

Det grønne guld

S18-NAB2-8-biogas

Charlotte Maj Poulsen - 62555

Thorkil Rosengard Eisenhardt - 62580



Roskilde universitet

Hus 27 NAT BACH

2018: 2. Semester

Vejleder : Aske Palsberg



Indholdsfortegnelse

Forord	3
Abstract.....	4
Resume	4
Indledning	5
Problemfelt	7
Problemformulering	7
Semesterbinding	7
Afgrænsning	7
Teori	8
Biogas i naturen	8
Biogasanlæg	8
<i>Opbygning af biogasanlæg.....</i>	<i>8</i>
KOD	10
Alternativet	11
Fordele ved biogas frem for forbrænding	11
Næringsstoffer	12
Anvendelse af nærringstoffer	13
<i>Det danske landbrugs fosforbalance</i>	<i>14</i>
Recirkulering og cirkulær økonomi	15
Metode	16
<i>Den eksperimentelle proces.....</i>	<i>16</i>
<i>Empiriindsamling</i>	<i>17</i>
<i>Interview</i>	<i>17</i>
<i>Empiriindsamling som følge af interviews.....</i>	<i>17</i>
<i>Case studie som metode</i>	<i>18</i>
Case – KOD produktion i Region Hovedstaden	18
Forsøg	19
Afgasning af biomasse	19
<i>Formål.....</i>	<i>19</i>
<i>Forsøgsopstillingen.....</i>	<i>19</i>

<i>Fremgangsmåde</i>	21
Næringsstofindhold	22
Total fosfor	22
<i>Formål</i>	22
<i>Fremgangsmåde</i>	22
Uorganisk fosfor	24
<i>Formål</i>	24
<i>Fremgangsmåde</i>	24
Resultatbehandling	25
<i>Afgasningsforsøg</i>	25
<i>Fosfor målinger</i>	29
<i>Nærringstof målinger fra OK Laboratorium for jordbrug</i>	31
Diskussion	32
Konklusion	33
Perspektivering	34
Litteraturliste	35
<i>Bøger</i>	35
<i>Oplæg</i>	35
<i>Rapporter og afhandlinger</i>	35
<i>Forsøgsmanual:</i>	36
<i>Websider og online artikler</i>	36
<i>Interviews</i>	36

Forord

Dette er et 2. Semesters projekt på den Naturvidenskabelige Bacheloruddannelse på Roskilde Universitet. Dette semester skal vores projekt opfylde semesterbindingen for 2. semester, der lyder som følger, "Sammenspil mellem teori, model, eksperimenter og simulering i naturvidenskab".

Vi vil gerne takke vores vejleder, Aske Palsberg, for inspiration og læring inden for vores emne, og derudover det arbejde han har lagt i at hjælpe og med kontakt til både HCS og Solrød Biogas. Vi vil også gerne rette en stor tak til Jorge, som har været en stor hjælp i laboratoriet og har hjulpet os igennem en god del af forsøgsteorien og teknikkerne. Vi vil derudover også gerne takke Torben, Rikke og Gitte for deres hjælp med at analysere prøverne, og dermed komme frem til konkrete resultater. Vi vil gerne takke både HCS og Solrød Biogasanlæg for at give sig tid til at vise os rundt og svare på spørgsmål, da de derved har hjulpet os til en bedre forståelse af stoffet. Til sidst vil vi gerne takke vores opponentergruppe og vejleder, for hjælp og gode ideer til udførelse af den færdige rapport.

Abstract

The report seeks to investigate the potential for production of methane and plant nutrition from organic household garbage from Hovedstads Regionen. The investigation has been done by lab measurements on the organic garbage and estimates of the yearly production.

We have measured the methane potential by use of the AMPTS II test kit. Plant nutrition have been measured by OK Labs. These values combined with estimates for the yearly production and estimates for the dry matter content in the garbage have been used to estimate the potential yearly production of methane and plant nutrition from the organic household garbage.

Resume

Rapporten søger igennem undersøger om hvor stor den potentielle udvinding af metan og plantenærringstoffer er fra KOD fra Hovedstads Regionen, at kunne sætte ord på værdien af KOD i sammenhæng med biogasanlæg. Undersøgelserne er foretaget ved målinger på pulp, og estimer fra andre rapporter for årlige produktioner.

Vi har undersøgt metan potentialet i KOD ved brug af forsøgsopstillingen AMPTS II. Plan-tenærringstof indholdet har vi fået målt hos OK Labs. Disse værdier har sammen med estimer for den årlige KOD produktion i regionen og estimer for tørstof indholdet i KOD brugt til at estimere den potentielle årlige udvinding af metan og plantenærringstoffer.

Indledning

Global opvarmning er et omdiskuteret emne i vores samfund i dag, og betegner de temperaturstigninger der sker globalt, som fører til ændringer af klodens klima. Den livsstil vi som mennesker lever, skubber mere på udviklingen af den globale opvarmning. Med denne livsstil følger et forbrug af naturressurser og i nogle tilfælde et overforbrug. Det er dermed også nogle af disse faktorer, der gør at dette emne er så presserende.

Vi er som forbrugersamfund afhængige af energi til varme, lys og transport med mere. Energiproduktionen er i dag i høj grad stadig baseret på fossile energiformer som olie, kul og naturgas, hvilket alle øger koncentrationen af CO₂ i atmosfæren, og dermed bidrager til den globale opvarmning.

For at sikre en bæredygtig energiproduktion og høj forsyningssikkerhed i Danmark og EU i fremtiden er udnyttelse af vedvarende energikilder alfa omega. Danmark er et foregangsland på denne omstilling og i 2017 satte vindmølleproduktionen rekord og dækkede 43% af elforbruget. (Godske, 2018.) Ambitionerne vedrørende vindenergi er fortsat stigende og om få år regner man med at produktionen dækker 60% af elforbruget. Det langsigtede mål for dansk energipolitik er at Danmark skal være uafhængig af fossile brændstoffer i 2050. (Energistyrelsens hjemmeside)

Biogas er en af de vedvarede kilder, som også vinder frem i Danmark. Biogas er forholdsvis nemt at komme i gang med, da gassen er resultatet af de processer der sker når man sætter forrådnelse af organiske komponenter under anaerobe forhold i gang. Til biogasproduktion har man en stabil forsyning af organisk materiale (biomasse) i form af restprodukter fra landbrugsproduktionen, detail- og fødevarerindustrien, og bioaffald fra den enkelte borger. Bioaffald fra den individuelle husholdninger går under betegnelsen KOD (kildesorteret organisk dagrenovation).

Der er en målsætning om at 50% af det indsamlede husholdningsaffald der i blandt også KOD skal genanvendes. (Vinther, 2017). Biogas produktion ville være en måde hvor på KOD fraktionen vil kunne blive genanvendt.

Ressourcestrategiens målsætning om 50 % genanvendelse af husholdningsaffaldet forudsætter i de fleste danske kommuner, at den organiske dagrenovation fra husholdninger skal kil-desorteres og indsamles i en særskilt fraktion, som efterfølgende kan nyttiggøres ved genanvendelse. I november og december 2017 uddelte Københavns kommune grønne affalds-spande, for at sortere bioaffald fra almindelig dagrenovation (*Københavns Kommune, sorte-ring af bioaffald i hus*). Lige nu håndterer transportfirmaet HCS, Københavns bioaffald og har i den forbindelse anlagt et biopulpanlæg, der frasorterer synlige urenheder og omdanner KOD til flydende substans, kaldet biopulp. For at KOD kan omdannes til biopulp, hakkes det og blandes med regnvand, så det bliver til en homogen masse. Denne proces er nødvendig da det er vigtigt at opretholde et stabilt miljø i reaktortanken på biogasanlægget. Dernæst trans-porteres biopulpen ud til et biogasanlæg, hvor det omdannes til biogas. (*Interview med HCS, 09-03-18*)

Biogas består hovedsageligt af en blanding af metan (CH_4) og kuldioxid (CO_2). Det er en brændbar blanding af gasser, som bl.a. kan anvendes til produktion af kraftvarme. Hvis bio-gassens CO_2 -indhold fjernes, er det også muligt at anvende biogassen som brændstof i biler eller at distribuere den via naturgasnettet (*Interview med Solrød biogas 09-03-18*). Biogas dannes ved en biologisk nedbrydningsproces af organisk materiale i et bakterielt og anaerobt (iltfrit) miljø. Gasserne er affaldsprodukter efter mikroorganismers omsætning af organisk materiale, og den præcise sammensætning af biogas afhænger af blandingen af organisk ma-teriale, der nedbrydes (*Jørgensen, P.J. 2009*).

De første biogasanlæg kom til Danmark om-kring 1920, hvor de blev placeret på rensnings-anlæg. Gassen blev i starten benyttet til at op-varme rensningsanlæggets rådnetank. Senere, i midten 1970'erne, steg interessen for biogas-anlæg på grund af oliekrisen i 1973 (*Jørgensen, P.J. 2009*).

I 2006 var der i alt 167 biogasanlæg i Danmark og produktionen svarede til cirka 4 PJ

	Antal anlæg	Biogasproduktion i Danmark 2006 1.000 m ³
Kommunale renseanlæg	61	~ 40.000
Biogasfællesanlæg	19	~ 73.000
Gårdbiogasanlæg	57	~ 33.000
Lossepladsgasanlæg	25	~ 18.000
Industrianlæg	5	~ 7.000
I alt	167	~ 171.000
Den samlede bruttoproduktion svarer til ca. 4 PJ eller ca. 5 % af Danmarks samlede energiforbrug		

Tabel 1 Viser biogasproduktionen i Danmark anno 2006 (*Jørgensen, P.J. 2009*)

(Jørgensen, P.J. 2009), blot 10 år senere i 2016, var biogasproduktionen på over 8 PJ (Foreningen biogasbranchen, 2017) Det betyder altså at biogas er noget man ser en stor udvikling indenfor, som også har taget fart over årene.

Problemfelt

Man er i de seneste par år begyndt at indsamle organisk husholdningsaffald i en særskilt fraktion i København for at kunne benytte dette til udvinding af biogas. Ved biogas produktion produceres vedvarende energi i form af brændbar biogas, og der er mulighed for at genbruge plantenærringstoffer bundet i udnyttede biomasse. Den afgassede biomasse kan køres tilbage på markerne, hvor dennes gødningsværdi i form af plantenæringsstoffer fra biomassen udnyttes. Biogas fremmer altså recirkulering af plantenærringstoffer.

Problemformulering

Hvad er potentialerne for anvendelse af KOD til biogasproduktion i Hovedstads Regionen, med fokus på metan udbyttet og plantenærringstoffer?

Semesterbinding

- Sammenspil mellem teori, model, eksperimenter og simulering i naturvidenskab.

I vores projekt ligger vi stor vægt på vores forsøg og vil besvare vores problemformulering ud fra dem.

Afgrænsning

Denne rapport afgrænser sig til tal fra følgende kommunerne i Region Hovedstaden; Albertslund, Ballerup, Brøndby, Egedal, Furesø, Frederikssund, Gentofte, Gladsaxe, Glostrup, Gribskov, Halsnæs, Herlev, Hillerød, Høje-Taastrup, Ishøj, Lyngby-Taarbæk, Rødovre, Vallensbæk, København, Hvidovre, Dragør, Tårnby, Frederiksberg.

Teori

Biogas i naturen

Biogas findes flere steder i naturen, heriblandt moser og andre stillestående vandområder, hvor de metan fikserende mikroorganismer har naturligt anaerobe forhold under vandet (Bradly, Nyle C. & Ray R. Weil, 2004). Biogassen dannes når mikroorganismer nedbryder dødt organisk materiale i jorden. Denne proces kan både foregå anaerobt og aerobt.

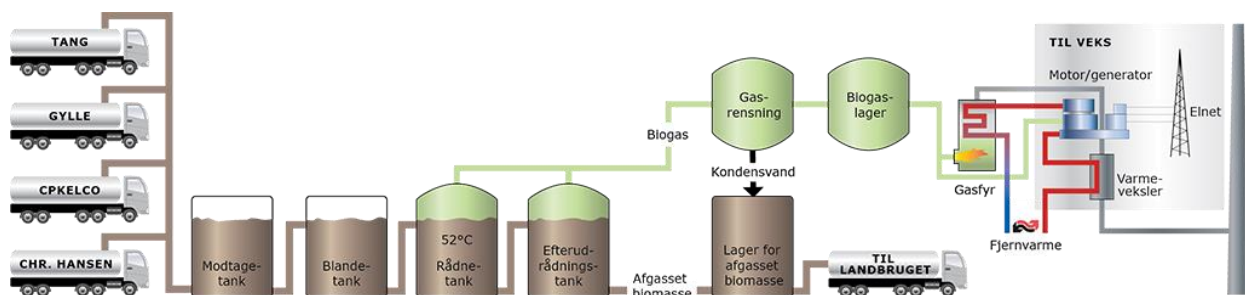
Når processen forløber anaerobt går det dog noget langsommere end når processen forløber aerobt. I moser og stillestående vandområder, forløber nedbrydningsprocessen anaerobt, og tager derfor tid, grundet den manglende tilgang til ilt. Den manglende tilgang til ilt, skyldes at porerne i jorden er fyldt med vand, og luften dermed presses ud ved hjælp af tyngdekraft.

(Bradly, Nyle C. & Ray R. Weil, 2004)

Biogasanlæg

Opbygning af biogasanlæg

Da biogasanlæg kan opbygges på mange måder, tager vi udgangspunkt i opbygningen af Solrød biogas. Det er også Solrød biogas vi har modtaget vores inokulumprøver fra. Inokulum er betegnelsen for den sammenblandede organiske masse der findes i reaktor tanken på et biogasanlæg.



Figur 1. Billedet viser et diagram over processen på [Solrød biogas, 2018, <http://solrodbiogas.dk/hvad-er-biogas/#teknikkenbag>] besøgt 27 maj 2018

Når biomassen modtages, kommer den i modtagertanken. Der er forskellige modtagertanke til de forskellige biomasser. Inden biomassen kommer i blandetanken frasorteres/filtreres plastic fra. I blandetanken blandes biomassen fra de forskellige leverandører. Dette gøres, så forholdet mellem biomassen fra de forskellige leverandører og tørstofprocenten forbliver konstant. Dernæst skal biomassen videre til reaktortanken. I reaktortanken foregår selve biogasproduktionen. Biomassen fra blandetanken på Solrød biogas opvarmes til reaktortemperatur 52°C før den lander i reaktortanken. Ny biomasse tilføjes i toppen af reaktortanken, i bunden af tanken udtages biomassen. Biomasse udtages i bunden for at sand og andet bundfald ikke ophobes. Reaktor tanken er i konstant omrøring for at undgå flydelag og holde massen homogen. Reaktortanken er desuden lufttæt, så den biologiske proces forbliver anaerob. Den biologiske proces, hvori biogas bliver dannet, kan inddeles i tre faser:

1. **Hydrolyse**, hvori de højmolekylære stoffer (polymere af proteiner, kulhydrater og fedtstoffer) nedbrydes til lavmolekylære stoffer (monomere). En række bakterier udskiller enzymer, der katalyserer nedbrydningen. (*Hansen, Rasmus Nør, 2016*)

Nedbrydning af kulhydrater. Cellulose og stivelse er polysakkarider, dvs. lange kæder af suktermolekyler. Enzym nedbrydning forløber i trin, først bliver den lange kæde nedbrudt af specialiserede organismer til mindre kæder, hvorefter de kortere kæder bliver nedbrudt til enkelte suktermolekyler (glukose). C-O-C bindingerne i cellulose er stærkere og sværere at nedbryde end dem i stivelse, og man behøver derfor specialiserede organismer der producerer cellulase for at nedbryde bindingerne. (*Bradly, Nyle C. & Ray R. Weil, 2004*)

Nedbrydning af protein: Protein nedbrydes også naturligt i form af planteprotein. Produktet er ikke kun vand og CO₂, men også aminosyrer som f.eks. glycine, cysteine, som er komponenter for nitrogen og sulfur. De bliver senere nedbrudt til simple uorganiske ioner som ammonium, nitrat og sulfat, som er plantetilgængelige. (*Bradly, Nyle C. & Ray R. Weil, 2004*)

2. **Syredannelsesfasen** er her, at ca. 50% af monomererne (glukose, xylose, aminosyrer) og de langkædede fedtsyrer nedbrydes til eddikesyre (CH_3COOH). 20% bliver til kuldioxid (CO_2) og de sidste 30% nedbrydes til andre kortkædede fedtsyre. Disse procenter kan opnås i en afbalanceret bakteriel proces. (Zumdahl, Steven S. & Donald J. Decoste, 2016.)
3. **Metandannelse**, også kaldet *metanogenese* er det sidste trin i processen. Det foretages af metanogene bakterier, eller metanogener, som er en meget gammel og speciel gruppe bakterier, der hører til i riget: Archeabacteria. Det er to forskellige grupper bakterier, der omdanner syren til metan. Den ene nedbryder eddikesyre (CH_3COOH) til metan (CH_4), og den anden danner metan ud fra kuldioxid (CO_2) og brint (H_2) (Zumdahl, Steven S. & Donald J. Decoste, 2016.)

Gassen der udskilles opsamles i toppen af tanken. Eftersom at biomassen konstant tilføjes i toppen af tanken og tappes i bunden, er der et vis tab af organisk materiale, som forsætter uafgasset gennem anlægget.. På Solrød Biogasanlæg svarer det ca. til 25%. Dette tab er et nødvendigt onde. Hvis man lod massen gasse af, ville det tage for lang tid og ikke kunne betale sig. (Interview med Solrød biogas 09-03-18).

I *efterrådnnetanken* fortsætter rådne processen, og gassen opsamles. Mængden af gas produceret i denne tank er blot en brøkdel af den samlede mængde. I denne tank rådner biomassen videre inden, den sendes til *lagertanken*, hvor den afgassede biomasse opbevares indtil den afhentes af landmændene, som bruger den som gødning på deres marker. (Interview med Solrød biogas 09-03-18).

KOD

KOD er betegnelsen for Kilde sorteret organisk dagrenovation. Frasorteret organisk materiale fra det daglige husholdnings affald hører altså under betegnelsen KOD. Beboere i Storkøbenhavn kender måske ikke til betegnelsen KOD, men støder alligevel på det i deres dagligdag grundet den grønne spand til organisk affald som mange har stående der hjemme under køkkenvasken. Organisk dagrenovation kan opdeles i en række hovedfraktioner; vegetabilsk

madaffald, animalsk madaffald, lettede haveaffald, og vådt papir og pap. Gylling, Morten, *(Toke Radmar Lillethorup og Mikkel Vestby Jensen, 2016.)*

Alternativet

Alternativet til biogasanlægget er ikke at separer KOD og derved sende det organiske husholdningsaffald til et forbrændingsanlæg. Dette har været normen hidtil og er stadigvæk praktiseret de fleste steder. I forbrændingsanlæggene afbrændes det organiske affald på lige fod med andet husholdningsaffald. Materialer og stoffer der ikke kan brænde opsamles og sendes på deponi. Her kan det bruges som underlag til asfaltveje. *(Interview med Argo 17-04-18).* Plantenærringstoffer der ender i slaggen, er dermed låst i asfalten og ikke til meget nytte i landbruget.

Fordele ved biogas frem for forbrænding

En fordel ved biogas er forsyningssikkerheden på energi som resultat af at biogas kan lagres til senere brug. Når forrådnelsesprocessen af f.eks. husdyrgødning anvendes til at skabe biogas, reduceres udslippet af metan som ellers ville være endt i atmosfæren, og dermed bidraget til drivhuseffekten og de globale klimaforandringer. Metanen bliver ganske vist brændt efterfølgende og CO₂'en der produceres af denne afbrænding, ender i atmosfæren. CO₂ er dog ikke en nær så kraftig drivhusgas som metan og dermed er der stadig en klima gevinst at hente.

Udledningen af drivhusgasser fra husdyrgødning reduceres med ca. 0,6 og 0,3 CO₂-ækvivalent pr. Kg organisk stof for henholdsvis svine og kvæggylle. Ved en lige dele blanding af svine- og kvæggylle indeholdende henholdsvis 5 og 10% TS og 75 % VS, er det en reduktion af emissionen på ca. 26 kg CO₂- ækv. Pr. Tons gylle, eller ca. 1,2 kg CO₂-ækv pr. m³ produceret biogas.

Samlet drivhuseffektpotentiale ved biogasproduktion

Biomasse	Mængde (mio. tons/år)	Biogas- Produktion (mio. m ³ /år)	CO ₂ -red. pga. el og varmeprod. - optimal anv. (tons CO ₂ /år)	CH ₄ og N ₂ O-red. som CO ₂ -ækv. (tons CO ₂ /år)	Reduktion I alt CO ₂ -ækv. (tons CO ₂ /år)
Husdyrgødning	15 ¹⁾	330 ³⁾	660.000 ⁴⁾	390.000 ⁵⁾	
Organisk affald	0,5 ²⁾	25 ³⁾	50.000 ⁴⁾	100.000 ⁶⁾	
I alt	15,5	355	710.000	490.000	1.200.000

- Danmarks reduktionsforpligtigelse ifølge Kyotoprotokollen er ca. 25 mio. tons CO₂/år.
- Biogasproduktion på basis af husdyrgødning og affald kan altså bidrage med ca. 5 % heraf.

Figure 2 (Jørgensen, P.J. 2009)

Man kan beregne den teoretiske mulighed for reduktionen af drivhusgasser i Danmark, hvis man opnår en effektiv udnyttelse af biogasteknologien (Jørgensen, P.J. 2009).

Figur 4 viser disse udregninger. En optimal produktion af biogas vil føre til en reduktion på i alt 1.200.000 CO₂-ækv. Regnestykket kommer af to komponenter, henholdsvis CO₂-red. pga. El og varmeproduktion på 710.000 CO₂-ækv. og CH₄ og N₂O-redduktion på 490.000 CO₂-ækv.

Næringsstoffer

Planter er fotoautotrofe, hvilket betyder at de selv danner essentielle kemiske forbindelse ud fra lys og grundstoffer. Fra forstadie til planten selv danner frø skal den bruge 17 forskellige grundstoffer for at udfører en livscyklus. Planten får grundstofferne C, O og H gennem CO₂ i fotosyntesen og H₂O igennem transpirationen, mens de sidste 14 stoffer optages gennem jordvæske af plantens rodsystem som uorganiske ioner. De 17 grundstoffer kaldes også essentielle plantenæringsstoffer. ((KU (Science), kapitel 2- plantenærringstoffer) & (Raven, Peter H., Ray F. Evert & Susan E. Eichhorn, 2013.)) Vores rapport fokuseres der på makronæringsstofferne nitrat og fosfor.

Anvendelse af nærringstoffer

En af fordelene ved at benytte biogas som energikilde, er at den afgassede biomasse kan spredes på landmændenes marker og at man derved kan genanvende næringsstoffer fra husdyrgødning og borgernes organiske husholdningsaffald. Denne genanvendelse af næringsstoffer kaldes recirkulering. (Brinch-Petersen, Henrik, 2006)

Fosfor er kun direkte plantetilgængeligt når det er på uorganisk form. Med det menes altså at hvis planterne skal bruge af det organiske fosfor, er det påkrævet at det bliver omsat til uorganisk først, hvilket kun sker i når mikroorganismer nedbryder de organiske molekyler hvor i fosforen er bundet. Som sagt, siger man at det er det uorganiske fosfor der er tilgængeligt for planterne. Dog forholder det sig sådan, at det kun er en lille del igen af det uorganiske der rent faktisk er tilgængeligt for planterne, da store dele af det ligger bundet til de negativt ladede ler partikler i jorden. Både organisk og uorganisk fosfor er begge vigtige resurser for jorden og for de afgrøder man dyrker i den. Den relative variation af de to er forskellig fra jord til jord, men en tommelfingerregel siger at den organiske andel udgør mellem 20 og 80 procent af den totale fosfor mængde i top jord.

I landbrugets intensive planteavl tilføres der voldsomme mængder ekstra fosforgødning, for at optimerer planternes optag. Planternes frø anvendes primært til foder, og dette kan være et problem især i forhold til de et mavede dyr (grise og fjerkræ), da de er dårlige til at udnytte de ekstra store mængder fosfat. Fosforen returneres herefter til

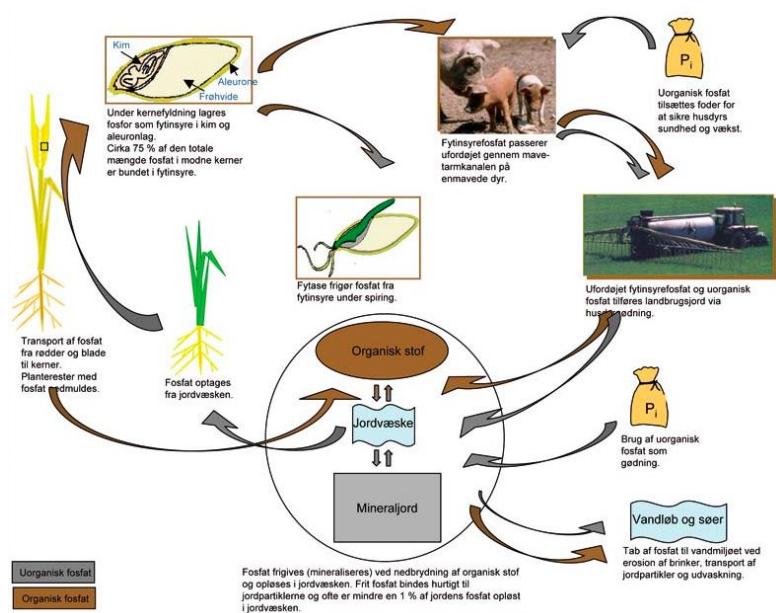


Figure 2 - Figuren forklarer fosforens vej gennem systemet (Brinch-Petersen, Henrik, 2006)

jorden via spredning af husdyrgødningen, med den konsekvens at et stort overskud tilføres til jorden. Fosforen akkumulerer således i jorden og kan senere blive en belastning for det omkringliggende vandmiljø. (Oplæg v/Brian Kornvang, 2018)

Fosfor og nitrat optræder begge som anioner i jorden, der er dog stor forskel på om stofferne er tilgængelige for planterne da opløseligheden i jordvæsken hvorfra planterne optager dem fra, er meget varierende. På trods af det, er der forskel på deres opløselighed i jordvæsken. Nitrat er opløst i jordvæsken og dermed sagt let plantetilgængeligt, da man ikke finder nogen kationer i jordvæsken, som kan udfælde nitrat. Fosfat derimod reagerer stærkt med kationer af jern og aluminium, som derfor udfældes på kemiske former, som ikke er plantetilgængelige. Dette resulterer i en mere langsommelig proces, da rødderne først skal opløse fosfor fra overfladen af mineraler eller gødningskorn i jorden, da det som sagt ikke er opløst i jordvæsken. (KU (Science), kapitel 2- plantenærringstoffer)

Det danske landbrugs fosforbalance

Man kan opstille forfor balancen ved brug af en landsdækkende statistik over de forbrugte mængder af fosfor og de mængder af næringsstoffer der fjernes med afgrøderne. Som tidligere nævnt består dele af fosfortilførslen på markerne af importeret fosfor el. handelsgødning. Derudover kommer der også tilførsel i form af husdyrgødning, slam fra rensningsanlæg og affald fra industrier. (Kronvang, B (red.), Iversen, H.L, Jørgensen m.fl., 2001)

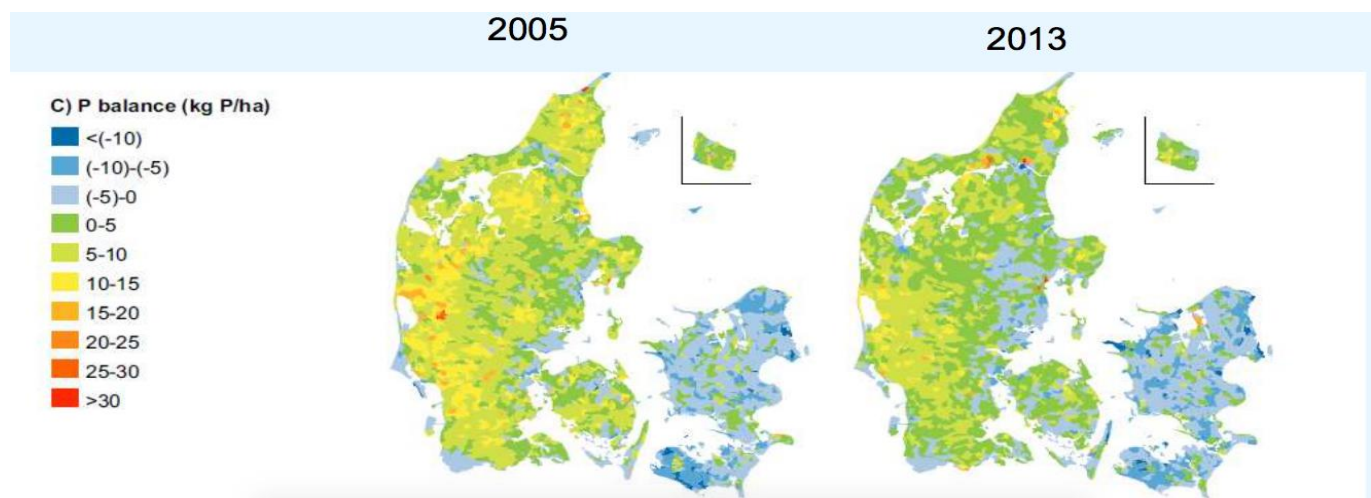


Figure 3 - (Oplæg v/Brian Kornvang, 2018)

På figur 4. (*Oplæg v/Brian kornvang, 2018*) ses fosforbalancen i hele landet. Det generelle overskud i Jylland skyldes at der primært er husdyrhold i denne del af landet, hvilket betyder at man har bedre adgang til fosforressourcer i form af husdyrgødning. Pointen er at fastslå at fosfordelingen i landet er ulige og den dermed kunne fordeles bedre, men at vi nogen steder i landet (specielt Sjælland og øerne) har mangel af fosfor og det dermed har relevans at overveje hvilke muligheder man har for at udnytte disse resurser, hermed ment den nemt anvendelige biomasse man får ud som restprodukt efter det har været igennem en biogas reaktor.

Tanken om biogasanlægget i forbindelse med recirkulering og cirkulær tænkning kan være en spiller på banen i forhold til, at man i Danmark kan blive selvforsynende med fosfor. En anden fordel, er at det i sig selv også er recirkulering for landmanden. Han får et bedre gødningsprodukt i den afgassede biomasse end han ellers ville have i almindelig gylle, da han her får et produkt hvor mange af de store organiske molekyler der binder fosfor er nedbrudt. I nogle tilfælde, alt efter hvad biomassen består af, kan den da også være rigere på næringstoffer, da man her også får næringstoffer fra f.eks. madaffald.

Recirkulering og cirkulær økonomi

I dag graver man fosfor miner for at få kunne sælge det som gødning (*KU (Science), fosfor - fremtidens guld*) Det virker dog absurd når der er adgang til fosfor i form af restprodukter, som gylle eller husholdningsaffald. Når husholdningsaffaldet sendes til forbrænding, ender den fosfor der er i det, på depot. Dvs. at det ikke kommer tilbage på markerne hvor det kom fra. I Danmark har vi en meget frugtbar jord, og er ikke i farezonen for at løbe tør for næringsstoffer lige foreløbig. Grunden til at dansk jord er så frugtbar, ligger i det høje niveau af lerjord vi har. Ler partikler er mindre end silt- og sandpartikler, og har derfor samlet set et større overfladeareal, hvilket gør at det bedre holder på vand. Det skal dog understreges at der selvfølgelig også er silt og sand i de danske jorde, men at Danmark bare har et generelt højt niveau af ler, set i forhold til mange andre områder. (*Bradly, Nyle C. & Ray R. Weil, 2004*)

Derfor må man også kunne argumenter for, at det giver mening at recirkulerer. Der er fosformangel mange steder i verden, og minerne løber tør på et tidspunkt, så igen tænker man at

det virker absurd at smide let tilgængeligt fosfor på depot, og når man så tilmed får et andet anvendeligt produkt, som biogas, ud af det.

Især fosfor er et vigtigt næringsstof at recirkulere, da det er blevet registreret på FN's Critical Raw Material liste. I forbindelse med det, har vi foretaget nogle forsøg, hvor det første, hjælper os med at bestemme, hvor meget fosfor, planterne vil kunne få ud af den pulp, som stammer fra borgernes KOD. Dette er for at se hvor brugbart det er som grundlag for gødningsmateriale.

Metode

Metodeafsnittet vil redegøre for den metodiske proces som ligger til grund for besvarelsen af problemformuleringen. Primært redegøres der for den eksperimentelle proces, indsamling af empiri, anvendelsen af ekspert interviews samt valg af litteratur.

Den eksperimentelle proces

For at afdække relevansen af KOD baseret biopulp har vi udført forsøg for at undersøge pulpens metan potentiale og nærringstof indhold. Metanpotentialer er relevante da metan er det primære produkt ved biogas produktion og det derfor ikke ville give mening af benytte en biomasse med et lavt metan potentiale. Nærringstofindholdet er relevant at undersøge da den afgassede biomasse gerne skal kunne afsættes i landbruget hvor den bruges som gødning. Vi har specifikt valgt at undersøge fosforindholdet da fosfor vi mener nemlig at fosfor er et særligt vigtigt nærringstof at genanvende da det som nævnt tidligere i rapporten er en begrænset ressource. Af disse grunde har vi valgt at undersøge metan potentiale og fosforindhold.

Til at undersøge energipotentialet benyttede vi "bioprocess control AMPTS II & AMPTS II Light Automatic Methane Potential Test System" en færdig forsøgsopstilling til undersøgelse af metan potentiale fra 'biogas control ab sweeden'. I forsøget afgassede vi ren inokulum fra Solrød Biogas, og en blanding af denne og KOD baseret pulp fra HCS, fra sorterede CO₂ fraktionen og målte gasproduktionen. Dette lod os bestemme metan potentialer i den KOD baserede pulp.

Igennem en række laboratorie forsøg målte henholdsvis total-, uorganisk- og plantetilgængelig fosfor i den KOD baserede biopulp.

Resultaterne fra disse undersøgelser sammenholdt med tal for KOD produktionen i case området vil hjælpe os til at kunne besvare problemformuleringen.

Empiriindsamling

I afsnittet redegøres der for vores overvejelser og strategier for empiriindsamling. Vores forsøgsmaterialer er indsamlet fra HCS i Glostrup (KOD baseret biopulp) og fra Solrød biogasanlæg (inokulum).

Vores vejleder, Aske Palsberg, har været en stor hjælp i forhold til at finde frem til det rette materiale i form af tidligere analyser, eksperimenter og rapporter. Vi har igennem Roskilde universitetsbibliotek fundet frem til kilder om emnet i form af bøger om biogasproduktion

Interview

Under vores projekt har vi foretaget ekspertinterviews med en række fagpersoner, som har kendskab til og erfaring inden for feltet. Dette giver os muligheden for god aktuel viden indenfor det problemfelt. I deres bog 'InterView Introduktion til et håndværk' skriver Steinar Kvale og Svend Brinkmann *"Det kvalitative forskningsinterview forsøger at forstå verden ud fra interviewpersonernes synspunkter, udfolde den mening, der knytter sig til deres oplevelser, afdække deres livsverden forud for videnskabelige forklaringer."* (Kvale, Steinar & Svend Brinkmann, 2008). Vi vil i vores ekspert interviews søge efter at opnå et indblik i interviewpersonernes viden om deres aktuelle felter, og de anlæg hvor til de er knyttet.

Empiriindsamling som følge af interviews

Vores empiriindsamling er udført med udgangspunkt i den grundforståelse for emnet vi fik opnået gennem vores interviews. Interviewene gav både indblik i opbygningen af de konkrete anlæg, driften af disse, fremtid perspektiver for disse og konkrete udfordringer på anlæggene. Dette har givet os mulighed for at indsnævre vores empiriindsamling til kilder der har specifikt relevans for disse anlæg, deres driftsform og problematikker.

Case studie som metode

Vi har brugt case study metoden. Bogen 'Qualitative Research and Case Study Applications in Education' definere et case study som værende en undersøgelse af "a thing, a single entity, a unit around which there are boundaries". (Merriam, Sharan B. 1998, s. 27) Altså et lukket/afgrænset system. På samme side 27 i samme bog nævnes der at man, for at finde ud af om der er tale om et afgrænset system, kan spørge sig selv hvor finit er den mængde data der kan indsamles. I et lukket system vil der være en øvre grænse. Et case study er altså undersøgelse af et lukket system med en finit data mængde. (Merriam, Sharan B. 1998)

Case – KOD produktion i Region Hovedstaden

Vi har valgt Region Hovedstaden som vores case område. HCS hvor fra vi har vores pulp indsamler deres KOD i Hovedstads Regionen. Hovedstads Regionen er den Region i Danmark med den største befolkning. Hovedstads Regionen opfylder de betingelser der skal til for at være en case. Hovedstads Regionen er et afgrænset geografisk og administrativt område, med et finit antal husstande hvor fra KOD kan indsamles. Hovedstads Regionen opfylder altså betingelserne for at være en case.

Vi har fået tallet på den samlede KOD produktion i Region Hovedstaden fra rapporten "Kildesorteret organisk husholdningsaffald KOD Biogas i Roskilde Mulighed for udnyttelse af organisk husholdningsaffald" hvor værdierne er udregnet med udgangspunkt i estimater fra miljøstyrelsen.

Samlet årlig KOD produktion i Region Hovedstaden: 126.986 ton (Se bilag 3.)

Vores målinger er udført på pulp fra HCS og ikke direkte på ren KOD. For at løse dette problem har vi fundet tal på TS % i KOD. Denne er 30% ifølge oplæg ved Rasmus Nør Hansen (Oplæg v/Hansen, Rasmus Nør, 2017)

Forsøg

Denne del af rapporten søger at beskrive forsøgenes formål, forsøgsopstillinger og fremgangsmåder. Alt dette vil blive gennemgået både ved forsøget om afgasnings af biomasse og forsøget om næringstoffer, som en forudforståelse for videre databehandling og diskussion af resultaterne for forsøgene.

Afgasning af biomasse

Afgasningsforsøget og behandlingen af data fra dette tager udgangspunkt i "bioprocess control AMPTS II & AMPTS II Light *Automatic Methane Potential Test System*" Hvilket er den tilhørende manual of forsøgsvejledning fra det brugte udstyr. Manualen er udgivet udstyrets producent.

Formål

Vi har udført et kontrolleret forsøg hvor vi målte og sammenlignede gasproduktionen fra inokulum og inokulum tilsat KOD baseret biopulp. Dette er med det formål at undersøge hvor stor gas potentialet er i KOD baseret biopulp. Til udførelsen af forsøget er der benyttet inokulum indhentet fra Solrød Biogas og KOD baseret pulp indhentet fra HCS. Det er specifikt potentialet for metan udvinding det er interessant at undersøge. Dette hænger sammen med at gasudvindingen finder sted med det formål at producerer vedvarende energi, og dermed er potentialet for CO₂, som der ikke er brændbart, ikke af interesse. Vi har opstillet et forsøg der tager udgangspunkt i forsøgsudstyret AMPTS II *Automatic Methane Potential Test System*, og den hertil hørende manual.

Forsøgsopstillingen

Det anvendte forsøgs udstyr AMPTS II Automatic Methane Potential Test System er en samlet færdig forsøgsopstilling fra Bioprocess control Sweden AB. Opstillingen består af tre enheder, enhed A, enhed B og Enhed C, som der herunder vil blive gennemgået.



Figure 4 AMPTS II Automatic Methane Potential Test System. Til venstre enhed A, i midten enhed B og til højre enhed C. (AMPTS II & AMPTS II Light - Automatic Methane Potential Test System, 2016).

Enhed A, prøve inkubationsenheden. Denne enheds primære komponent er de femten reaktor flasker. Flaskerne er beregnet til at indeholde 500 ml reaktor materiale, men har en kapacitet på 600 ml. Grunden til at man efterlader 100 ml som headspace i flaskerne er for at man ved skumning eller voldsom gas produktion ikke får overløb af reaktor materiale til opstillings andre enheder. Flaskerne er udstyret med et lufttæt skruelåg hvor på der befinder sig en fastmonteret motor til det formål at holde flaskens indhold i konstant omrøring. Omrøringen er til for at sikre en homogen reaktorvæske uden lagdeling. Foruden motoren er låget udstyret med to mindre åbninger hvor på gasledende slanger kan monteres. Den ene slange benyttes kun ved opsætning af forsøget, her bruges den til at fylde overflødig plads i flasken med kvælstof og dermed sikre et anaerobt miljø. Efterfølgende lukkes den med en klemme og forbliver lukke til forsøgets afslutning. Den anden slange bruges til at lede den producerede gas fra flasken videre til enhed B. De femten flasker er placeret i et termostatisk vandbad. Vandbadets funktion er som navnet antyder at holder alle flaskerne i en fast temperatur og dermed sikrer et stabilt forrådnelsesmiljø. Vandbadet er udstyret med et plastlåg for at reducerer afdampningen, man bør dog alligevel påfylde vand hver tredje dag for at sikre et fuldt bassin.

Enhed B, CO₂ absorptions enhed. Denne enhed består af femten 100 ml flasker placeret i en flaskeholder. Formålet er at CO₂ bliver skillet fra gassen i denne enhed, dette kan lade sig gøre da den femten flasker indeholder 3M NaOH og en ph indikator. Flaskerne i denne enhed fungerer altså som CO₂ fælder.

Flaskerne er udstyret med skruelåg hvorpå der ligesom med flaskerne i enhed A kan påmonteres to gasledende slanger. Den ene af disse slanger fra gassen fra flaskerne i enhed A til de base fyldte flasker i enhed B. Den anden slanges transporterer efter rensning for CO₂ gassen videre til enhed C.

Enhed C, gas volumen måleapparat. Denne enhed er opbygget som et vandbassin med to rækker af klapper. Til disse ledes gassen, når nok gas er ophobet vippes klappen op af opdriften fra gassen og gassen slippes ud. Apparatet tæller hvor mange gange hver klap åbnes. Da der skal en bestemt mængde gas til at åbne en klap, og hver reaktorflaske har eksklusivt tilhørende CO₂ fælde og klap kan gas produktionen på denne måde måles.

Flow cell volumes [ml]

Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Cell 5
9.01	8.95	8.92	8.95	8.92
Cell 6	Cell 7	Cell 8	Cell 9	Cell 10
8.95	9.01	8.05	9.01	8.96
Cell 11	Cell 12	Cell 13	Cell 14	Cell 15
9.05	9	8.98	9	8.93

Tabel 2 Figuren viser hvor meget gas der opsamles før klappen åbner (AMPTS II & AMPTS II Light - Automatic Methane Potential Test System, 2016)

Fremgangsmåde

Vi igangsatte afgangsforsøget fredag den 16. marts og forløb til den 25. april. Vi lavede fire forskellige blandinger af inokulum, pulp og cellulose. For at kunne udregne de korrekte blandingsforhold til vores reaktorflasker, var vi først nødt til at udregne VS indholdet i vores inokulum, pulp og kontrol. VS står for volatile substance. VS-indholdet i inokulum, pulp og kontrol er udregnet ved først at tørre prøverne ved 105 graders celsius i tyve timer og afveje den tørrede masse, den tørrede masse kaldes for TS, total substance. De tørrede prøver brændes der næst ved 550 graders celsius i to timer, vægten af den afbrændte masse trækkes fra TS og dette giver VS. På denne måde findes VS forholdet. Se bilag 1. for VS værdier.

Vi lavede triplikater af alle fire blandinger. Blandingsforholdene er i målt i forhold til gVS. De fire blandinger er; ren inokulum, tre dele inokulum til en del kontrol cellulose, tre dele inokulum til en del pulp og to dele inokulum til en del pulp. Prøverne med forholdet 1 del pulp til to dele inokulum kalder vi for pulp 1, prøverne med forholdet 1 del pulp til tre dele inokulum kalder vi pulp 2. De sidste tre flasker i opstillingen blev fyldt med demineraliseret vand for at mindske afdampning fra bassinet.

NR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Indhold	inokulum	inokulum	inokulum	Inokulum + kontrol	Inokulum + kontrol	Inokulum + kontrol	2 DEL INOKULUM 1 DEL PULP	2 DEL INOKULUM 1 DEL PULP	2 DEL INOKULUM 1 DEL PULP	3 DEL INOKULUM 1 DEL PULP	3 DEL INOKULUM 1 DEL PULP	3 DEL INOKULUM 1 DEL PULP

Tabel 3 viser indholdet i reaktorflaskerne

Vi sørgede for at hælde vand i vandbadet hver tredje dag, så det altid var fyldt, dette var for at sikre en konstant temperatur i reaktorflaskerne. Ved vandpåfyldning sørgede vi altid for at opvarme vandet til 48 graders celsius for ikke at skabe unødige temperatursvingninger. Vi brugte udelukkende demineraliseret vand til vandbassinet.

Undervejs holdt vi øje med om CO₂ fælderne havde brug for udskiftning af deres NaOH. Fem af CO₂ fælderne blev skiftet undervejs. Nr. 4 blev skiftet den 21. marts, nr. 5, 8 og 11 blev skiftet den 26. marts og nr. 3 blev skiftet den 3. april.

Næringsstofindhold

Vi undersøgte næringsstofindholdet i pulpen inden afgasningsforsøget. Næringsstofindholdet har relevans for gødningskvaliteten af den afgassede biomasse. Da det jo først er efter afgasningen at biomassen benyttes til gødning, derfor kunne der argumenteres for næringsstofindholdet først bør måles efter afgasning. Men da det er næringsstofpotentialet i pulpen der er interessant og ikke næringsstofferne efter vores aktuelle afgasningsforsøg, så udføres næringsstofmålingerne forinden afgasningsforsøget. Næringsstoffernes kemiske form kan variere som resultat af forskellige i afgasningsprocessen. Der er af pulpen blevet målt både total fosforindhold og uorganisk fosforindhold. Forsøgenes fremgangsmåder er beskrevet herunder. Vores pulp kommer alt sammen fra samme spand, men ved igangsættelse af afgasningsforsøget placerede vi pulp til blandingsforholdet 1 til 2 i en beholder og pulpen til blandingsforhold 1 til 3 i en anden beholder. Vi har udført fosfor målinger på pulpen fra hver af disse beholdere.

Total fosfor

Formål

Den totale fosfor måles ved metoden beskrevet nedenfor. Af de tre fosformålinger er denne den vigtigste. Total fosfor fortæller måske ikke hvor stor en mængde fosfor der er plantetilgængelig, men den fortæller hvor stort det samlede fosfor udbytte har potentiale for at være.

Fremgangsmåde

I forsøget total fosfor blev fosforindholdet målt i henholdsvis ren inokulum og både pulp 1 og 2. der blev lavet triplikater, så i alt havde vi med ni prøver at gøre. Vores fremgangsmåde for

ekstrahering af fosfor er en der normalt bruges til at ekstrahere fosforindholdet i jord. Vi har vurderet at den også kan bruges til ekstrahering fra inokulum. Først tørrende vi prøverne ved 105 grader celsius i 12 timer, og afvejede den tørre masse for at vide hvor stor en mængde TS vi målte fosfor på. Se bilag 2. for TS mængder. Vi valgte at måle på TS fremfor våde prøver da vandindholdet i både pulp og inokulum kan være varierende. Efter tørring blev prøverne placeret i digler og brændt ved 550 grader celsius i 3 timer. Dette blev gjort for at oxidere karbon og hydrogen i prøverne og dermed nedbryde alle de organiske molekyler. Nedbrydningen af de organiske molekyler frigør organisk bundent fosfor.

Efter afbrændingen fik diglerne lov til at køle ned til stuetemperatur hen over ved at stå i en desikator (en lufttæt glas beholder) natten over. Efter nedkølingen ekstraheres askens fosfor indhold ved hjælp af stærksyre. Ti ml salpetersyre (HNO_3) blev tilføjet vi pipette til hver digel. Dernæst skulle diglerne stå ti minutter i et 70 graders celsius varmt sandbad, og bagefter en time ved stuetemperatur. Vi lod reelt set vores digler stå i sandbadet i femten minutter for at kompensere for et eventuelt varme tab ved åbning af sandbadet. Til vores fremgangsmåde benyttes normalt svovlsyre (H_2SO_4). Vi har dog ladet os fortælle svovlsyre skaber problemer for den ICP-MS maskine der er til rådighed på RUC og som vi har benyttet til at måle fosforindholdet, derfor har vi brugt salpetersyre i stedet. Syren tilføjes for at nedbryde fosforholdige salte og frigøre fosfor der kan være adsorberet til store molekyler med negativt ladet overflader.

Da prøverne havde fået lov til at stå en time med syre, blev indholdet fra diglerne hældt gennem glasfiber filtre og ned i 250ml målekolber. For at undgå forurenende elementer sørgede vi for med stor forsigtighed at tørrer sand rester fra sandbadet af diglerne inden vi hældte indholdet gennem filtrene. Efter overhældningen blev indersiden af diglerne, skyllede med demineraliseret vand, for at sikre at alt kom med. Derefter blev filtrene gennemskyllet fem gange for at sikre at alle opløselige partikler kom med gennem filtrene. De tolv målekolber blev fyldt til 250ml mærket med demineraliseret vand. Prøverne blev sendt til en ICP-MS undersøgelse for at måle fosfor indholdet, men prøvernes indhold overskred apparaturets kapacitet. Vi lavede 1:100 fortynding og sendte prøverne til måling igen, og fik her i andet forsøg brugbare resultater. Se bilag 2. for resultater

Uorganisk fosfor

Formål

Det er interessant at måle det uorganiske fosfor indhold da dette tilsammen med den totale fosfor måling fortæller os hvor stor en mængde fosfor der er biologisk bundet. Hvordan fosfor er bundet i pulpen, har relevans da fosfor bundet på forskellig vis ikke nødvendigvis kan gøres plantetilgængeligt med samme metoder.

Udover selv at udføre målinger på fosfor indholdet i pulpen har vi sendt portion pulp til undersøgelse hos **OK Laboratorium for jordbrug**. Resultaterne fra denne undersøgelse kan findes i bilag 3.

Fremgangsmåde

Fremgangsmåden ved måling af den uorganiske fosfor andel er den samme som fremgangsmåden ved måling af total fosfor. Vi undlod blot afbrændingen ved 550 graders celsius, og nøjedes dermed ved tørringen på 105 graders celsius. Ved at gøre det på den måde forbliver de organiske molekyler intakte og fosfor bundet her i bliver derfor ikke ekstraheret. Se bilag 2. for TS værdier og resultater.

Resultatbehandling

Denne del af rapporten søger at komme dybere ned i resultaterne ved brug af matematiske modeller og opstilling af grafer for disse. Formålet med dette er bedre at kunne analysere vores data og dermed kunne bruge dem i vores diskussion af disse.

Afgasningsforsøg

Vi har undersøgt metanpotentialitet i pulp. Dette har vi gjort da metan er det primære produkt fra et biogasanlæg og metan potentialitet er derfor fuldstændig afgørende for om det kan betale sig at bruge et materiale til metan produktion.

Vi har valgt at udregne vores afgasnings resultater BMP (biomethane potential). BMP opgives i Nml metan pr gram VS. Grunden til at vi vælger at opstille vores resultater som BMP i stedet for gas pr total vægt er fordi at vand indholdet i pulp kan være varierende. Det er derfor mere interessant at kende gaspotentialitet pr g VS.

TS% og VS%

Vi har målt TS og VS indholdet i vores inokulum, pulp og kontrol. Vi har valgt selv at måle TS% og VS% i stedet for at finde disse i eksterne kilder. Dette har vi gjort da væskeindholdet i pulp og inokulum kan være varierende og vi ønsker tal fra vores eksakte batch.

TS % og VS % udregnes efter følgende formler.

$$TS (\%) = \frac{m_{Dried}}{m_{Wet}}$$

Equation 1 (AMPTS II & AMPTS II Light - Automatic Mathane Potential Test System, 2016)

$$VS(\%) = \frac{m_{Dried} - m_{Burned}}{m_{Wet}}$$

Equation 2 (AMPTS II & AMPTS II Light - Automatic Mathane Potential Test System, 2016)

Vi har i vores inokulum og pulp fået følgende TS% og VS%.

	Inokulum	Pulp 1	Pulp 2	Kontrol
TS	2.58%	15.67%	16.08%	96.41%
VS	2.03%	14.15%	14.30%	96.41%

Tabel 4

BMP

Vi har lavet vores BMP udregning ved brug af formlerne fra udstyrsmanualen.

$$BMP = \frac{V_S - V_I}{m_{VS,SS}}$$

Equation 3

$$BMP = \frac{V_S - V_I}{m_{VS,SS}} = \frac{V_S - V_B \frac{m_{VS,IS}}{m_{VS,IB}}}{m_{VS,SS}} = \frac{V_S - V_B \frac{m_{IS}}{m_{IB}}}{m_{VS,SS}}$$

Equation 4

Parameter	Unit	Symbol
Accumulated bi methane volume from sample bottle(s)	Nml	V_S
Accumulated bi methane volume from blank bottle(s)	Nml	V_B
VS amount of substrate in sample bottle(s)*	g	$m_{VS,SS}$
VS amount of inoculum in sample bottle(s)*	g	$m_{VS,IS}$
VS amount of inoculum in blank bottle(s)*	g	$m_{VS,IB}$

Tabel 5

Formlerne og skemaet er taget fra udstyrsmanualen.

Akkumuleret metan produktion

Vi har ved tilvejebringelse af vores afgangsforsøg fået værdier for den producerede metan mængde i hver af vores reaktor flasker.

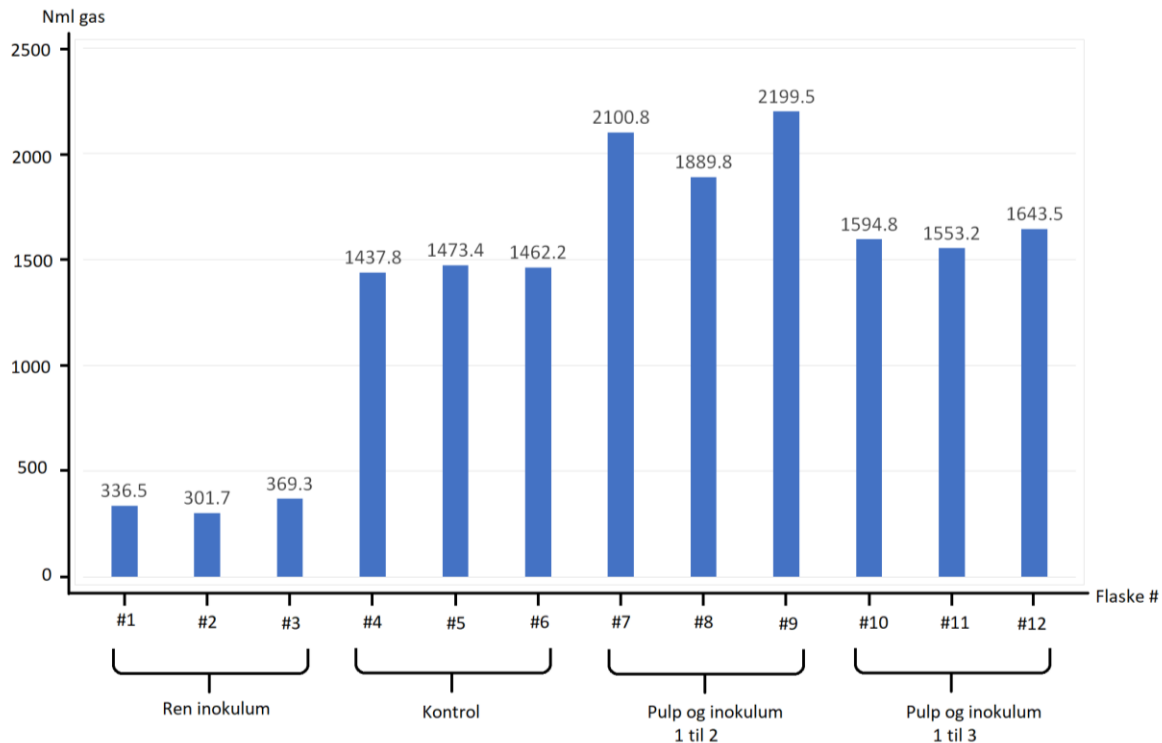


Figure 5 I skemaet ses produceret mængde metangas fra hver af de 12 flasker.

Vi har udregnet biopulpens BMP. For at gøre dette har vi først udregnet BMP for den anvendte inokulum. Først bestemte vi VS mængden i blindprøverne, altså prøve 1, 2 og 3. Vi har taget vægten af inokulum vi tilføjede i hver blind prøverne, denne har vi ganget med den gennemsnitlige VS% fra de VS målinger vi lavede på vores inokulum. Da VS indholdet var udregnet, så dividerede vi den producerede mængde metan fra hver flaske med flaskens VS mængde. På den vis har vi udregnet Nml metan pr gram VS inokulum. Gennemsnittet af disse tre værdier har vi brugt som BMP for inokulum i vores videre udregninger.

Inokulum BMP – 32,8 Nml/gVS

For prøverne syv til tolv har vi først udregnet hvor meget gas der er produceret af flaskens inokulum indhold. Dette er gjort ved først at udregne $m_{VS,IS}$ i flaskerne. Mængde inokulum ganget med inokulum VS%. Dernæst er $m_{VS,IS}$ ganget med den BMP vi udregnede ovenfor. På den måde kan vi udregne hvor stor en mængde metan der er stammer fra inokulum i hver flaske. Ved hver flaske trak den mængde metan der kommer af inokulum fra flaskens samlede mængde metan, den resterende mængde metan er fra vores biopulp.

$$\text{Metan}_{\text{total}} - \text{metan}_{\text{inokulum}} = \text{metan}_{\text{pulp}}$$

For at udregne BMP fra vores biopulp følger vi BMP formelen og ganger mængden af pulp i hver flaske med VS procenten fra vores VS måling, dette giver os $m_{VS,ss}$. Dernæst dividerer vi den mængde metan der stammer fra pulpen med $m_{VS,ss}$. Dette giver os Nml metan pr gram VS pulp. Gennemsnittet af disse værdier er vores pulps BMP. Se bilag 1 for udregninger.

BMP pulp1	BMP pulp2
370,00 Nml/gVS	393,83 Nml/gVS

Tabel 6

I figur 6 kan vi se at V_s er større i pulp 1 flaskerne, dette giver god mening da der er større mængde pulp i disse. Vi kan dog se at BMP er større i pulp 2 flaskerne. Vi får altså et større udbytte fra pulpen i blandingsforhold 1 til 3.

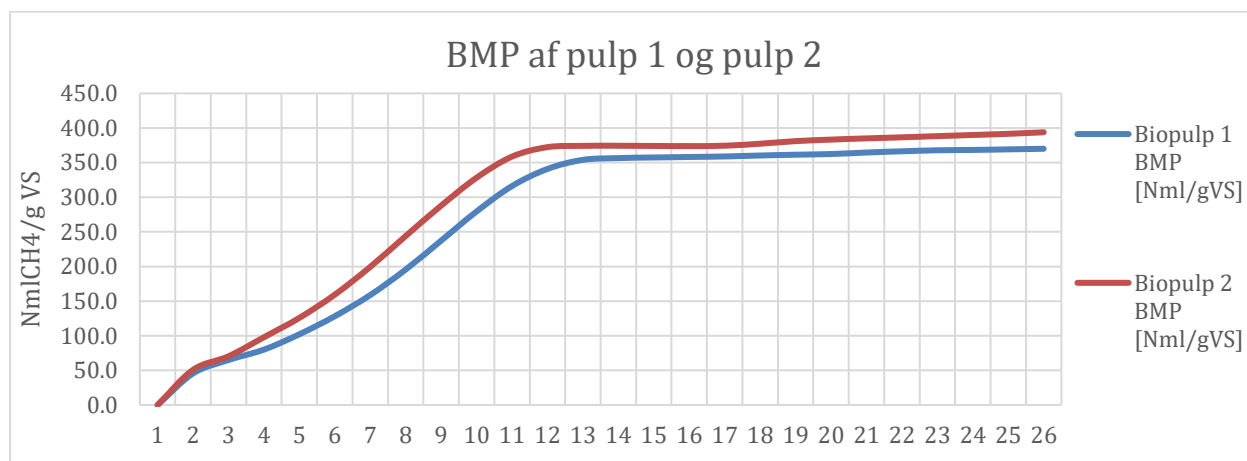


Figure 6 Figuren viser BMP af pulp over tid.

Vi kan i figur 7 se at vores pulps BMP ganske vist er fortsat stigende helt til dag 25 hvor forsøget blev afsluttet. Vi kan dog se at efter 14 dage har pulp opnået af 96,6% af sin BMP og pulp 2 har opnået 95% af sin BMP. (Vores inokulum opnår først 95% af sin BMP efter 21 dage, dette er en hel uge længere end pulpen hvilket vil at det er halvanden gang så lang tid som pulpen.)

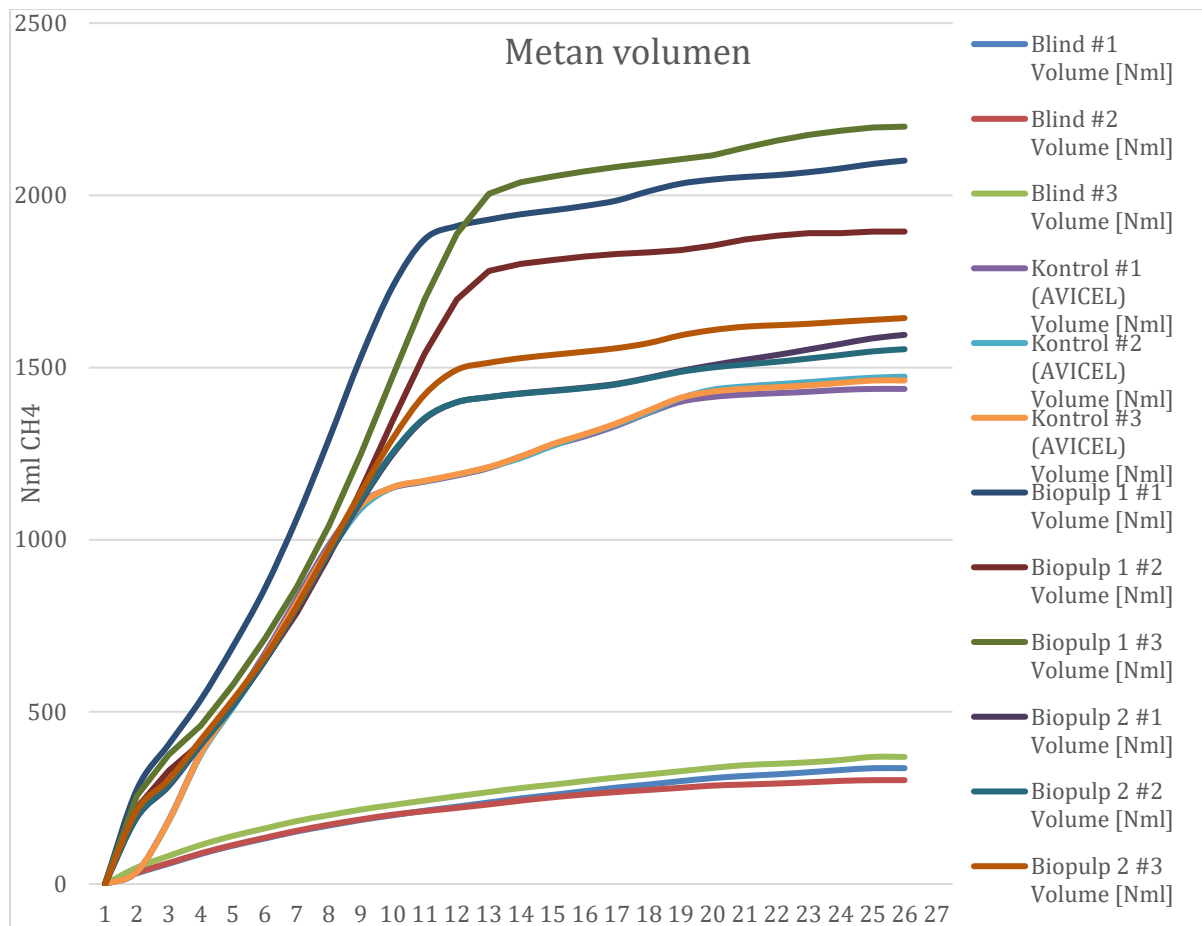


Figure 7 viser den akkumulerede metan produktion fra hver flaske over tid.

Kontrol

Kontrolprøverne er til for at undersøge om vores inokulum giver en fuldkommen forrådnelse. I udstyrs manualen kan vi se en BMP på 350 ml/gVS $\pm$ 29 ml/gVS i blind prøverne er ens betydende med en fuldkommen forrådnelse. Vi har udregnet BMP i vores blind prøver, se bilag 1.)

Kontrol BMP - 334.5 Nml/gVS

Dette betyder at vores forrådnelse bør være fuldkommen. Vores BMP for pulpen bør være korrekt.

Fosfor målinger

Afsnittet om fosformålingerne søger at fortælle os noget om hvor godt et gødnings middel vores produkt er, da fosfor indholdet har en del med dette at gøre. Vi måler total og uorganisk fosfor.

Total fosfor

Da fosfor er et vigtigt plantenærringstof har vi brugt fremgangsmåden beskrevet i forsøgsafsnittet til at måle det totale fosfor indhold i pulpen. Resultaterne for total fosfor er endt med at være lavere end de resultater vi senere målte på uorganisk fosfor. Vi har en gisning om at den for lave total fosfor skyldes at fosforen ved de 550 graders celsius kan have bundet sig på en vis som der ikke lader sig ekstrahere ved syre.

Eftersom vores totale fosfor resultater er forkerte har vi i samarbejde med Solrød Biogas sendt pulp til undersøgelse hos OK LABS. Vi bruger resultaterne fra OK LABS som total fosfor i vores udregninger. Se bilag 2. for fosfor udregninger. Se bilag 3. for OK LABS analyse.

Total fosfor af våd biopulp	0,65 kg/ton
Total fosfor af biopulp TS	3,93 kg/ton

Tabel 7 total fosfor a biopulp - OK labs

Uorganisk fosfor

Vi har undersøgt uorganisk fosfor. Vi har undersøgt dette da fosfors forskellige tilstandsformer har relevans for biomassens gødningsværdi. Vi har målt dette indhold i pulpen ved brug af fremgangsmåderne beskrevet i forsøgsafsnittet. Vi har udregne stor procentdel af henholdsvis tør og våd pulp der består af uorganisk fosfor. Se bilag 2. for fosfor udregninger.

Biopulp	Pulp1	Pulp2
Uorganisk fosfor af våd biopulp	0,38 kgP/ton	0,42 kgP/ton
Uorganisk fosfor af biopulp TS	2,67 kgP/ton	2,62 kgP/ton

Tabel 8 Indhold af uorganisk og plantetilgængelig fosfor i pulp1 og pulp 2

Vi har udregnet hvor stor en andel af den totale fosfor der udgøres af henholdsvis uorganisk og plantetilgængelig fosfor. Se bilag 2. for udregninger.

Biopulp	Pulp1	Pulp2
Uorganisk fosfor andel af total fosfor	67.9%	66.7%

Tabel 9 Den procent af total fosfor der udgøres af uorganisk.

Vi bruger et gennemsnit af resultaterne fra de to prøver som værende vores reelle indhold.

Nærringstof målinger fra OK Laboratorium for jordbrug

Vi har fra OK laboratorium modtaget en analyse test på vores pulp. Se bilag 3 for hele analyse testen.

Nærringsindhold i biopulp	
Tørstof %	16,53
Tot N kg/ton	5,36
Ammonium-N kg/ton	0,63
Fosfor kg/ton	0,65
Kalium kg/ton	1,83
Kobber g/ton	2,80
Magnesium g/ton	177
Svovl g/ton	390

Tabel 10 Viser nærringsindholdet af våd pulp. Modtaget fra OK LAB.

Diskussion

Gennem vores afgasningsforsøg har vi fundet frem til vores pulps BMP. Forsøget er lavet med en færdigkøbt forsøgsopstilling og efter forskrifterne i den medfølgende manual. Vi har afgaset pulp i to forskellige blandingsforhold hvorfra vi har fået forskellige resultater. Vi anser BMP fra pulp 2, altså blandingsforholdet en del pulp til tre dele inokulum, til at være det bedst repræsentative for vores pulp. Forskellen må skyldes et for højt indhold af pulp i pulp 1 prøverne. Da vores kontrol prøver var succesfulde finder vi vores resultater troværdige.

De nærringstofresultater vi har modtaget fra OK Labs finder vi troværdige da OK Labs som professionelt drevet firma har stor erfaring og er afhængige af at producere troværdige resultater der ikke er afvigende fra de resultater man ville modtage fra lignende firma. Vores organiske fosfor måling finder vi ikke lige så troværdig som målingerne modtaget fra OK Labs. Uanset troværdigheden af de enkelte undersøgelser vi har lavet på pulpen, så lider de alle sammen under en konsekvens af at være et øjebliksbillede. Kostvaner og dermed sammensætningen af pulp varierer i løbet af et år. Man kan for eksempel nemt forstille sig at fedt indholdet i KOD peaker hvert år i løbet af december. En fluktuering i den kemiske sammensætning af KOD vil have betydning for både metan potentialet og indholdet af plantenæringsstoffer. Vores undersøgelse er altså kun troværdig som et øjebliksbillede.

Vi har for at kunne beskrive potentialet for vores case område, fundet den årlige KOD produktion fra området, vi har fundet TS% i pulpen, men desværre kommer vores TS% i KOD ikke fra området, dette kombineret med at vores pulp undersøgelser er et øjebliksbillede, og reducerer dermed brugbarheden af vores resultater.

Dette problem kan dog mindskes, ved udregning på hvor meget pulp den årlige KOD produktion svare ved brug af TS% i KOD og den TS% i pulpen fra OK LABS.

Pulp TS = 16,53 %

KOD TS = 30 %

$30 / 16,53 = 1,81$

Altså bliver 1 ton KOD til 1,81 ton pulp.

Baseret på dette så svare de 126.986 ton KOD der produceres årligt i case området til; 229.845 ton pulp.

Baseret på alle de oplysninger vi nu har samlet, målt og udregnet kan vi opstille et skema, for hvor stort potentialet er for udvinding af metan og plantenærringstoffer fra KOD i case området. Se potentialet i Tabel 11 i konklusionen.

Konklusion

Vi har igennem vores projekt arbejde indsamlet data for kunne besvare vores problemformulering "Hvad er potentialerne for anvendelse af KOD til biogasproduktion i Hovedstads Regionen, med fokus på metan udbyttet og plantenærringstoffer?". Vi har valgt at besvare problemformuleringen ved at opstille et skema der med udgangspunkt i vores indsamlede data viser den i case området potentiale årlige produktion af KOD, pulp, metan og plantenærringstoffer.

Potentialer		
Hovedstads regionens potentielle årlige KOD.	126.986	ton
Pulp		
Pulp årlig	229.845	ton
Pulp TS	16,53	%
Metan		
metan potentiale	12.877.807	m ³
Plantenærringstoffer		
Total Nitrogen	681	ton
Ammonium	80	ton
Total Fosfor	83	ton
Uorganisk fosfor	51	ton
Kalium	232	ton
Magnesium	22	ton
Svovl	50	kg
Kobber	356	kg

Tabel 11 Skemaet viser hvad de årlige potentialer er for udvinding af metan og plantenærringstoffer fra KOD i case området.

Der dog tages en række forbehold ved brug af vores resultater. Vores resultater indeholder en række usikkerheder som følge af at alle målingerne er baseret på en pulp og der efterfølgende er blevet fundet en TS% i KOD fra en anden kilde som vi har brugt til at estimere hvor mange ton pulp den årlige KOD svare til og derefter udregnet vores slut resultater baseret på dette. Dette skaber en upræcighed i vores endelige resultater.

Der skal også tages forbehold at vores pulp ikke nødvendigvis er repræsentativ for hvordan man kan forvente pulpens gennemsnitlige sammensætning ser ud hen over et år. Der er ikke taget højde for udsving i pulpens sammensætning.

Perspektivering

Det ville være interessant at undersøge BMP og plantenærringstofindhold i pulpen løbende hen over et år for på den måde at kompensere for svingninger i pulpens sammensætning.

Det ville være interessant at undersøge hvor stor en andel af pulpens fosfor indhold der er plantetilgængelig.

Det ville være interessant at undersøge plantetilgængeligheden af næringsstoffer ændrer sig som følge af afgasningen.

Det ville være interessant at undersøge kulstofindholdet i pulpen da dette har betydning for hvordan brugen af den afgassede biomasse i landbruget stimulere vækst forholdende for jordorganismer som mykorrhiza svampe.

Det ville være interessant at lave undersøgelserne med en TS% specifikt knyttet til KOD fra Hovedstads Regionen, da man kan forstille sig at der er Regionelle forskelle på TS% i KOD.

Det ville være interessant at undersøge hvor stor en del af de danske energi behov der ville kunne dækkes med KOD baseret biogas.

Det ville være interessant at undersøge hvor stor en del af det danske gødningsbehov der ville kunne dækkes med biomasse fra KOD baseret biogas.

Litteraturliste

Bøger

Merriam, Sharan B. 1998, *Qualitative reasearch an casestudy applications in education*, Jossey-Bass Pblishers

Bradly, Nyle C. & Ray R. Weil, 2004, *The nature and properties of soil*, Fourteenth edition, PEARSON

Kvale, Steinar & Svend Brinkmann , 2008, *Interview - introduktion til at håndværk*, 2. udgave, Hans Reitzels forlag

Zumdahl, Steven S. & Donald J. Decoste, 2016. *Chemical Principles*, 8th. edition, Cengage Learning, Inc.

Raven, Peter H., Ray F. Evert & Susan E. Eichhorn, 2013. *Biology of plants*, W.H. Freeman and Company Publishers

Oplæg

Oplæg v/Brian Kornvang, forskningsprofessor, AU, 2018, *Hvad kan landbruget gøre? Kan fosfor udnyttes bedre og tabet reduceres?*, Økologiskråds årsmøde 2018

Oplæg v/Hansen, Rasmus Nør, 2017. Forbehandling af KOD, Biogaskonference, Roskilde universitet, Institut for mennesker og teknologi

Rapporter og afhandlinger

Gylling, Morten, Toke Radmar Lillethorup og Mikkel Vestby Jensen, 2016. Organisk affald - fre husholdninger og servicesektoren samt effekter af nuværende anvendelse, Københavns Universitet, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi (IFRO)

Hansen, Rasmus Nør, 2016. *Fra bioaffald til biogødning - En materialestrømsanalyse*, Roskilde universitet, Tek-Sam.

Kronvang, B (red.), Iversen, H.L., Jørgensen, J.O., Paulsen, I., Jensen, J.P., Conley, D., Ellermann, T., Laursen, K. D., Wiggers, L. Jørgensen, L.F. & Stockmarr, J. 2001: *Fosfor i jord og vand - udvikling, status og perspektiver*. Danmarks Miljøundersøgelser. 90 s - Faglig rapport fra DMU nr. 380.

Jørgensen, P.J. 2009. Biogas - grøn energi, ISBN 978-87-992243-1-3, Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.

Hansen, Rasmus Nør & Tyge Kjær, 2017. KOD Biogas i Roskilde - mulighed for udnyttelse af kildesorteret organisk husholdningsaffald, Roskilde universitet, institut for mennesker og teknologi, forskningsenhed Klima og Energi.

Forsøgsmanual:

AMPTS II & AMPTS II Light - Automatic Methane Potential Test System, 2016. Operation and Maintenance Manual, Bioprocess Control.

Websider og online artikler

Brinch-Petersen, Henrik. Seniorforsker, Danmarks JordbrugsForskning, Afdeling for Genetik og Bioteknologi, Forskningscenter Flakkebjerg, Biokemisk forening. 2006, Forfor i planter - ressource og miljøfaktor, <http://www.biokemi.org/biozoom/issues/510/articles/2221> [Besøgt 25-05-2018]

Energistyrelse, <https://ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/fakta-om-dansk-energi-klimapolitik/dansk-energi-politik> [Besøgt 25-05-2018]

Foreningen biogasbranchen. 2017, foreningen Biogasbranchen, www.biogasbranchen.dk/om-biogas/produktion [Besøgt 25-05-2018]

Vinther, Henrik. 2017, Mere end halvdelen af vores husholdningsaffald skal genanvendes i 2035, Ingeniøren, <https://ing.dk/artikel/mere-end-halvdelen-vores-husholdningsaffald-skal-genanvendes-2035-209563> [Besøgt 25-05-2018]

KU (Science), Plantenærringstoffer, https://www.science.ku.dk/oplevelscience/gymnasiet/undervisningsmaterialer/boeger/bog_mad-til-milliarder/filer/mtm_ipad_kap2.pdf [besøgt 25-05-18]

(KU (Science), Fosfor - fremtidens guld, https://www.science.ku.dk/oplevelscience/gymnasiet/undervisningsmaterialer/boeger/bog_mad-til-milliarder/filer/mtm_bog_kap5.pdf [besøgt 25-05-18]

Københavns Kommune, sortering af bioaffald i hus, <https://www.kk.dk/indhold/sortering-af-bioaffald-i-hus> [Besøgt 25-05-18]

Hede, Charlotte Broman. 2018. Dansk vindenergi satte rekord i 2017, *DTU Vindenergi, institut for Vindenergi*. <http://www.vindenergi.dtu.dk/nyheder/2018/01/dansk-vindenergi-satte-rekord-i-2017?id=b1f1badf-2825-4066-b27a-8be7ba4f084b> [Besøgt 25-05-18]

Godske, Bjørn. 2018. 2017 var rekordår for dansk vindenergi, *ingeniøren*. <https://ing.dk/artikel/2017-var-rekordaar-dansk-vindenergi-209683>. [Besøgt d. 25-05-18]

Solrød biogas, 2008. <http://solrodbiogas.dk/hvad-er-biogas/#teknikkenbag> [Besøgt d. 25-05-18]

Interviews

Interview med HCS d. 9/3-18

Interview med Solrød Biogas d. 9/3-18

Interview med Argo, Roskilde Forbrændingsanlæg, d. 17/4-18