammenlagt modtager ARC 12.000 ton KOD om året, hvoraf de 10.000 ton er fra Københavns Kommune. Det forventes at mængden vil stige til ca. 30.000 ton KOD om året, når alle ejerkommunerne påbegynder udsortering af KOD (ARC, bilag 2).

ARC oplyser at det modtagne KOD på nuværende tidspunkt, behandles på to forskellige forbehandlingsanlæg. Frederiksbergs KOD behandles hos NC Miljø på Fyn hvor det også bioforgasses, og Københavns behandles af HCS' anlæg i Glostrup (ligesom Vestforbrændingens modtagne KOD jf. næste afsnit). Herefter sendes Københavns KOD til enten Hashøj Biogas, Lynggården Biogas på Præstø, eller Billund Vand (ARC, bilag 2).

Posetyperne fra de to kommuner er også forskellig, hvor Frederiksberg anvender plastposer, anvendes der bioplastposer i Københavns Kommune (ARC, bilag 2).

ARC står overfor planlagte ændringer af deres håndtering af KOD. Pr. d. 1/1 2019 vil omlastningen ske hos firmaet Ragn-Sells på Prøvestenen, og fra 2021 satses der på at der vil være et anlæg nær byen, som kan håndtere og behandle de forventede 30.000 ton KOD (ARC, bilag 2).

9.1.2 Vestforbrændingen

Danmarks største affaldsselskab, Vestforbrændingen, som ejes af 19 kommuner (Vestfor.dk, 2018 & Energi-, forsynings- og klimaudvalget 2016, s. 6), håndterer KOD for 13 kommuner, plus forsøgsmængder fra Herlev Kommune. Samlet set håndterer Vestforbrændingen 22.000 ton KOD om året (Vestforbrændingen, bilag 4).

Halvdelen af KOD'en forbehandles på det nærliggende anlæg hos HCS i Glostrup, hvorefter det afgasses på Hashøj Biogasanlæg, mens den anden halvdel forbehandles på Komtek i Holsted og afgasses på det nærliggende biogasanlæg Linkogas (Vestforbrændingen, bilag 4).

Hvor ofte ejerkommunerne, som Vestforbrændingen modtager KOD fra, indsamler KOD'en, ved respondenter, Henrik Jacobsen, ikke præcis. Jacobsen gætter på, at det er ugetømning ved etageboliger i kommunerne, mens det kan være både 14. dags tømning og ugetømning i parcelhusområder (Vestforbrændingen, bilag 4). Den endnu ikke publicerede opgørelse, udarbejdet af Affaldskontoret, viser imidlertid:

At 8 af de 13 kommuner indsamler KOD hver uge hos etageboligerne, mens kun 6 kommuner har indsamling hver uge hos parcelhuse (Affaldskontoret 2018). Oversigten viser dog at 5 ud af de seks kommuner også indsamler KOD med 14. dagsinterval, hvilket dermed kan tolkes som at indsamlingsfrekvensen er sæsonbetonet. Kun Rødovre Kommune indsamler KOD hver uge hos både etageejendomme og parcelhuse, trods årstid. Flere af kommuner tilbyder desuden ekstratømninger (Affaldskontoret 2018).

Alle Vestforbrændingens ejerkommuner, på nær København, vil i nærmeste fremtid anvende almindelige plastposer til KOD. Dermed vil det kun være Københavns Kommune der fra 2019 anvender bioplastposer. Omlastningen af KOD'en sker på tre forskellige adresser, afhængig af hvor affaldet kommer fra. Der er omlastning i Frederikssund, i Glostrup og på Højelt Genbrugsstation i Græsted. Derudover omlastes Københavns KOD på Prøvestenen. Omlastningen sker over maks. 3 dage (Vestforbrændingen, bilag 4).

9.1.3 ARGO

ARGO behandler affaldet for 9 kommuner, hvoraf de modtager KOD fra 5 af kommunerne (ARGO, bilag 3).

ARGO forventer at der i den nærmeste fremtid vil komme et udbud, som vil stille krav til forbehandling og afgangning af KOD. Udbuddet skal stille krav til biogasproduktion, opgradering til naturgaskvalitet, minimering af metantab, samt at det skal være i nærheden, således at der ikke anvendes en for stor energimængde til transport af KOD'en eller pulpen. Desuden skal det afgassede materiale kunne godkendes til økologisk jordbrug (ARGO, bilag 3).

På nuværende tidspunkt håndterer ARGO 12.500 ton KOD om året, som indsamles i forskellige posetyper. KOD'en bliver behandlet på to forskellige anlæg. Odsherred, Holbæk og Kalundborg sender deres KOD til afgangning i Biovækst i Audebo, hvor det foregår ved tørproces. Roskilde og Lejres KOD forbehandles på Komtek og sendes derfra til Linkogas (ARGO, bilag 3).

Alle kommuner indsamler deres KOD med 14. dagsinterval, hvoraf Kalundborg, Roskilde og Lejre har ekstra tømning om sommeren. KOD'en fra Roskilde og Lejre omlastes i ankomsthallen ved kraftvarmeværket i Roskilde, hvor det typisk opbevares under 24 timer (ARGO, bilag 3). ARGO forventer at med fremtidens udbud vil omlastningen blive skåret væk, da det vil have en positiv effekt ift. den daglige arbejdsgang samt færre rotter på matriklen (ARGO, bilag 3).

Dermed viser de tre besvarelser, at der i høj grad sker en omlastning af affaldet, inden det kommer til enten forbehandling eller biogasanlæg. I nogle kommuner indsamles affaldet i bioplastposer, mens andre anvender almene plastposer. Kommunerne, som sender deres KOD til affaldsselskaberne, har forskellige indsamlingsintervaller, som enten er indsamling af KOD hver uge eller indsamling af KOD hver 14. dag, hvor Frederiksberg er den eneste kommune med længere indsamlingsinterval (hver 4. uge). Flere af de kommuner der indsamler hver 14. dag skifter dog frekvens efter årstid, således at affaldet afhentes oftere om sommeren. Mange af kommunerne giver desuden mulighed for ekstraafhentning af affaldet, hvis dette bestilles (Affaldskontoret, 2018).

9.2 Interview

Henning Jørgensen, Affaldskontoret ApS, gjorde det i interviewet klart, at kommunerne vægter service af borgerne samt pris for indsamling og behandling af affaldet højere end et eventuelt metantab, som kan forekomme ved opbevaring af KOD (Jørgensen, bilag 1: 00:37:36). De to udvalgte renovatørudbud viser

ligeledes, at kommunerne vægter prisen højt, og at hvis der er miljø og service med som kriterier, dækker disse ikke over, hvordan et eventuelt drivhusgasudslip kan mindskes, men omhandler i stedet forurening fra køretøjer, arbejdsmiljø, og service overfor borgerne i kommunen (jf. afsnit 7).

Kommunerne vægter serviceniveauet af borgerne højt, som det også afspejles i kravene til en kommende renovatør i de to udbud (jf. afsnit 7), dog skal denne service også hænge sammen økonomisk. De fleste kommuner anvender udendørs spande, hvor at restaffald og KOD kommer i samme beholder, som er opdelt i to rum. Disse beholdere er typisk 240 L ved parcelhusene. Hvis beholderne var mindre, og derfor skabte et behov for tiere tømning, ville det ene rum, som KOD'en placeres i, blive så smalt, at det ville være mere omstændeligt at tømme beholderen (Jørgensen, bilag 1: 00:37:35). Henning Jørgensen oplyste at der er mange penge at spare for en kommune, hvis de kan nøjes med 14 dags tømning, fremfor ugetømning. Hvis der er brug for ekstra tømninger, vil det typisk ske på baggrund af lugtgener, og ikke på baggrund af at der sker et gastab (Jørgensen, bilag 1: 00:37:35). Hvis det er muligt at indregne økonomien i et eventuelt gastab, som kan mindskes hvis en affaldsspand tømmes oftere, mener Henning Jørgensen at det er noget kommunerne vil tage med i overvejelserne, når der f.eks. skal laves nye affaldsordninger. Dog skal gastabet økonomisk kunne sættes op imod de ekstra tømninger, således at udgifterne enten bliver det samme eller at der sker en fortjeneste, hvis spandene tømmes oftere (Jørgensen, bilag 1: 00:39:37). Dermed skal der kunne opnås væsentlige fordele ved ekstra tømninger, såsom mindre drivhusgasudledning eller større et metanpotentiale, som svarer til den ekstraudgift, der vil være ved at sætte tømningsintervallet op.

9.3 Lovgivning

EU's nye affaldsdirektiv ændrer på den måde man i EU definerer genanvendelse. Hvor man før har talt genanvendelsesandelen på den del der er blevet indsamlet til genanvendelse, er det nu kun den andel der faktisk bliver genanvendt, som tæller. Dermed bliver KOD'en talt som genanvendt efter det er blevet behandlet på et forbehandlingsanlæg. Rejekten fra forbehandlingsanlæg tæller derfor ikke som en del af genanvendelsen, men i stedet som en ressource som går til energiudnyttelse (jf. afsnit 0).

Andelen af genanvendelse vurderes ud fra vægt, og ikke kvalitet. Dermed vil et eventuelt tab af gas betyde at genanvendelsesandelen falder minimalt, svarende til gastabet i vægt. KOD'en kan i princippet derfor være så længe undervejs, under forhold som gør at bionedbrydningen tager fat, at der efter forbehandling reelt set ingen gas er tilbage, men genanvendelsesandelen tæller stadig i samme grad.

EU's affaldsdirektiv sikrer at der er en lovgivning, som foreskriver at KOD'en skal genanvendes. Dette hænger sammen med ønsket om, at opnå en større cirkularitet i affalds-, fødevare- og landbrugssektoren,

som i forbindelse med KOD, kommer til at hænge sammen. Men for at genanvendelsen, og dermed recirkulering af næringsstofferne, skal være økonomisk rentabelt, skal der være et gaspotentiale. Trods forskellige opfattelser af cirkulær økonomi, og hvad det indebærer, søger afsnittet omkring dette projekts opfattelse af cirkulær økonomi (jf. afsnit 5.1), at tydeliggøre at økonomien skal have en ligeså høj prioriteringen som de miljømæssige skadevirkninger og ressourceknapheden. EU's affaldsdirektivs fokus er på ressourceknapheden. I Danmark bliver dette direktiv suppleret af Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål, som bl.a. lovgiver om grænseværdierne for indholdet i KOD der skal anvendes som gødning på markerne (BEK nr. 1001 af 27/06/2018). Dermed har EU's affaldsdirektiv og Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål fokus på 2 ud af de 3 aspekter i cirkulær økonomi.

Kommunerne og affaldsselskaberne har samme fokus, affaldet skal helst være sorteret ordentligt, samt at der skal ske en så høj genanvendelsesandel som muligt. Det økonomiske aspekt for kommunerne og affaldsselskaberne udspiller sig primært i, hvad det koster at få indsamlet og behandlet, fremfor hvad det koster at miste gas.

9.4 Delkonklusion

Dette afsnit har haft til formål at besvare arbejdsspørgsmålet *"Hvordan håndteres KOD, fra hjem til forbehandling, og hvad ligger til grund for kommunernes valg af affaldsordning?"*.

Den kildesorterede organiske fraktion af dagrenovationen indsamles med forskellige intervaller, afhængig af hvilken kommune der er tale om. I de affaldsselskaber, som har besvaret fremsendte spørgeskema, er der en indsamlingsfrekvens på mellem 1. uge og 4. uger. Langt størstedelen af den indsamlede KOD omlastet, hvorefter det køres til forbehandling og videre til et biogasanlæg.

Kun et affaldsselskab, ARGO, har oplyst, at de i fremtiden planlægger at stille større krav til biogasproduktion, og mindskning af metantab. Dette vil dog være et krav, som ARGO stiller i forbindelse med et kommende udbud, men ikke et krav de stiller bagudrettet mod kommunerne. Dermed er der ikke noget der forhindrer ARGO i at modtage KOD som i høj grad kan være udsat for en bionedbrydning med medført tab i biogaspotentiale.

Henning Jørgensen oplyste at det i høj grad er økonomien i kommunerne, der er årsagen til, at de har valgt den type affaldsordning, som de har. Et længere indsamlingsinterval er billigere, da det typisk koster en pris pr. tømt beholder. Henning Jørgensen supplerede endvidere med, at størrelsen på beholderne er valgt ud fra hvad der er mest belejligt, både for borgerne men også for renovatøren som skal tømme beholderen. Hvis der vælges en mindre beholder, vil der være brug for at tømme den oftere, men det vil være smalle rum, hvor der er mulighed for at affaldet kan sætte sig fast. Hvis der i stedet vælges de 240 L

beholdere, som langt størstedelen af kommunerne tilbyder til deres parcelhusområder, vil en oftere tømningfrekvens betyde at der tømmes halvtomme beholdere. Dermed har affaldsselskaberne og kommunerne i høj grad valgt, hvordan KOD'en skal håndteres, på baggrund af økonomien i at afhente og behandle affaldet, samt lovgivning og genanvendelsesmål, fremfor eventuelle tab af BMP og ukontrolleret udslip af drivhusgas.

10 Modelberegninger for bionedbrydning og udledning af drivhusgas

Følgende afsnit besvarer arbejdsspørgsmål 3: *I hvor stor grad bionedbrydes KOD i affaldshåndteringens forskellige led?*

I afsnittet præsenteres udledningsberegninger fra bionedbrydningen i de tre led, beskrevet i afsnit 5.4 (Figur 3, s. 15).

I og med at de tre affaldsselskaber, jf. afsnit 9.1 (s. 28), har oplyst tilnærmelsesvis samme opholdstider i hvert led, er denne beregning lavet ud fra de tre affaldsselskabers samlede mængde KOD.

10.1 Anvendelse og usikkerheder ved modellen

I metoden til at vurdere tabet af karbon, er der opstillet en samlet beregningsmodel for de tre affaldsselskaber. I affaldsselskabernes besvarelser på spørgeskemaet, er fordelingen af affald i 2. led ikke blevet oplyst. Det vil sige, at det ikke vides, hvor mange mængder der hentes fra affaldsgårde, parcelhuse, nedgravet løsninger osv. Dog er parametrene taget med i modellen, da det muliggør differentiering i et videre arbejde med modellen i et senere projekt. Indtil videre er fordelingen sat ud fra estimater. Der kan forefindes data omkring parcelhuse, lejligheder osv. i et givent område på Danmarks Statistik, men det er formentligt ikke proportionelt med affaldsproduktionen fra den enkelte husstand.

De to modeller der er anvendt til, at beregne metantabet i kæden er hhv. BMP-tabet fra lagring af KOD (1. og 2. led) og EPA-modellen for beregning af gasudslip for deponeringsanlæg (3. led). Begge anvendte modeller har en del usikkerheder forbundet til dem. BMP-tabet fra lagring af KOD bygger på meget få resultater og der kræves flere undersøgelser for at kunne redegøre for sammenhænge mellem de forskellige forhold, som gør sig gældende for hver enkelte KOD-lagring. EPA-modellen baserer sig på en meget længere tidshorisont (>1 år) end projektets fokusområde og er heller ikke direkte applikérbar i forhold til en ren KOD-fraktion. Derudover tager modellen ikke højde for, hvor anaerobe forholdene er under lagringen. Dermed kan det være svært at vurdere biogassens metanprocent under processen. I dette projekt er det estimeret, at anaerobe processer udgør 30 % og aerobe processer udgør 70 %. Ligeledes ændrer metanprocenten sig ikke over tid eller temperatur, som der ellers redegøres for i teoriafsnittet (afsnit 8.1.1).

Følgende analysetal bliver derfor analyseret ud fra et sammenspil mellem en teoretisk forståelse af forholdene og de tal der er udregnet ud fra modellerne.

Alle beregninger er lavet ud fra et sommerscenarie, hvor temperaturer derfor er sat til 22°C. Aerobe bakterier kan formere sig i temperaturer ned til 4 °C, men det vil medføre en markant lavere aktivitet. Udledningen om vinteren vil derfor være lavere. Dog må det vurderes at indetemperaturen er relativt stabil over hele året i Danmark, så første led vil formentlig have en retvisende temperatur gældende for hele året.

10.2 Affaldsselskaberne

Vestforbrændingen har oplyst, at de modtager omkring 22.000 tons KOD årligt. ARGO har oplyst, at de modtager omkring 12.500 tons KOD årligt. ARC har oplyst, at de modtager omkring 12.000 tons KOD årligt, men forventer at det stiger til 30.000 tons KOD. Lagringstiden i 1. led for alle affaldsselskaber forventes at være under 3 dage og det vurderes at bakteriekulturen ikke når at udvikle sig nok til, at der sker en udledning af CO₂ eller CH₄. Omlastningstiden er oplyst at være på 3 dage eller under, og det må derfor vurderes at der heller ikke er den store udledning fra dette led. Derudover vurderer nogle affaldsselskaber at omlastningstider vil falde yderligere i takt med, at der bliver etableret mere permanente løsninger til håndtering af KOD. Affaldsselskabernes kommuner har en blanding af 7- og 14-dages tømning, derfor er lagringstiden i 2. led sat til 5 dage, da det er gennemsnittet af KOD'ens lagringstid (5,25 dage). Ud fra de oplysninger vi har modtaget, har affaldsselskaberne nogenlunde samme tider på de forskellige led. I Tabel 1 (s. 35) ses affaldsselskabernes udledninger fra KOD inden det oparbejdes i et forbehandlingsanlæg. Samlet set er tabet af gas i KOD på 13 % af BMP. Hvis 1. led var sat til 5 dage i stedet for 0 dage, ville BMP-tabet stige til 24 %. Dermed har de første dage en stor betydning for udledningen. Derudover er udledningens påbegyndelse for omlastningen sat til tre dage, som muligvis er bakteriekulturens tilpasningstid til miljøet. Hvis omlastningstiden er 3 dage eller højere, vil der her forekomme et tab i kæden.

Samlet set udledes der 5312 tons CO₂e, hvor metangas udgør 3416 tons CO₂e. Selvom der produceres færre kubikmeter metangas end CO₂, kontribuerer metanen med en større andel til de samlede drivhusgasudledninger.

Tabel 1 – Udledninger fra bionedbrydning for de tre affaldsselskaber ARGO, ARC og Vestforbrændingen for de tre led.

Bionedbrydning af KOD for affaldsselskab

Affaldsselskab:

Vestforbrændingen,
ARGO og ARC

Mængder årligt:

46.500 tons

Tømningsinterval ved beboere:

Ugetømning ved etageboliger og 14/7-dages tømnning i villa/parcelhusområder

Omlastningstid:

1-3

Posetype anvendt i husstand:

Plast

1. led		2. led				3. led
Udledninger	Grøn Spand	Affaldsgård (Skur)	Hus med affaldsspande	Nedgravet affald	Affaldsgård (Udendørs)	Omlastning
Temperatur	22	22	22	6	22	22
pH	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Metantab [Nm3]	0	51.136	51.136	8.523	59.658	0
Kuldioxid [Nm3]	0	289.769	289.769	48.295	338.063	0
Samlet CO2e [tons]	0	1.594	1.594	266	1.859	0

Samlet udledning

Metantab	170.452 Nm3
Kuldioxid	965.895 Nm3
Samlet CO2e	5.312 tons CO2e
BMP-tab	13 %

10.3 Delkonklusion

Ud fra modellen kan det antages at den største del af bionedbrydningen forgår i andet led, altså ved den udendørs affaldssortering. Dette skyldes primært at opholdstiden her er længst, samt at det scenarie modellen er beregnet ud fra, er ved 22 °C. Overordnet set, er der kun udledninger fra andet led, hvor der vil være et BMP-tab på 13 %. Samlet set udledes der 5312 tons CO₂e fra 46.500 tons KOD. Dette kan ændre sig markant, hvis borgere opbevarer deres affald i den grønne spand i 5 dage eller mere. Derudover påbegyndes bionedbrydningen efter tre dage for omlastningen, hvilket også vil bidrage til udledningen, hvis opholdstiden her er længere.

Modellen kræver en præcisering for, at få nogle mere korrekte og retvisende tal for udledninger fra bionedbrydning. Beregninger for første og andet led i modellen bygger på meget få data, som gør dem usikre og muligvis mindre repræsentative. Tredje led bygger på beregninger fra EPA-modellen, som både har en længere tidshorisont og er rettet mod deponeret husholdningsaffald.

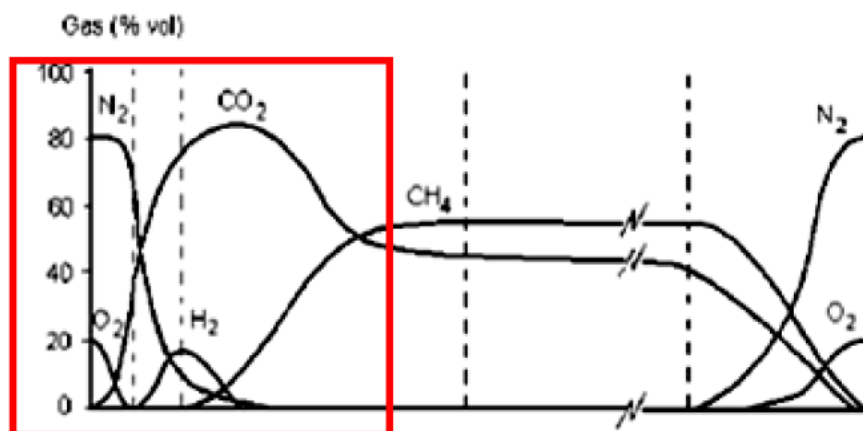
11 Opsummerende diskussion

Dette afsnit vil diskutere de foregående analysers resultater. Ved at diskutere resultaterne samlet og overfor hinanden, giver det mulighed for, at opnå en mere nuanceret konklusion, som bidrager til et realistisk billede af, hvad det har af konsekvenser, at indsamlingen og håndteringen af KOD'en foregår på den måde, som det gør i dag.

Bionedbrydningen af KOD inden det når biogasanlægget er overordnet forbundet med tre problematikker:

- Tab af næringsstoffer
- Tab i BMP
- Drivhusgasudledninger

Tab af næringsstoffer er ikke berørt i så høj grad i dette projekt. Dog kan det ses i Figur 7, at dinitrogen udgør en stor andel af biogassen i begyndelsen af bionedbrydningen for anaerobe systemer. Der kan derfor være et stort tab af kvælstof, steder hvor processerne ikke foregår i et lukket system.



Figur 7 - Udviklingen af biogasproduktionen fordelt på metan (CH₄), kuldioxid (CO₂), dioxygen (O₂), dinitrogen (N₂) og dihydrogen (H₂). Kilde: Zordan et al. 2013, s. 8.

Tab af BMP i systemet blev udregnet til omkring 13 %. Dette kan dog stige markant, hvis håndteringen af KOD forårsager nogle lagringstider på mere end tre dage. Hvis der ikke planlægges med henblik på at forebygge tab af BMP, kan det derfor medføre en markant dårligere økonomi i, at anvende KOD som biomasse. Kommuner kunne derfor forsøge at inddrage nogle krav til tiden for, hvor lang tid det måtte lagres før det ankommer til biogasanlægget. Alligevel bygger mange kommuner deres henteordning på borgeres ønske om afhentningsintervaller. I og med det er de skraldespande "Udenfor hjemmet", hvor der sker den største udledning vil det være svært at se et økonomisk incitament i at ændre intervallerne, hvis udgiften i en hyppigere afhentning overstiger indtjening for gasproduktionen.

Drivhusgasudledningerne skal ifølge IPCC, globalt set mindskes for at sikre at Jordens overflades gennemsnitstemperatur ikke overstiger 1,5 °C. Dermed skal transitionen til vedvarende energiformer fortrænge så mange tons drivhusgasser, som muligt. Konsekvenserne ved ikke at planlægge sig ud af udledningen af drivhusgasser fra KOD, kan derfor obstruere de globale klimamålsætninger. Derfor skal der i forbindelse med affaldsplanlægningen overvejes, om de valg der tages modarbejder klimamålsætningerne. Henning Jørgensen (Affaldskontoret) og udbudsmateriale fra de to kommuner peger på, at udledning fra KOD ikke indtænkes eller vurderes. Derfor har man ikke en reel viden omkring de konsekvenser affaldsplanlægningen medfører. Konsekvensen er at affaldshåndteringen kan lede til unødvendige høje udledninger, som kunne være undgået hvis der var fokus på forebyggelse.

For at styrke det cirkulært økonomiske i at anvende KOD i biogasanlæg er det værd at løse eller reducere problematikken forbundet med bionedbrydningen. Cirkulær økonomi tre kriterier, recirkulering, miljø og økonomi (Afsnit 5.1 s. 10), bliver alle påvirket af bionedbrydningen. Dels vil der være et tab af næringsstoffer (kvælstof), som svækker recirkuleringen. Derudover kan der ske en udledning af drivhusgasser, som mindsker den miljømæssige fordel ved at genanvende KOD. Sidst er der et tab af metangas, som mindsker økonomien i anvende biomassen på et biogasanlæg.

Dermed kan forebyggelse af bionedbrydning være med til at styrke og implementere det cirkulære økonomiske perspektiv ved at anvende KOD som biomasse til et biogasanlæg.

12 Konklusion

Dette projekt har haft til formål, at undersøge hvad der lægger til grund for kommuner og affaldsselskabernes valg af opbevaringstider på KOD, og ud fra disse informationer danne et overblik over i hvilken grad der sker en bionedbrydning, og i så fald hvad den har af betydning.

Problemformuleringen, som projektet har søgt at besvare, lyder som følgende:

Hvordan kan KOD håndteres, således at bionedbrydningen mindskes samtidig med at det understøtter en cirkulær økonomisk tankegang?

KOD skal i fremtiden indsamles separat, og hvis det skal genanvendes, skal det potentielt set igennem et biogasanlæg. Dette slår det nye affaldsdirektiv fast, og således vil der i Danmark ske en langt højere grad af separat indsamling af KOD, end hvad der gør i dag.

Interview- og spørgeskemaundersøgelserne, som er blevet udført i forbindelse med dette projekt, viser, at kommunerne har haft minimal fokus på, hvad opbevaringstider og indsamlingsfrekvenser har af betydning for KOD'ens kvalitet, og i hvilken grad der kan opstå en bionedbrydning med medført udledning af drivhusgasser. Det er dog ikke blot kommunerne, men også affaldsselskaberne, som står for opbevaring af KOD'en, og disse har ligeledes ikke haft det som fokusområde. Det primære fokusområde er økonomien i indsamlingen af KOD'en, og om lugt kan være til gene for borgere i en kommune. Dermed har kommunerne haft et stort incitament for, at udskyde tømning af affaldsbeholdere længst muligt, dog uden at det må medføre lugtgener. En stor andel af de kommuner, som indsamler KOD separat, har 14. dagsindsamling, hvilket i høj grad, iflg. projektets undersøgelser, medfører en bionedbrydning og udledning af drivhusgasser. Denne nedbrydning medfører et lavere biometanpotentiale (13%), hvilket fører til en dårligere økonomi, end hvad der muligvis er nødvendigt, når biomassen kommer på biogasanlæg.

Ved at kommuner og affaldsselskabers fokus i langt højere grad er på genanvendelsesprocenter, end en dårligere økonomi grundet bionedbrydning, opfylder indsamling af KOD delvist kun de tre kriterier der er i cirkulær økonomi. Ud af de tre kriterier er der størst interesse for at genanvende og recirkulere af næringsstoffer. Det miljømæssige kriterie i cirkulær økonomi bliver nedprioriteret, ved ikke at reducere den ukontrollerede udledning af drivhusgasser, som også betyder at det økonomiske kriterie ikke opfyldes.

En enkelt kommune, Frederiksberg, har indsamling af KOD hver 4. uge, hvilket vil betyde, at der i endnu højere grad er mulighed for en nedbrydning af KOD'en, og dermed udledning af drivhusgasser. Dog har dette projekt ikke arbejdet med kommuner, som har anvendt papirposer, men i stedet plast- og

bioplastposer. Undersøgelserne i projektet, samt indsamlet litteratur, viser at posetypen og indsamlingsfrekvenserne ved hjemmene, er de parametre som kan have størst indflydelse på, i hvilket omfang der opstår en bionedbrydning af KOD'en.

Udbuddene, der er undersøgt, viser at kommunerne stiller krav til miljø, ved f.eks. at sikre at de køretøjer der skal anvendes til indsamling af affald ikke forurener, og dermed bidrager til en unødvendig drivhusgasudledning. Ligeledes bør kommunerne ændre på tømmeintervaller og stille miljøkrav til renovatører og affaldsbehandlere, således der sikres en reduktion af bionedbrydningen, så der ikke forekommer en unødvendig udledning af drivhusgasser. Undersøgelserne i dette projekt, viste at der på nuværende tidspunkt er et drivhusgasudslip grundet bionedbrydning i andet led "Udenfor hjemmet", på 5312 tons CO₂e.

Dermed kan genanvendelse af kildesorteret organisk dagrenovation, som det håndteres på nuværende tidspunkt af kommuner og affaldsselskaber, ikke betragtes som en del af en cirkulær økonomisk fremgang, men i højere grad er de nuværende og kommende affaldssystemer indført for at opnå EU's genanvendelsesmålsætninger.

13 Perspektivering

Der er i dette projekt anvendt to forskellige modeller som i samspil udgør én model. Ulempen er at modellerne ikke bygger på samme principper om udledning. Det ville styrke validiteten i modellen, at alle led bygger på samme forudsætninger og ikke på flere forskellige parametre. Begge modeller er i projektet tilpasset bionedbrydning af KOD, men de kan stadig tilpasses i endnu højere grad, hvormed de også vil være mere applikérbare.

Der kræves en større andel af undersøgelser af KOD's bionedbrydning for at kunne lave en model, som har en højere validitet end den, i dette projekt, anvendte model. Resultater kunne udarbejdes på samme vis som Påledal et al. 2018, hvor flere resultater styrker 1. og 2. leds beregnede udledninger. En anden mulighed kunne være at udføre BMP tests på kontinuerlige batchreaktorer i et laboratorium. Her vil det være fordelagtigt, hvis der kan tilføres en repræsentativ blanding af KOD til systemet. Ved at lave kontinuerlig indfødnings, vil der hver dag tilføres KOD fra samme designet biomasse til systemet, men blandingen vil blive ældre og ældre. Dermed vil der opnås en biogaskurve som i begyndelsen er høj, men gasudbyttet vil formentlig falde i takt med KOD'en blive ældre og undergår en bionedbrydning. På den måde kan kurven anvendes som model og oversigt over i hvilke led og mængder, der kan opstå bionedbrydning i processen. KOD der anvendes til laboratorieforsøget kan så lagres i eksempelvis en grøn spand ved stuetemperatur, en affaldsspand udenfor, i en nedgravet affaldscontainer, i en bunke ligesom ved omlastningen osv. På den måde sammenlignes de forskellige leds påvirkning på bionedbrydning.

Det vides ikke, hvor varmt der er når KOD lagres eksempelvis ved omlastning eller i en udendørs skraldespand. Derudover vil temperaturen i en affaldsspand udendørs formentlig have en højere temperatur end temperaturen udenfor i den frie luft. På en dag, hvor solen skinner og der er 15 °C udenfor, kan der potentielt blive mange grader varmere på grund af solindstrålingen på en mørk affaldsspand. Når KOD lagres kan eksoterme processer også være med til at hæve temperaturen i skraldespanden.

Den anvendte model tager ikke højde for, hvilke anaerobe og aerobe forhold, som gør sig gældende i KOD'ens bionedbrydning. Hvis det ønskes at præcisere drivhusgasudledningen forbundet med bionedbrydningen, er der stor forskel på om der produceres metan eller kuldioxid. Metangas er en 28 gange stærkere klimagas, hvilket betyder at anaerobe forhold har en langt større klimaeffekt.

Overordnet skal modellen udvikles yderligere. Dette kan betyde at den kan anvendes, som et værktøj når kommunerne skal vælge den bedste affaldshåndteringsløsning. Hertil vil der med fordel kunne udarbejdes en cost-benefit analyse, som forbinder økonomien sammen fra biogasproduktion, de samfundsmæssige udgifter, som drivhusgasudledningerne er forbundet med, og udgifterne ved hyppigere

indsamlingsintervaller. Dog kan der argumenteres for at undersøgelserne i dette projekt allerede kan kontribuere til, at belyse problemstillinger og skabe en viden som kan anvendes af kommunerne i fremtiden.

I stedet for at måle karbontabet ud fra BMP, kan der også udarbejdes en model for tab af kulstof i biomassen. Dette kan gøres ved formlen:

$$k = \left(\frac{\ln \left(\frac{W_t}{W_0} \right)}{t} \right)$$

Tørstof og organisk tørstof er derfor begge gode indikatorer på, hvor stor en bionedbrydning der sker ved lagring af KOD. Udover dette kan karbonindholdet i en biomasse måles ved en CHNS/O-metode, hvor resultatet bl.a. er total organic carbon (TOC). På den måde fås den procentvise mængde karbon i biomassen. Denne metode kan også måle kvælstofindholdet. Således kan tabet af N i systemet udregnes. Kvælstof er ofte flygtigt i begyndelsen af biogasprocessen, og det vil derfor være interessant at undersøge dette, ved de korte lagringstider, som gør sig gældende ved affaldshåndteringen af KOD.

Påledal et al. 2018 viste at pH for lagring af KOD i hhv. papirs- og plastposer var meget forskellige. Det blev vist at plastposer inhiberede bionedbrydningen grundet VFA'er gjorde miljøet surt, hvilket ikke var tilfældet for papirposer. Det kan desuden være interessant at sammenligne bioplastposer og almindelige plastposers effekt på inhiberingen af bionedbrydningen, da disse er de mest anvendte i Danmark. PH kunne være en god måde at regulere KODs bionedbrydning. Dette vil formentlig ikke være til skade for biogasanlæg, hvor der er biomasser med stærkere bufferkapaciteter (fx svine- og kvæggylle), da disse overordnet vil bestemme pH-værdien.

Hvis modellen på disse måder styrkes skal det også videre undersøges, hvilke løsningsmuligheder der er for at mindske bionedbrydningen. Eksempelvis kunne bioplastposer indeholde stoffer som sikrede en mindre nedbrydning. Derudover kan det undersøges om der skal designes omlastepladser specielt til at kunne modtage KOD uden det under lagring bionedbrydes.

14 Litteraturliste

AffaldPlus (2017): Udbudsbetingelser, Sorø Kommune. Tilgængelighed: <https://www.affald-plus.dk/sites/default/files/mediarkiv/Dokumenter/KUA/Udbud/Soroe_udbud/Udbudsbetingelser.pdf>

Affaldplus.dk (2018a): Sorø, ny affaldsordning i 2018. Tilgængelighed: <<https://www.affald-plus.dk/soroe/ny-affaldsordning-i-2018>>

Affaldplus.dk (2018b): Sådan behandler vi dit madaffald. Tilgængelighed: <<https://www.affald-plus.dk/saadan-behandler-vi-dit-madaffald>>

Affaldskontoret (u.d. a): Vores Erfaringer. Tilgængelighed: <<http://affaldskontoret.dk/Vores%20erfaringer.html>> (Sidst besøgt 12/12/18)

Affaldskontoret (u.d. b): Hvad laver vi? Tilgængelighed: <<http://affaldskontoret.dk/Hvad%20laver%20vi.html>> (Sidst besøgt 12/12/18)

Affaldskontoret (2018): Kommunale affaldsordninger 2018, udarbejdet til Miljø- og Fødevareministeriet (ikke publiceret)

Andersen, Ib (2014): Spørgeteknikker I Den skinbarlige virkelighed – vidensproduktion i samfundsvidenskaberne. 5. udgave, 2. oplag. Samfundslitteratur, 151-167. (Afsnit i bog)

Angelidaki, R. & Karakashev, D. (2008): Kend bakterierne i din biogasreaktor, Institut for Miljø og Ressourcer, DTU.

ARC.dk (2018): Bestyrelse. Tilgængelighed: <<https://www.a-r-c.dk/om-arc/bestyrelse>>

Berg, B., & Laskowski, R. (2005): Methods in Studies of Organic Matter Decay. *Advances in Ecological Research*, 38, 291-331.

Calow, P. P. (2009): *Handbook of Ecotoxicology* (Vol. 1-2). Wiley-Blackwell.

Campuzano, R., & Gonzalez-Martinez, S. (2016): Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. *Waste Management*, 54, 3-12.

Chen, H, Wang, W, Xue, Ln, Chen, C, Liu, Gq, & Zhang, RH. (2016): Effects of Ammonia on Anaerobic Digestion of Food Waste: Process Performance and Microbial Community. *Energy & Fuels*, 30(7), 5749-5757.

De la Cruz, F., & Barlaz, M. (2010): Estimation of Waste Component-Specific Landfill Decay Rates Using Laboratory-Scale Decomposition Data. *Environmental Science & Technology*, 44(12), 4722-8.

Directive (EU) 2018/851 (2018): Tilgængelighed: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN>>

EPA (2005): Landfill Gas Emissions - Model (LandGEM) Version - 3.02 User's Guide. Tilgængelighed: <<https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>

Energi-, forsynings- og klimaudvalget (2016): Beate – Benchmarking af affaldssektoren 2016 (data fra 2015). Forbrænding. Tilgængelighed: <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Affald/beate_afrapportering_forbraending_2016_29maj2017.pdf>

Frederiksberg Kommune (2016): Evaluering af forsøg med indsamling af bioaffald i Frederiksberg Kommune, Tilgængelighed: <https://www.frederiksberg.dk/sites/default/files/meetings-attachments/439/punkt_174_bilag_2_hovedrapport_evaluering_af_forsoeg_med_indsamling_af_bioaffald.pdf>

Frederiksberg.dk (2018): Miljø og Affald. Tilgængelighed: <<https://www.frederiksberg.dk/affald>>

Gerardi, M. (2003): The microbiology of anaerobic digesters (Wastewater microbiology series). Hoboken, N.J: Wiley-Interscience.

Gourc, J., Staub, M., & Conte, M. (2010): Decoupling MSW settlement into mechanical and biochemical processes--modelling and validation on large-scale setups. *Waste Management* (New York, N.Y.), 30(8-9), 1556-68.

IUPAC (1990): Glossary of atmospheric chemistry terms (Recommendations 1990), *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 62, No. 11, s. 2167-2219.

IPCC (2018): Global Warming of 1.5°C (SR1.5). Tilgængelighed: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

- Jiang, Jianguo, Zhang, Yujing, Li, Kaimin, Wang, Quan, Gong, Changxiu, & Li, Menglu. (2013): Volatile fatty acids production from food waste: Effects of pH, temperature, and organic loading rate. *Bioresource Technology*, 143, 525-30.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppala, J. (2018): Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46.
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016): Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal Of Cleaner Production*, 115, 36-51.
- Masi, D., Day, S., & Godsell, J. (2017): Supply Chain Configurations in the Circular Economy: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 9(9).
- Miljøstyrelsen (2018): Undersøgelse af parametre med indflydelse på KOD - Erfaringer fra danske kommuner 2015. Tilgængelighed: <<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/06/978-87-93710-49-8.pdf>>
- Mohr, P. J., Newell, D. B. & Taylor, B. N. (2016): CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014, National Institute of Standard and Technology, American Institute of Physics, *Journal of Physical Chemistry Reference data*, Vol. 45, No. 4, S. 1-74.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E. & Hanemaaijer, A. (2017): Circular economy: Measuring innovation in the product chain. Januar 2017, Haque, PBL Publisher. Tilgængelighed: <<https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>>
- Påledal, N. S., Hellman, E., & Moestedt, J. (2018): The effect of temperature, storage time and collection method on biomethane potential of source separated household food waste. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 71, 636-643.
- Rada, E. C., Cioca, L. I., & Ionescu, G. (2017): Energy recovery from Municipal Solid Waste in EU: Proposals to assess the management performance under a circular economy perspective. *MATEC Web of Conferences*, 121,
- Scarlet, N., Dallemand, J.F., & Fahl, F. (2018): Biogas: Developments and perspectives in Europe, I *Renewable Energy Vol. 129, Part A*, S. 457-472. December 2018, European Commission, Joint

Research Centre, Directorate for Energy, Transport and Climate. Tilgængelighed: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S096014811830301X?to-ken=4CF9394198EB80766BB68D0B52B2486342C9B2C7C3F57E5A4E1A8FA1D2F78A89BCCA1DF42E27D170860E1CBF9A41FD6A>>

Schmedes, Karen og Geert A. Nielsen (2009): Spørgeskemaundersøgelser i et metodeperspektiv I Kulturforståelse - Columbus' vejviser til nye verdener. 1. udg. Forlaget Columbus, 1-8. Internet-adresse: <http://www.forlagetcolumbus.dk/fileadmin/user_upload/pdf/Lede_spoerge.pdf> Besøgt d. 17.12.2018. (Afsnit i bog)

Sorø Kommune (2016): Politiker Web 514, Teknik og Miljøudvalget, affaldsordninger 2018-2022, udkast til regulativ for husholdningsaffald. Tilgængelighed: <<http://polweb.nethotel.dk/Produkt/PolWeb/default.asp?p=soroe07&page=document&docId=76230&ItemId=76260>>

Sorø Kommune (2017a): Politiker Web 638, Teknik og Miljøudvalget, Evaluering af opgaveoverdragelse til AffaldPlus. Tilgængelighed: <<http://polweb.nethotel.dk/Produkt/PolWeb/default.asp?p=soroe07&page=document&docId=80973&ItemId=81042>>

Sorø Kommune (2017b): Politiker Web 692, Teknik og Miljøudvalget, affaldsordninger 2018-2022 (2024) – status. Tilgængelighed: <<http://polweb.nethotel.dk/Produkt/PolWeb/default.asp?p=soroe07&page=document&docId=83900&ItemId=83906>>

Van Buren, N., Demmers, M., Van der Heijden, R., & Witlox, F. (2016): Towards a circular economy : The role of Dutch logistics industries and governments. SUSTAINABILITY, SUSTAINABILITY, 2016.

Vestfor.dk (2018): Om Vestforbrændingen. Tilgængelighed: <<https://www.vestfor.dk/Om-Vestforbraending>>

Vejle Kommune (2018): EU-udbud, indsamling og transport af dagrenovation, genanvendeligt affald og farligt affald. AffaldGenbrug, Vejle Kommune. Tilgængelighed: <<https://www.vejle.dk/media/16698/udbudsmateriale-vejle-kommune-affaldsindsamling.pdf>>

Zordan, J., Gourc, J. P., Oxarango, L., Conte, M. & Carrubba, P. (2013): Biomechanical behaviour of MSW: Settlements-biodegradation relationship study through experiment and modeling. Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium. Conference Paper. Italy.

15 Oversigt over bilag

15.1 Bilag 1 – Interview med Henning Jørgensen, Affaldskontoret ApS

Link til bilag, hvor lydfilen kan downloades:	
Google Drive:	https://drive.google.com/file/d/1oOwcFhwvWpepO1SPTIE-oAR4Nlxi2j90a/view?usp=sharing
OneDrive: (Kun med RUC-login)	https://rucdk-my.sharepoint.com/:u:/r/personal/andyma_ruc_dk/Documents/Interview%20Henning%2016.11.18_.gdoc?csf=1&e=Yunh33

15.2 Bilag 2 – Besvarelse af spørgeskema, ARC

15.3 Bilag 3 - Besvarelse af spørgeskema, Argo

15.4 Bilag 4 – Besvarelse af spørgeskema, Vestforbrændingen