SEGES

HVORDAN LÆSES BIOMASSENS GASUDBYTTE?

STØTTET AF
Promilleafgiftsfonden for landbrug

Beskrivelse af begreberne teoretisk, maximal udrådningspotentiale og praktisk gasudbytte

- Resumé/beskrivelse
- Indledning
- Biogassens sammensætning
- Biomassens sammensætning
- Beskrivelse af gasudbytterne inkl. eksempler
- Teoretisk
- Potentielt (B0) og praktisk
- Omregning mellem TS, VS og vådvægt
- Omregning fra metan til biogas som enhed
- COD - en anden måde at estimere gasudbyttet på
- Eksempler på gasudbytterne
- Opsamling

Til top

RESUME/BESKRIVELSE

Denne artikel har til formål at introducere læseren for de tre biogasbegreber: teoretisk, maximal udrådningsotentiale (B0) og praktisk udbytte gasudbytte.

Begreberne bliver forklaret teoretisk og suppleret med beregningseksempler.

Til top

INDLEDNING

Denne artikel er en del af projektet ”Det biobaserede samfund”, der har til formål at accelerere udviklingen af det biobaserede samfund, så landbruget snarest muligt kan få adgang til nye afsætningsmuligheder for deres producerede biomasser. Biogasområdet, er der stor fokus på, for blandt andet at fremme biogasudbyttet for biomasserne anvendt på biogasanlæg.

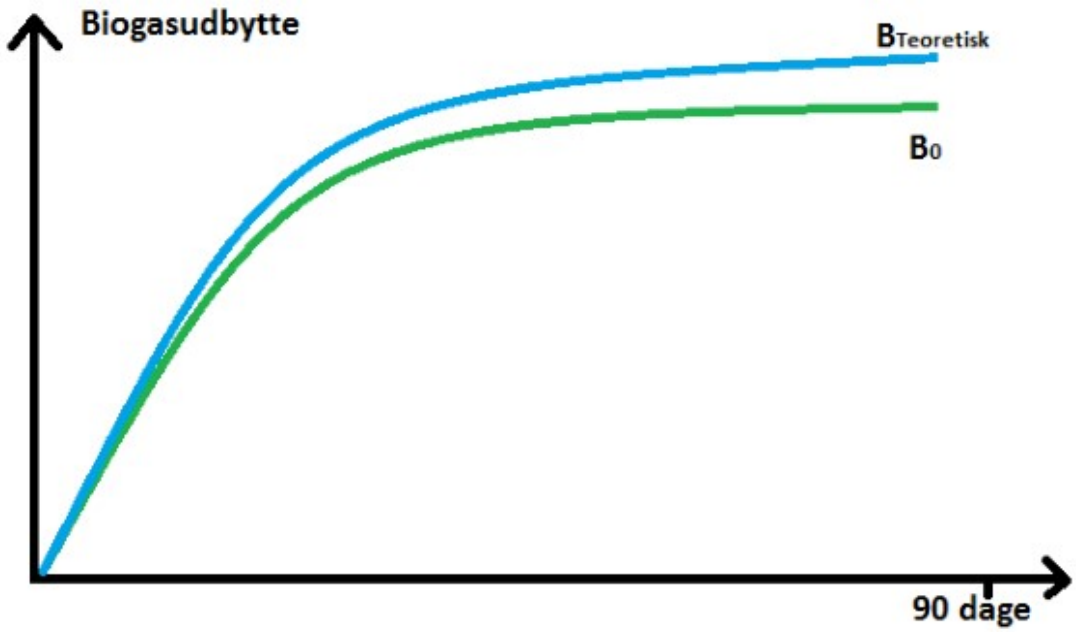
Helt grundlæggende er biomassen gasudbyttebaseret på, hvad biomasse indeholder, MEN derudover er der også en lang række andre forhold, der gør sig gældende, hvorvidt man opnår biomassens potentiale gasudbytte.

Denne artikel har til formål at introducere læseren for, hvordan man biogasudbyttes og give et fundament til forståelse af, hvordan biogasudbyttet kan påvirkes. Dette suppleret med den seneste viden indenfor området.

Biogasudbyttet af biomassen kan overordnet opdeles i:

- Teoretisk
- Maximal udrådningspotentiale (B0)
- Praktisk udbytte

Biogasudbytterne er illustreret på nedenstående figur 1. Den blå kurve er det teoretisk mulige, grøn B0 udbyttet, og det praktiske udbytte vil kunne aflæses på kurven for B0 ved en given opholdstid. Biomasser, der omsættes hurtig, vil have en stejl kurve.Modsat vil langsom omsatte biomasser have en knap så stejlkurve. Kurvens hældning vil også variere afhængig af blandt andet temperatur.



Figur 1: Illustration af biogasudbytte. Hvor det praktiske udbytte som udgangspunkt kan aflæses på baggrund af, hvor længe en given biomasse er i reaktoren (opholdstid).

Til top

BIOGASSEN SAMMENSÆTNING

Biogas består af metan (CH_4), kuldioxid (CO_2) samt en lille fraktion af øvrige stoffer på ca.1-2 % som hovedsagelig er svovl, ammoniak, vand og brint. Fordelingen af metan og CO_2 afgøres af, hvorledes biomassen bliver nedbrudt til biogas, hvilket igen afhænger af typen af biomasse. Normalvis udgør metan ca. 50-70 % af biogassen [1].

Man kan som tommelfingerregel sige at:

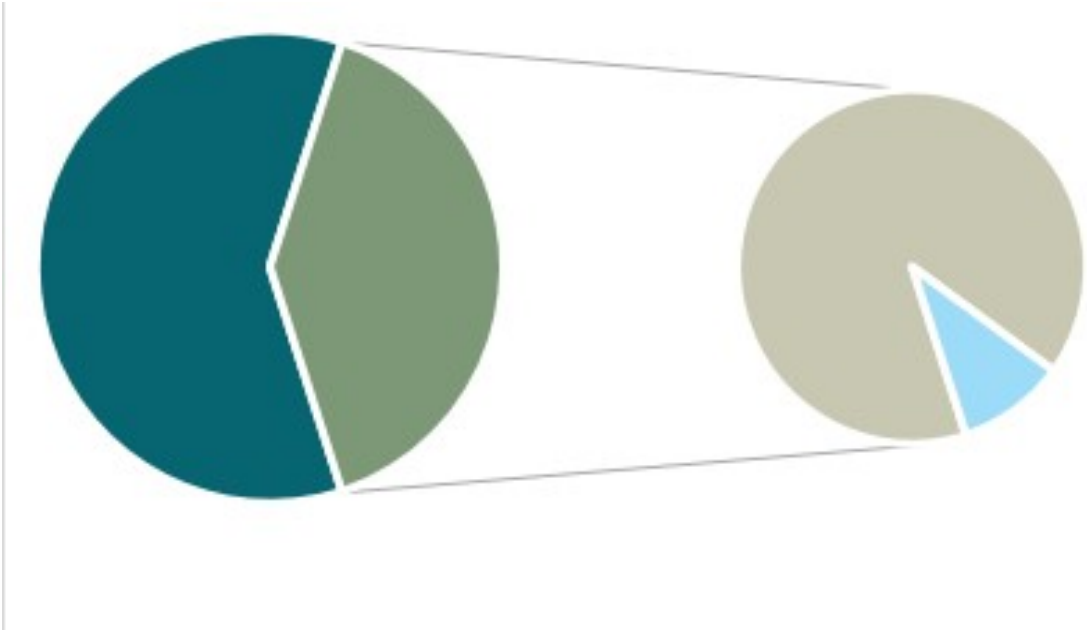
Biomasse med højt sukkerindhold har en relativ lav metan-procent på omkring 50 %, og biomasser med højt fedtindhold har en høj metanprocent på ca. 70 %, mens protein ligger midt i med ca. 64 % [1].

Ofte vil gasudbyttet være opgivet som et metanudbytte i forsøgsdata eller ved tabelopslag evt. med en oplyst metanprocent. Det tilskrives, at biogassens energiindhold og deraf gassens værdi ligger i metan-fraktionen.

Til top

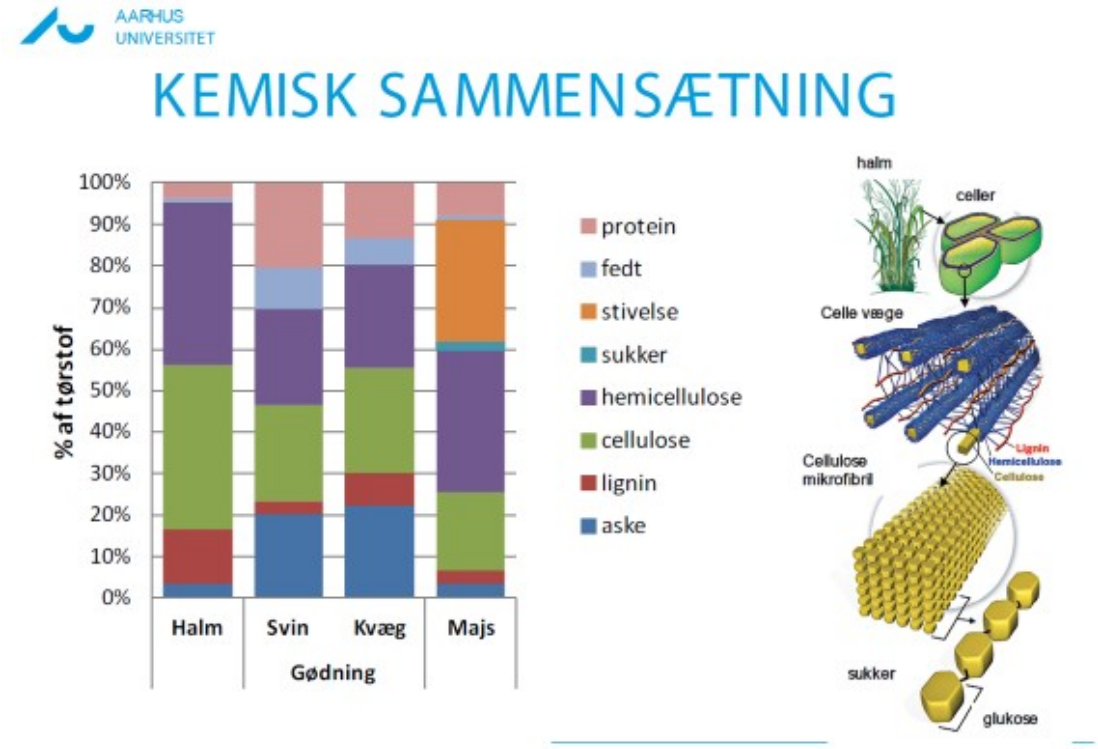
BIOMASSENS SAMMENSÆTNING

Figur 2 viser et eksempel på biomassens fordeling af tørstof(TS), organisk stof(VS), aske og væske, hvor tørstof består af aske og organisk stof.



Figur 2: Illustration af indholdet i biomasse. VS + Aske=TS

Biomasserne tørstof, der anvendes til biogasproduktion kan varier ned til nogle få procent til næsten 100 % tørstof. Samtidigt kan biomassens kemisk sammensætning og opbygning varier meget. Figur 3 viser et eksempel på variationen i 4 forskellige landbrugsbiomasser. Biomassernes tørstof varier desuden fra ca. 5-99 %, hvor gyllen har lavt TS og afgrøderne høj TS.



Figur 3: Kemisk sammensætning af forskellige biomasser. Illustration viser ligeledes, hvorledes svært nedbrydelig ligning er ”filtret” ind i halmen, hvilket er medvirkende til, at halm kan være svært at få nedbrudt [2].

Til top

BESKRIVELSE AF GASUDBYTTERNE INKL. EKSEMPLER

Teoretisk

Metanudbytte for en biomasse kan teoretisk beregnes vha. Bushwell-formlen[3]. Metoden er anvendelig, hvis man har en meget let omsættelig og ikke særlig kompleks biomasse, så som eksempelvis sprit og glycerin. Metoden er derfor ikke speciel egnet til landbrugsbiomasse som eksempelvis dybstrøelse og svinegylle, hvor man ikke kan forvente at hele biomassen omsættes, selvom molekylerne/"byggeklodserne" til biogas er tilstede. Dette gør sig eksempelvis gældende ved ubehandlet halm, hvor som vist på figur 3, at dele af biomassen er svær nedbrydelig og den let omsættelige dele af biomassen er "filtret ind i svær nedbrydelig biomasse[4].

$$C_nH_aO_b + \left(n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2}\right)H_2O \rightarrow \left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4}\right)CH_4 + \left(\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4}\right)CO_2$$

$$B_{u,th} = \frac{22{,}4 \cdot \left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4}\right)}{12 \cdot n + a + 16 \cdot b} = \frac{NlCH_4}{g\,VS}$$

Eksempel 1

Glycerin ($C_3H_8O_3$): Her beregnet som 95 % glycerin, hvor de øvrige % antages til at være urenheder, der ikke bidrager med gas.

$$C_3H_8O_3 + \left(3 - \frac{8}{4} - \frac{3}{2}\right)H_2O \rightarrow \left(\frac{3}{2} + \frac{8}{8} - \frac{3}{4}\right)CH_4 + \left(\frac{3}{2} - \frac{8}{8} + \frac{3}{4}\right)CO_2$$

$$B_{0,th} = \frac{22{,}4 \cdot \left(\frac{3}{2} + \frac{8}{8} - \frac{3}{4}\right)}{12 \cdot 3 + 8 + 16 \cdot 3} = 0{,}426\,\frac{NlCH_4}{g\,VS}$$

Det antages at tørstof udgør 100 % af biomasse, hvor 95% er VS og hele andelen af VS er glycerin.
Udbyttet: 0,95*426 l CH_4/g VS=0,405 l CH_4/g glycerin ->405 m³ CH_4/ton glycerin.
De resterende 5 % kan være svovl eller andre stoffer, der eventuelt kan have en hæmmede effekt på biogasudbyttet, hvorfor 405 m³ CH^4/ton glycerin er det maximale forventelig.

Indgår der også kvælstof (N) i biomasse tilføjes et ekstra led:

$$C_nH_aO_bN_c + \left(n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2} + \frac{3c}{4}\right)H_2O \rightarrow \left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4} - \frac{3c}{4}\right)CH_4 + \left(\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4} + \frac{3c}{8}\right)CO_2 + c \cdot NH_3$$

$$B_{u,th} = \frac{22{,}4 \cdot \left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4} - \frac{3c}{8}\right)}{12 \cdot n + a + 16 \cdot b + 14c} = \frac{NlCH_4}{g\,VS}$$

Til top

Potentielt (B0) og praktisk

Biogaspotentialet for en given biomasse estimeres typisk ved at udrådne biomasse ved en given temperatur i en forsøgsopsætning (batchudrådning), hvor gasproduktionen løbende måles, indtil der ikke længere kan måles en gasproduktion.

Der findes ingen standardmetoder til estimering af gaspotentialet. En af de metoder, der ofte anvendes er måling af gaspotentialet over en periode på 90 dage i en forsøgsopsætning, som vist på figur 4, hvor gassen aftappes og måles. Podematerialet er afgasset biomasse fra et fuldskalaanlæg. Det har vist sig, at resultatet kan variere afhængig af hvor meget podemateriale, opbevaring og valget af podemateriale, hvilket er en af flere grunde til af man kan finde varierende B0 værdier for samme biomasse [5].

Der er tale om en bacthudrådning, dvs. at der kun tilføres biomasse en gang i forsøgsperiode. Modsat kontinuerlige forsøg, hvor der løbende tilføres biomasse og udtages afgasset biomasse. På biogasanlæg vil der være kontinuerlig drift, men da forsøg med kontinuerlig drift er krævende, anvender man oftest batchudrådning. Batchudrådning giver en god indikation af forventet gasudbytte ved kontinuerlig drift. Det er ofte denne værdi, som man finder i tabelopslag, artikler eller tilsvarende.

Anvendelsen af resultaterne fra batchforsøg skal ses i lyset af, at udbyttet ved kontinuerlig drift påvirkes af forskellige faktorer. Eksempelvis vil der være risiko for at en del af biomassen ved kontinurlig drift har en kortere opholdstid, men modsat kan der være en synergieffekt ved udrådning af biomasse med andre biomasser [2, 6].

Figur 4: Foto af batchforsøg, hvor der testes halm [2]

Værdien omtalte som B90, det potentielle gasudbytte, max udbytte eller blot udbyttet. I og med at det B90 kan komme til at fremstå som det praktiske udbytte, skal man være opmærksom på, at det kun er gældende ved max udrådning.

På Figur 1 ses en illustration på en batchudrådning.

Eksempel 1:– Udrådning af kvæggylle og enggræs under mesofile forhold

Kvæggylle:

B90 aflæses til ca. 232 ml CH_4/gVS efter 90 dage svarende til 232 m^3 CH_4/ ton VS aflæst på Figur 4.

Antager man at anlægget har en opholdstid på 40 dage vil udbyttet være 215 ml CH_4/gVS svarende til 93 % omsætning af B90.

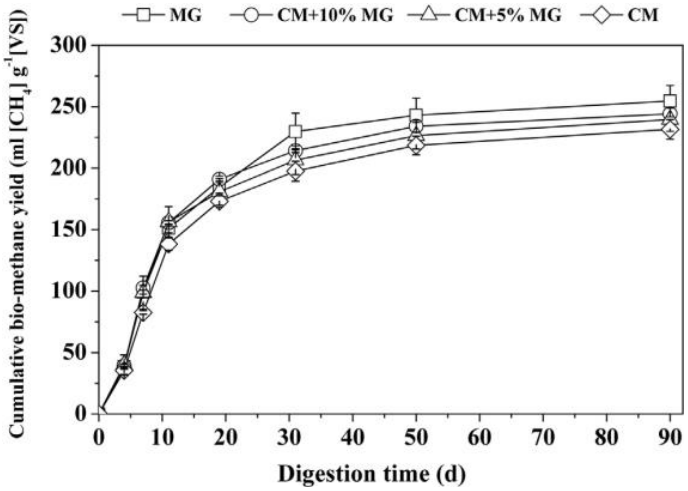
Enggræs:

B90 aflæses til ca. 255 ml CH_4/gVS efter 90 dage svarende til 255 m^3 CH_4/ ton VS af læst på

Figur 4.

Det er ofte denne værdi, som man kan finde i tabelopslag.

Antager man at anlægget har en opholdstid på 40 dage vil udbyttet være 240 mlCH_4/gVS svarende til 94 % omsætning af B90.



Figur 5: Batchudrådning for kvæggylle (CM), enggræs (MG) og kvæggylle med 10% og 20% enggræs udført ved 55 grader (termofil drift) [6].

Til top

Omregning mellem TS, VS og vådvægt

På Figur 4 er gasudbyttet opgjort i metan per VS, men i nogle tilfælde kan det være et ønske at have gasproduktionen oplyst i relation til den samlede biomasse (også kaldet våd vægt). Dette kan der være flere årsager til, men i nogle tilfælde vil mængde af gas i relation til mængden af biomasse kunne give et hurtigt estimat af gasmængden. Denne værdi vil altid have en vis usikkerhed, hvis den står alene uden VS indholdet.

Eksempel 2: – omregning af VS til vådvægt for kvæggylle og enggræs

Kvæg havde i eksempel et VS indhold på 7,5 % [6]. Et praktisk metanudbytte på 215 m^3 CH_4/ ton VS svarer til 16 m^3 CH_4/ ton kvæggylle.

Enggræs havde i eksempel et VS indhold på 68 % [6], Et praktisk metanudbytte på 240 m^3 CH_4/ ton VS svarer til163 m^3 CH_4/ ton enggræs.

Til top

Omregning fra metan til biogas som enhed

På Figur 5 er gasudbyttet opgjort i metan per VS, men i nogle tilfælde kan det være et ønske at have gasmængde oplyst som biogas. Dette kan der være årsager til, som eksempelvis

dimensionering eller forståelsesmæssig.

Eksempel 3: Beregning af biogasudbytte
Antages der et metan-indhold på 65 % for kvæggylle med et praktisk udbytte på 16 m^3 CH_4/ ton kvæggylle vil biogasudbyttet være 25 m^3 biogas/ ton kvæggylle.

Til top

COD – en anden måde at estimere gasudbyttet på

COD er et andet udtryk for hvor meget organisk stof, der er i biomassen. COD står for Chemical Oxygen Demand, som er et udtryk for iltmængden, der forbruges ved en fuldstændig oxidering af biomassen underaerobe forhold, og jo mere, der skal oxideres jo mere organisk materiale, er der i biomassen**.**

COD kan være svært at måle på ikke-homogene landbrugsbiomasser, hvorfor VS som regel anvendes. COD anvendes ofte for industrielle biomasser, og på renseanlæg er det en ofte anvendt enhed for slams biogaspotentiale [7].

I tilfælde af at man får oplyst mængden af COD i sin biomasse vil man kunne estimere gasudbyttet baseret på den teoretisk værdi 350 ml CH_4/g COD ->0,350 ml CH_4/g COD [1].

COD indholdet kan både være opgivet i forhold til den samlede biomasse, TS og VS.

Eksempel 4: Beregning af biogasudbytte på baggrund af COD
1000 kg Opkoncentreret primært slam med eksempelvis 1,75 kg COD/kg VS med et VS indhold på 40 % af TS med et TS på 4 % [8].

Beregning per 1000 kg slam:

VS: 1000 kg slam*4 %TS*40% VS/TS =16 kg VS

COD: 1,75 kg COD/kg VS * 16 kg VS =28 kg **COD**=28000 g COD

CH_4: 28000 g COD * 0,350 l CH_4/g COD =9.800 l= 9,8 m^3 CH_4

Samlet bidrager et ton slam med 9,8 m^3 CH_4

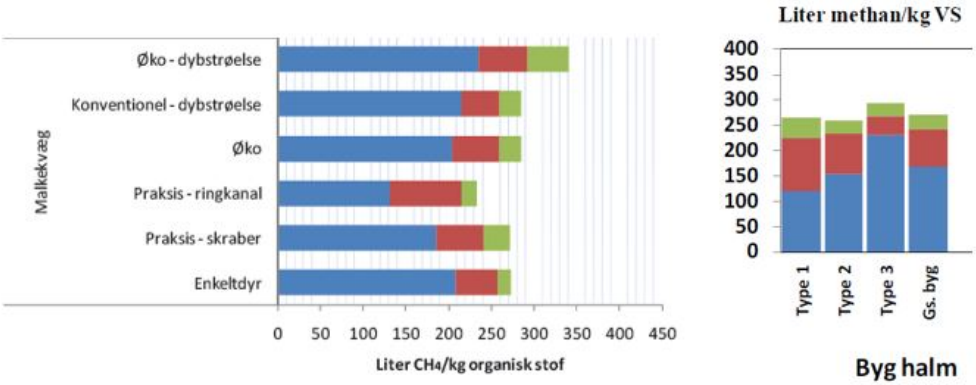
Til top

EKSEMPLER PÅ GASUDBYTTERNE

Gasudbytterne kan variere meget og for at give en forståelse af variationen, er der udarbejdet en oversigt med eksempler på metanudbytter (Tabel 1). Efterfølgende er vist en figur, som ligeledes illustrerer, hvordan biogasudbyttet kan variere indenfor en given biomasse.

Tabel 1. Eksempel på variationer i biomassernes metanudbyttet og tørstof (TS) [9].

Biomasse	m^3 CH_4/ton VS	TS %
Slagtesvin	250-403	3,3-6,6
Malkekvæg	150-290	7-9,5
Friske hele foderroer	268-400	28-34



Figur 6: Variation i metanudbytte indenfor samme biomasse (30,60 og 90 dages udrådning illustreret med henholdsvis blå, rød og grøn) [2,10]

Variationen i gasudbytterne kan tilskrives en lang række forhold. Nedenfor er oplistet nogle af de parametre, der har indflydelse på gasudbyttet, og som er medvirkende til, at gasudbyttet kan variere som anført i Tabel 1.

- Variationer inden for samme biomasse
- Opholdstid
- Samudrådning
- Temperatur
- Proceshæmning
- Forbehandling
- Høst
- Opbevaring

Til top

Opsamling

Gasudbyttet kan udbyttes som teoretisk, maximal udrådning (B90) og praktisk udbytte, hvilket man skal være opmærksom på, når man får oplyst et gasudbytte. Er man ikke opmærksom, kan man eksempelvis fejlagtigt komme til at vurdere en biomasses værdi på baggrund af maximale udrådningspotenieller (B90). Samtidigt skal man være opmærksom på, at der som nævnt er andre faktorer, der kan have en betydning for hvilket gasudbytte, der faktisk opnås.

[1] Jørgensen, P. J.& Forsker for en dag (institution), 2009, Biogas-grøn energi: Proces, anlæg, energiforsyningen, miljø, 2. udgave,/redaktion: Anna Busch Nielsen, Forsker for en dag, Tjele.

[2] Møller, H. B., 2012 PowerPoint præsentation, Århus universitet, Plantekongres 11. januar 2012.

[3]Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 802, 2003, Basisdokumentation for biogaspotentialet i organisk dagrenovation.dk.

[4] Abildgaard, L., 2012, Review over forbehandlingsmetoder til ligninrige biomasser, udgivet på Landbruginfo.

[5] Hernandez, VM, Al-Zohairi, Nawras & Møller, HB 2015, 'The impact of inoculum source, inoculum to substrate ratio and sample preservation on methane potential from different substrates' Biomass & Bioenergy, vol 83, pp. 474-482.

[6] Feng, L, Wahid, R, Ward, AJ & Møller, HB 2017, 'Anaerobic co-digestion of cattle manure and meadow grass: Effect of serial configurations of continuous stirred tank reactors (CSTRs)' Biosystems Engineering, vol 160, pp. 1-11.

[7] HedeDanmark, COD-kilder, https://www.ressourcegenanvendelse.dk/COD-kilder.11424.aspx , hjemmeside besøgt 16. november 17.

[8] Slagelse Forsyning A/S, Slagelse Kommune & EnviDan A/S, 2017, Håndbog i behandling af KOD biopulp på rådnetanke Kommunepuljen - Pulje til implementering af ressourcestrategien.

[9] NIRAS Faktaark biogas 2012 udarbejdet for Energinet.dk bilag til Faktaark biogas – Notat - Gård og fælles biogasanlæg.

[10] Møller, H. B.et al 2011, Sådan påvirkes gaspotentialet i gødning af staldsystem, fodring, separation og forbehandling, Henrik B. Møller et al, Plantekongres 2011.

Til top

© 2021 - SEGES Projektsitet