

# Ny teknologi til effektiv udnyttelse af enggræs i biogasreaktor

---

Projektafrapportering: ikke til offentliggørelse

*Henrik Egelund*

- Kverneland Group

*Peter Waldemar*

- Kverneland Group

*Kurt Hjort-Gregersen*

- Teknologisk Institut – AgroTech

*Jørgen Pedersen*

- Teknologisk Institut – AgroTech

*Henrik B. Møller*

- Aarhus Universitet

Februar 2018

# Forord

Nærværende rapport er projektrapporten for projektet Ny teknologi til effektiv udnyttelse af enggræs i biogasreaktor. Projektet er støttet af Energistyrelsen via. EUDP programmet.

Projektstøtten blev bevilget til Kverneland Group, som har gennemført projektet i samarbejde med følgende partnere: Teknologisk Institut – AgroTech, Århus Universitet, Danmarks Tekniske Universitet, FL Jord og Linkogas

Projektet omhandler en ny teknologi til samtidig høst og forbehandling af enggræs til biogasproduktion. Teknologien er fortsat under modning, og derfor kan nærværende rapport ikke offentliggøres.

**Skejby, februar 2018**  
**Kurt Hjort-Gregersen**  
**Teknologisk Institut – AgroTech**

## Contents

Baggrund .....	3
Formål.....	4
Indledning.....	5
Metode .....	6
Projektets aktiviteter .....	7
Aktiviteter i 2013-2014.....	7
Aktiviteter i 2014-2015.....	7
Aktiviteter i 2015-2016.....	8
Aktiviteter i 2016-2017.....	9
2. halvår 2016.....	9
1. halvår 2017.....	10
2. halvår 2017.....	10
Biogaspotentialemålinger i batch og kontinuerede forsøg.....	11
Fuldskala biogaspotentialebestemmelser i kontinuerede reaktorer.....	12
Høstkapacitet og energimålinger .....	17
Økonomikalkule.....	21
Konklusion på forsøgsaktiviteter .....	32
Status for teknologien .....	23
Gennemførte forsøg efter høst sæson 2017.....	30
Perspektiver for teknologien.....	31

## Baggrund

Biogasproduktion baseret alene på svinegylle er ikke rentabel på grund af lavt gasudbytte, hvorfor anlæggene tilsætter en betragtelig andel af andre biomasser med mål om at øge gasudbyttet. Organisk affald fra slagterier, fiskeindustri m.m. bidrager skønsmæssigt med 50-60 pct. af gasproduktionen som gennemsnit for de eksisterende anlæg. Ressourcerne af organisk affald er imidlertid næsten fuldt udnyttede nu. Den videre store udbygning af biogasanlæg som følge af energiforliget i 2012 afhænger derfor af, at der samtidig kan skabes økonomi i et ændret råvaregrundlag, hvor affaldsandelen erstattes af anden biomasse. Biogasproduktionsanlæg anvender derfor i væsentlig omfang energiafgrøder som nødvendigt supplement til en rentabel produktion, og det har betydet at betragtelige arealer som historisk set er udlagt til fødevarerproduktion i stedet anvendes til dyrkning af primært majs. Øget brug af majs og andre energiafgrøder som råvare kan resultere i, at miljø- og klimafordelen ved biogasproduktion reduceres eller helt bortfalder og dertil kommer at den massive dyrkning af majs fortrænger fødevarerproduktion og influerer negativt på biodiversiteten på dyrkede arealer.

Biogasanlæg kan som alternativt tilsætte naturplejebiomasse som supplement til svinegylle for at sikre tilstrækkeligt gasudbytte til rentabel drift. Enggræs og kløvergræs fra marginale og miljøfølsomme arealer kan med stor fordel indvindes til energi formål, da man via indvindingen fra nævnte arealer vil reducere udvaskningen af nitrat og fosfor betragteligt og ikke fortrænger fødevarerproduktion på dyrkede arealer.

Indvinding af biomasse fra marginale, enge eller miljøfølsomme arealer er med eksisterende teknologi kun rentabelt fra arealer som har en vis størrelse og et for den kategori af arealer højt udbytte samt er placeret forholdsvis tæt på biogasanlægget. Dette hænger til dels sammen med de initial- og håndteringsomkostninger der er forbundet med at høste og opsamle biomassen, samt at biomassen høstet med traditionelt udstyr og teknologi er uhomogen og som udgangspunkt ikke videre egnet til indføring i biogasanlæg.

## Formål

Projektet har til formål at udvikle og demonstrere efterbehandlingsteknologi, (excoriator = skræller skindet af) der udføres i forbindelse med høst af biomasse, fortrinsvis enggræs og kløvergræs, i en effektiv og rentabel proces på arealet, som resulterer i et højere nettoudbytte under den senere energi omsætning i et biogasanlæg. Teknologien vil gøre indvinding af biomasse ressourcer fra marginal og miljøfølsomme arealer omkostningseffektiv og reducere energitabet i værdikæden fra høstning til indføring i biogasreaktor og gøre det kommercielt attraktivt for lodsejere at sælge biomasse fra nuværende urentable arealer uden nogen komplikationer i forhold til klimafordelen eller fortrængning af arealer til fødevareproduktion.

## Indledning

Enggræs og kløvergræs er svært omsættelig biomasse og kræver en forbehandling, der sikrer en lettere omsætning af organisk stof, som øger fermenteringshastigheden i biogasreaktoren, og dermed større gasudbytte på kortere tid. Behandling før indføring i biogasreaktoren sker i dag sjældent, dog har enkelte anlæg opsat systemer som neddelere biomassen til en struktur hvor biomassens fibre og cellevægge åbnes i større eller mindre grad.

Integration af excoriation af biomassen i forbindelse med høstning på arealet, vil åbne for op for flere fordele set i værdikædeperspektiv. Fremrykning og integrering af excoriationsprocessen i høstningen vil udover reduktion af enkeltstående led i værdikæden, tillige genanvende allerede implementerede arbejdsgange og ressourceforbrug og dermed reducere det totale energi- og ressourcebehov. Endvidere er forudsætningerne for en hurtigere tørring af biomassen inden opsamling og dermed større tørstofindhold tilstede, da excoriationen vil forøge den overflade som eksponeres for sollys og vind markant. Således vil biomasse som er homogent behandlet med sigte på direkte indføring i biogasreaktor og med øget tørstofindhold repræsentere en råvare med højere værdi for lodejeren. På omkostnings siden er det vitalt at biomassen kan høstes, behandles og opsamles i en rationel proces og til lave omkostninger, og samtidigt, især på miljøfølsomme arealer, gennemføres skånsomt mod fauna og miljø. Ved indsætning af lettere maskiner som kapacitetsmæssigt er tilpasset det noget lavere biomasseudbytte man ser på denne type arealer, kan udstyret operere med øget fleksibilitet i forhold til løsninger som anvendes til intensiv drift. Høstenheder med excoriationsteknologi vil kunne skaleres til specifik arealanvendelse, hvor det er afgørende med mindre og lettere enheder til høstning i bløde og fugtige bundforhold og med et mindre energibehov som følge af moderat udbytte.

## Metode

Projektet er gennemført ved en trinvis udvikling af teknologien fra en ide til de første eksperimentelle afprøvninger af exoriatorteknologien i en stationær opstilling til flere versioner af enheden monteret på rammen fra en standard skårlægger som prototype. Efter hvert led i denne udvikling er teknologien blevet evalueret, hvorefter modificeringer og optimeringer er foretaget med henblik på eksperimenter i næste trin. De enkelte trin i denne udvikling er fulgt af methanpotentialebestemmelser udført af DTU eller AU. Derved er både de tekniske og visuelle erfaringer fra hver enkelt afprøvningstrin og behandlingens effekt på methanproduktionspotentialet taget i betragtning ved beslutning om hvilke tiltag og modificeringer næste trin skulle omfatte.

## Projektets aktiviteter

### Aktiviteter i 2013-2014

I 2013 blev der indsamlet viden om teknologier til forbehandling af græs til biogasproduktion. Der blev foretaget patentsøgninger, samt screening af markedet og videnskabelig litteratur. På denne baggrund blev en række teknologier udvalgt til afprøvning i lab-skala. Effekten af de forskellige teknologier blev målt i form af øget biogasudbyttet hos DTU. De mest lovende teknologier gav et øget biogasudbytte på 10-30 %. Disse resultater blev sidenhen verificeret i endnu en test, hvor teknologierne blev mekaniserede. På baggrund af en række parametre blev en teknologi udvalgt og i løbet af foråret og sommeren 2014 designet, produceret og optimeret. Denne pilotmaskine (excoriatoren) blev testet i løbet af september 2014, og det behandlede græs analyseret på DTU, samt i pilotskala hos AU-Foulum.

### Aktiviteter i 2014-2015

Hovedaktiviteterne i 2. halvår af 2014 har været marktest i september af den første fuldskala model af excoriatoren, analyse af data fra maskinmålingerne fra marktestene samt batchanalyse af effekten på biogaspotentialiet i excorieret græs. Marktest af excoriatoren (pilotmaskinen) blev gennemført ved at excoriatoren blev testet op i mod dels en såkaldt chopper, der hugger græsset af og delvist neddel det, samt en almindelig skårlægger. Chopperen er en velkendt maskine og var medtaget i testen som et alternativ til en maskine, der laver en forbehandling af græsset i forbindelse med høst af græsset. Græs fra skårlæggeren var repræsentant for græs, der er ubehandlet i forhold til græs høstet med chopper og excoriator. Effekten på methanudbytte som følge af forbehandling (excoriator og chopper) er målt i forhold til det ubehandlede græs. Methanudbyttet er målt ved batchanalyse (DTU) og i kontinuert udrådning (AU-Foulum). Test af indfødning og gasproduktion i biogasreaktor ved AU-Foulum er først gennemført i foråret 2015, hvilket er en forsinkelse i forhold til tidsplanen. Årsagen var manglende kapacitet på anlægget. Forsinkelsen har ikke haft konsekvenser for WP 6. Opbygning af den nykonstruerede pilotmaskine (WP6) er baseret på målinger og erfaringer fra marktest i efterår 2014. Ud over græs fra marktestene er der foretaget batchanalyse på ensileret græs, som blev høstet fra en fortest i juni 2014. Analyserne er udført af DTU, og de viste, at excorieret og ensileret græs gav 15% større methanudbytte end ubehandlet, ensileret græs, mens det excorierede græs fra septembertesten gav 18% mere methan sammenlignet med ubehandlet græs. DTU har i perioden publiceret 2 artikler med resultater fra batchforsøg med excorieret og ubehandlet biomasse i forskellige udviklingstrin, behandlingsprincipper og effekten af varierende strållængde fordeling. I 1. halvår af 2015 konstruerede Kverneland en ny og væsentligt forbedret udgave af excoriatoren. Erfaringerne fra september testen viste, at der skulle foretages en række konstruktive ændringer af maskinen for at sikre et tilfredsstillende flow af græs gennem maskinen samt for at opnå en lavere samlet vægt på maskinen. Denne nye udgave af excoriatoren var klar til marktest i sommeren 2015.



## Aktiviteter i 2015-2016

I juli og august blev der gennemført en grundig holdbarhedstest og kapacitetstest af excoriatoren i forbindelse med høst og bjærgning af 1200 rundballer græs (600 med excorieret græs og 600 med ubehandlet græs, høstet med skiveskårlægger). Testen af excoriatoren viste, at kapaciteten ikke er tilfredsstillende. Der er behov for at forbedre flowet af græsset gennem maskinen.

I forbindelse med holdbarheds- og kapacitetstesten blev der i juli 2015 udtaget prøver af græs til gaspotentialebestemmelse ved DTU. Prøveudtagningen blev udført på et areal, hvor både excoriatoren og referencemaskinen høstede græs. Hver af de to maskiner høstede 9 skår på arealet, og maskinerne kørte skiftevis skår ved skår. Der blev udtaget prøver af græsset fra alle 18 skår. Prøverne blev ensileret og derefter udrådnat ved DTU. Analysen viste, at der er en signifikant effekt af excoriatoren på methangasudbyttet fra dag 7 i udrådningen. Denne effekt holder sig helt frem til dag 29 med et maksimalt merudbytte på 30,8 mlCH<sub>4</sub>/gVS på dag 29, svarende til et merudbytte på ca. 10%.

I oktober 2015 blev der gennemført marktest af excoriatoren på et regulært græsmarksareal. Testen blev gennemført som et randomiseret blokdesign med fem blokke og fire behandlinger pr. blok. De fire behandlinger bestod af tre forskellige fremkørselshastigheder på excoriatoren (i.e. 4 km/t, 7,5 km/t og 11 km/t) samt referencemaskinen (skiveskårlægger) kørt ved 20 km/t. Der blev udtaget prøver af græsset, prøverne blev ensileret og efterfølgende udrådnat ved DTU. Testen viste en række meget interessante resultater:

- 7,5 km/t og 11 km/t gav fra dag 4 til dag 29 signifikant merudbytte i methan
- Fra dag 7 til dag 30 gav excoriator konsistent stigende merudbytte med stigende hastighed
- merudbyttet i methan stiger signifikant lineært med hastigheden
- Excoriator øger methanudbyttet med op til 17,5% ved 11 km/t (dag 15)
- Størst effekt af hastigheden ligger dag 13-16 – her var merudbyttet 4,2 ml CH<sub>4</sub>/g VS pr. km/t
- Testen peger på potentiale til større merudbytte ved højere hastighed

Testen udbyggede endvidere erfaringerne fra sommertesten vedr. den utilfredsstillende kapacitet og problemerne med flow og blokeringer af græs i maskinen. Der er således behov for tilpasninger af maskinkonstruktionen. Problempunkterne blev identificeret. Konklusionen efter halvårets tests er, at der er behov for nye tilretninger.

Ved AU-Foulum er der gennemført test på græs, som er bjærget ved excoriator testen i juli-august. Testen omfattede indfødning og omrøring af excorieret græs og ubehandlet græs. AU-Foulum fandt, at der ikke er forskel i elforbrug til reaktoromrøring mellem excorieret græs og ubehandlet græs.

I første halvår af 2016 er der gennemført planlægning og fuldskala test på Linkogas biogasanlæg (WP7). Denne test er ikke gået som forventet, da der har været en række udfordringer, især med hensyn til indfødning af græsset i reaktortankene. På Linkogas er testen foregået i tre reaktortanke samtidigt:

- Reaktortank 1: Ingen græs
- Reaktortank 2: Ubehandlet græs
- Reaktortank 3: Excorieret græs.

De tre reaktortanke er i testen tilført samme råmateriale med undtagelse af tilførslen af græs, som angivet. På denne måde vil det i princippet være muligt at se, dels om græs har en effekt, dels om der er forskel mellem excorieret græs og ubehandlet græs. I testen er der målt methanudbytte. På grund af problemer med indfødning og på grund af travlhed på Linkogas biogasanlæg er der over en periode på 2 måneder kun anvendt ca. 70 rundballer af hver slags, mod planlagt ca. 600 baller af hver slags. Indfødningen af græsballer i reaktortanke har været meget ustabil og ikke på et tilstrækkeligt niveau antalsmæssigt. Dataene fra methanmålingerne viser ingen forskel mellem de tre reaktorer. Mængden af indfødnet græs i de to reaktorer (nr. 2 og nr. 3) har været for lille til at det har haft nogen effekt på metanproduktionen i forhold til at metanproduktionen i reaktor 1. Der er tillige heller ikke forskel i metanproduktionen mellem reaktor 2 og reaktor 3.

På baggrund af det utilfredsstillende testforløb ved Linkogas blev det besluttet at anmode om at forlænge projektperioden, med henblik på i andet halvår af 2016 at gennemføre nye test med excoriatoren, som er blevet forbedret betydeligt siden testen i andet halvår af 2015.

### Aktiviteter i 2016-2017

#### 2. halvår 2016.

Hovedaktiviteten var høst af græs med den opdaterede maskine, der blev foretaget i en konventionel græsmark beliggende på Åbøllingvej lige nord for Kongeåren i Vejen kommune. Arealet drives af Gdr. Torben Clausen. Der var tale om en almindelig græsmark i omdrift, der efterfølgende skal ompløjes. Høstdatoen var d. 27. oktober. Der blev høstet med excoriatoren og en Kverneland referencemaskine ved to hastigheder, 4 hhv. 6 km/time.

Formålet med at vælge denne marktype var at teste excoriatorens drift når der var et stort lag græs på marken. Betingelserne for maskinen var ikke optimale, eftersom det sene høsttidspunkt medførte at græsset var fugtigt. Der blev høstet i 5 blokke a fire skår, dvs i alt 20 skår, 10 med hver maskine og med forskellig kørehastighed, således at der blev i alt 20 prøvemuligheder. Der blev indsamlet prøver fra dem alle 20. Erfaringerne fra dagens høst var, at en del af problemerne fra den forrige maskinversion var løst, men at det fortsat er problemer med at få et jævnt flow gennem maskinen, hvilket ofte medførte tilstopning, når der kom en stor klump. Dette kan formentlig tildels tilskrives at græsset var så vådt. Under de forhold, der var gældende på denne dag fungerede maskinen ikke optimalt. Der blev indsamlet prøver samme dag fra alle skårene og fyldt i klare plastik sække. Disse blev næste morgen afhentet og transporteret til AgroTechs forsøgsfaciliteter i Skejby. Her blev der af de 20 prøvesække vakuum pakket 80 ensilageprøver, dvs. 4 gentagelser af hver af de 20 prøver. Ensilageprøverne blev herefter henlagt til ensilering forud for forsendelse til DTU, hvor der i 2017 foretages gaspotentialebestemmelser. Herefter blev ballerne kørt til vejning på en brovægt. Her viste der sig at være betydelig forskel på ballevægten idet baller med græs høstet med excoriatoren vejede 960 kg, hvorimod de konventionelt høstede baller kun vejede 880 kg. Dette kan have to forklaringer, dels at den fysiske behandling i excoriatoren blødgør græsset, så det lettere kan presse, dels at der åbnes for fordampning af vand.

Den 19. december blev der afholdt et projektmøde hos AgroTech i Skejby. Projektdeltagerne fra DTU og Kverneland Group deltog på skype.

### 1. halvår 2017.

Primo januar 2017 blev ensilageposerne sendt til DTU. Her blev der gennemført biogaspotentialer bestemmelser på græs fra høst med excoriator og reference maskine fortaget i oktober 2016.

Der er ikke fundet nævneværdig forskel på resultaterne som følge af forskellig kørselshastighed med excoriatoren. Forklaringen må her være den at behandlingen i maskinen under alle omstændigheder er ganske effektiv. Referencemaskinen synes derimod at være mest effektiv ved den høje hastighed, sandsynligvis fordi den er designet og optimeret til højere hastigheder.

De fundne værdier for excoriatoren er ca. 10 % højere end referencemaskinen.

Hen over foråret foretog Kverneland Group A/S flere tiltag for at optimere maskinen til høsten i 2017, der foregik i Nørådalen nordvest for Randers d. 26. og 27. juni. Der blev i alt høstet ca. 6 ha, og skønsmæssigt 30 ton græs, som det er aftalt skal testes for gaspotentialer i kontinuerede forsøg på forskningsbiogasanlægget i Foulum.

Undervejs blev der justeret på maskinen, bl.a. monteredes kastevinger for at øge flowet over skærebordet og dermed gennem maskinen. Kapaciteten er dog endnu ikke tilfredsstillende, på trods af de gennemførte ændringer og indstillinger. Da såvel underlag som afgrøde ikke er sammenligneligt for de gennemførte tests i 2016 og 2017, kan disse ikke holdes op 1:1 mod hinanden. Det er dog sikkert at maskinen i 2017 blev mere robust overfor tilstopninger og det var her muligt at producere med maskinen kontinuert uden stop, om end dette var ved en lav hastighed. Ligeledes er det, set ud fra beskaffenheden af afgrøderne, tydeligt at maskinens kapacitet er blevet markant forbedret. Dog findes der ikke klare tal for dette, da der ikke er forsøgt i 2017 med afgrøder og underlag af samme beskaffenhed som i 2016. De foretagne justeringer mindskede betydeligt antallet af stop, selv ved højere hastigheder end de anførte 4 km/t, dog var kontinuerlig drift ikke muligt ved hastigheder over 4 km/t udelukkende pga. stor forskel i afgrøde volumen i marken. De foretagne forbedringer så tilsyneladende ud til at have forbedret behandlingsgraden, da det blev besluttet, at det ikke var nødvendigt at snitte græsset ved presning.

I løbet af forår og sommer af 2017 blev der gjort forskellige forsøg på at afsætte de resterende baller fra 2015 høsten, som Linkogas opgav at få ind i anlægget. Hele tre biogasanlæg forsøgte sig med dem, men opgav alle fordi de ikke havde den rette teknologi til at neddele ballerne og heller ikke kunne afse den tid der var nødvendigt for at gøre det. Dette til trods for at Kverneland Group stillede en balleoprøver til rådighed.

### 2. halvår 2017

Den meget regnfulde sommer og efterår 2017 bevirkede, at ballerne fra junihøsten 2017 kun i meget beskedent omfang kunne bjerges og leveres til Foulum, hvor de efter planen skulle anvendes til biogasproduktion i en kontinuert proces. Det blev derfor aftalt, at juniballerne skulle suppleres med de gamle baller fra 2015. Disse forsøg blev gennemført i efteråret 2017.

Endelig gennemførte Kverneland Group en test med en excoriatormaskine, hvor skærebordet var erstattet med en pick up for at undersøge hvordan maskinen fungerer med en et mere jævnt flow af materiale. Dette forsøg faldt ud med positivt resultat, som der kan bygges videre på.

## Biogaspotentialmålinger i batch og kontinuerede forsøg

Der er løbende gennem hele projektperioden gennemført biogaspotentialforsøg fra det behandlede græs ved de forskellige stadier af excoriator teknologien.

Forsøg nr.	Dato for behandling af materiale	Metode	Methanudbytte ubehandlet NLCH4/kg VS	Methanudbytte behandlet NLCH4/kg VS	Stigning %	Testtype	Institution
1	10-12-2013	Batch	341	467	37	Lab	DTU
2	12-02-2014	Batch	302	377	25	Lab	DTU
3	10-04-2014	Batch	304	387	27	Lab	DTU
4	11-06-2014	Batch	309	355	15	Lab	DTU
5	16-09-2014	Batch	292	346	20	Mark	DTU
6	16-09-2014	Kontinuert	163	214	31	Mark	AU
7	15-07-2015	Batch	308	338	10	Mark	DTU
8	14-10-2015	Batch	326	358	10	Mark	DTU
9	01-03-2016	Kontinuert	-	-	-	Mark	Linkogas 1)
10	27-10-2016	Batch	274	299	9	Mark	DTU
11	26-06-2017	Kontinuert	-	-	-	Mark	AU 2)

Tabel 1

- 1) Forsøget blev opgivet pga. tekniske vanskeligheder
- 2) Forsøget blev gennemført men mislykkedes på grund af det meget våde efterår i den forstand at excorieringen sandsynligvis har fremskyndet nedbrydningen af organisk stof i afgrøden.

Det fremgår af tabel 1, at merudbyttet som følge af excorieringen varierer fra 9 – 37 %. Hertil kommer, at gassen frigives hurtigere fra det excorierede græs end det ubehandlede. Det har betydning for den opholdstid, der er nødvendig i biogasanlægget, så den passer bedre med udrådningstiden på de øvrige biomasser der anvendes, hvilket medfører en øget kapacitetsudnyttelse i anlægget. De meget høje merudbytter i de første tests med forskellige udgaver af stationære testmaskiner synes at være vanskeligt at eftervise med de prototyper af markmaskinen, som har været anvendt. Det er ikke umiddelbart klart hvad årsagen hertil kan være, men måske det større flow gennem maskinen medfører en lidt mindre mekanisk påvirkning af græsset under behandlingen. Omvendt er der visuelt markant forskel på det behandlede og ubehandlede materiale i marken. Under alle omstændigheder må det være muligt at optimere dette i den endelige udformning af maskinen.

## Lab- og fuldskala biogaspotentialbestemmelser i kontinuerte reaktorer

Der er udført biogas forsøg med anvendelse af græs der er høstet med hhv. excoriator og skiveslåmaskine i kontinuerte 30 m<sup>3</sup> reaktorer der er kørt parallelt. I perioden 30/10-2017 til 16/12-2017 blev reaktorerne tilført en basis last af kvæggylle og der blev 3-4 gange ugentligt tilført enggræs der var excorieret til den ene reaktor medens den anden reaktor modtog reference græs høstet med traditionelt udstyr.

Tørstofindholdet i de to typer græs og gyllen samt det afgassede materiale fremgår af diagram 1 og 2. Det fremgår at tørstofindholdet har været stabilt i kvæggyllen medens det har varieret mellem 51 og 82% i græsset.

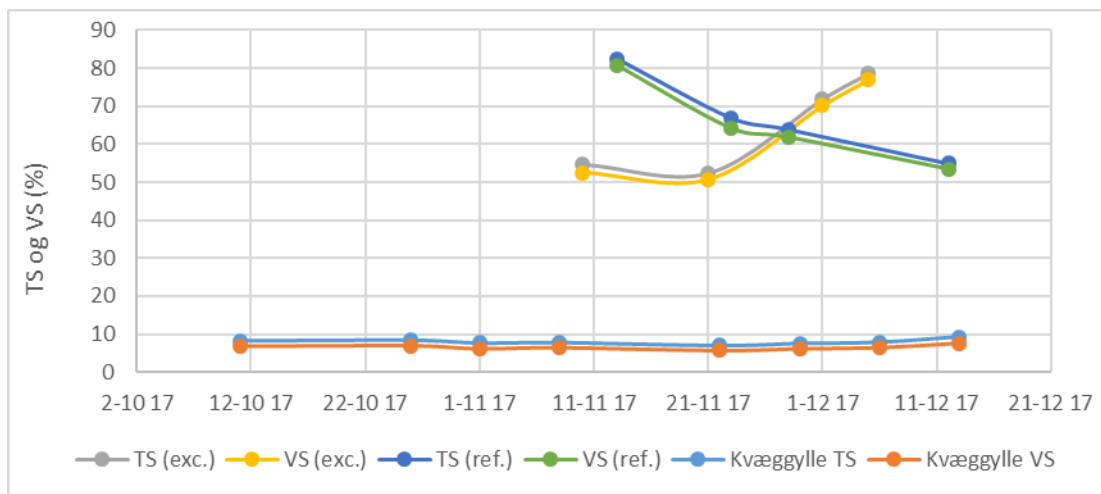


Diagram 1: Tørstof og organisk tørstof i gylle og græs i forsøgs perioden.

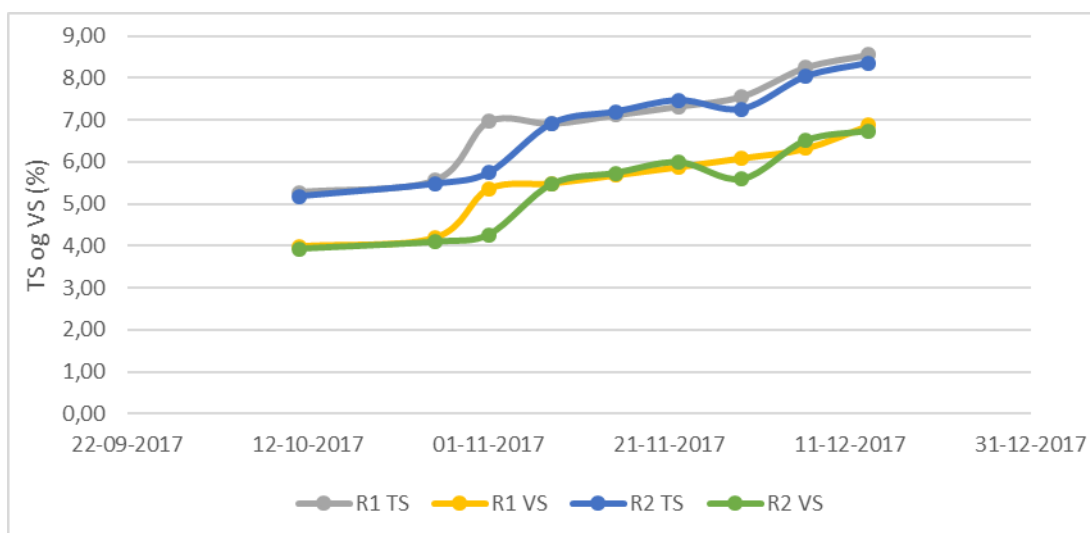


Diagram 2: Tørstof og organisk tørstof i reaktorerne gennem forsøgsperioden. R1 fik tilført excorieret græs medens R2 fik tilført traditionelt høstet græs

Tørstofindholdet i reaktorerne har været stigende gennem forsøgsperioden fra ca. 5,1% til 8,5% i slutningen af perioden og udviklingen i tørstofindhold har været stort set ens i de 2 reaktorer. Gasproduktionen og biomasse dosering er vist i diagram 3.

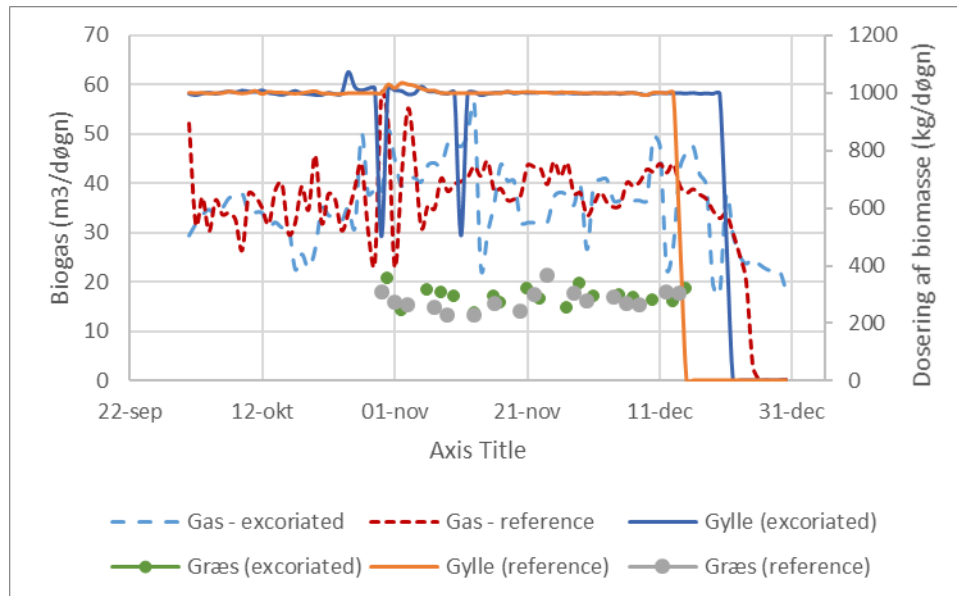


Diagram 3: Gasproduktion og biomasse dosering i forsøgsperioden.

Gasproduktionen stiger efter at græsdosering startes op ultimo 28/10 og øges således fra 33,5 til 39,4 m<sup>3</sup>/døgn i reaktor med excorieret græs og fra 36 til 39,5 i reaktor med reference græs. I tabel 2 fremgår det at gasudbyttet per kg organiske stof i perioden med græstilsætning er lavere i reaktoren der tilføres excorieret græs (172,9 L CH<sub>4</sub>/kg VS) end i reaktor med reference græs (188,6 L CH<sub>4</sub>/kg VS) og det har således ikke været muligt at eftervise en positiv effekt af excoriering.

Tabel 2: Dosering af organisk stof og gasproduktion

Reaktor	Periode	VS dosering	Gas	Gas	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>
		kg/dag	m <sup>3</sup> /dag	L/kg VS	%	L/kg VS
R1_gylle	1/10-28/10	64,1	33,5	521,9	58,4	304,8
R1_Excorieret	28/10-16/12	129,7	39,4	303,8	56,9	172,9
R2_gylle	1/10-28/10	81,6	36,0	440,8	58,4	257,4
R2_Reference	28/10-16/12	118,6	39,5	333,2	56,6	188,6

Indholdet af flygtige fede syrer (VFA) har været målt i forsøgsperioden og processen har i hele forsøget forløbet stabilt men med et stigende indhold af VFA mod slutningen. Dette vises i diagram 4.

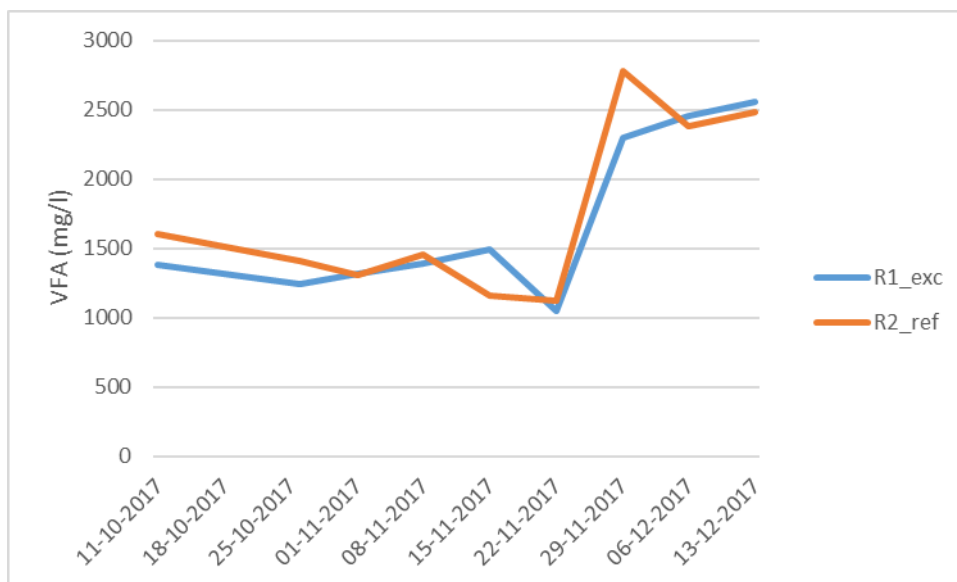


Diagram 4: Indhold af flygtige fede syrer i de 2 reaktorer.

Elforbruget til omrøring blev målt i de 2 reaktorer i forsøgsperioden (Diagram 5). Efter opstart med tilsætning af græs stiger elforbruget fra ca. 7 kwh/døgn til 15-25 kwh/døgn. Elforbruget er i samme størrelsesorden i begge reaktorer men mod slutningen af forsøget er der observeret et højere elforbrug i reaktor med excorieret græs.

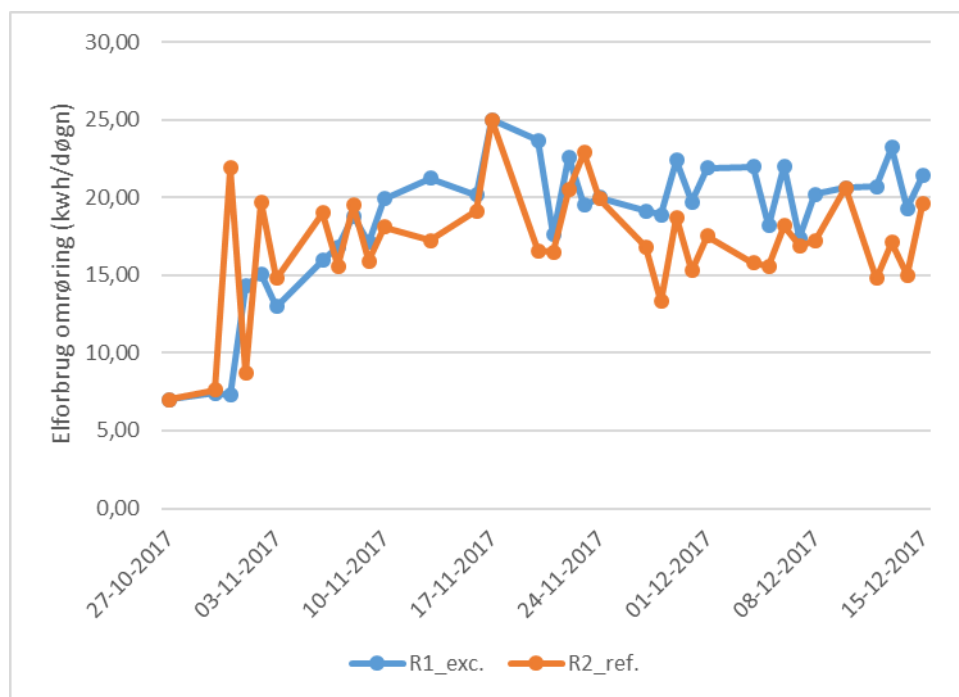


Diagram 5: El forbrug til omrøring i de 2 reaktorer.



Samtidigt med de kontinuerte forsøg er der igangsat en test til bestemmelse af biogas potentialet i 2 prøver af hhv. skiveskårlagt græs og græs der er høstet med excoriator. Denne test har vist at gaspotentialet i græs høstet med skiveslåmaskine er højere end ved excoriering.

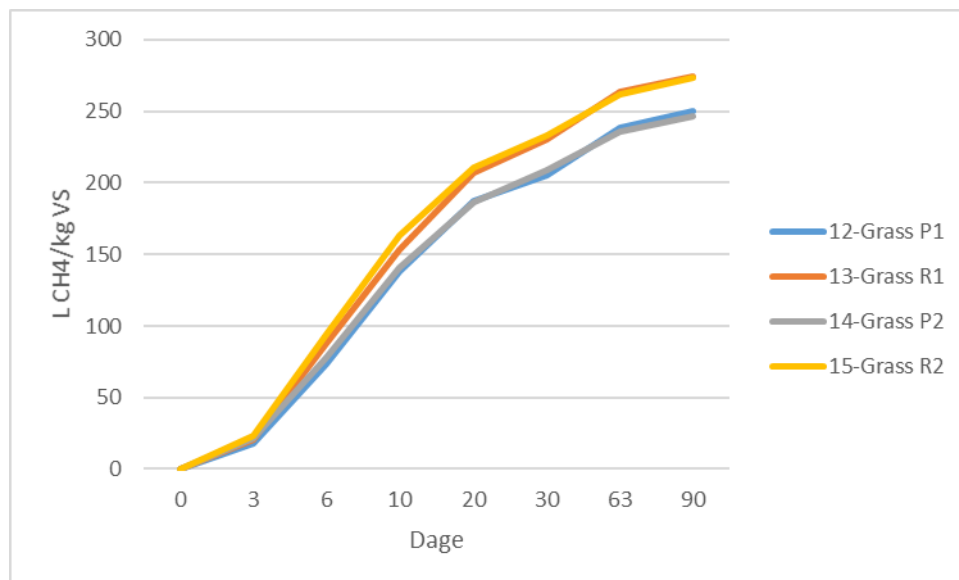


Diagram 6: Batch forsøg til bestemmelse af biogaspotentialer i reference græs (R1 og R2) og i excorieret græs (P1 og P2).

Samlet kan det konkluderes at det i de afsluttende fuldskala- og batchforsøg ikke har været muligt at eftervise den positive effekt af excoriering, der har været observeret i de øvrige undersøgelser i projektet. Forklaringen herpå skal sandsynligvis findes i de særdeles vanskelige høst og bjærgningsbetingelser, der gjorde sig gældende i sommeren 2017. Det lykkedes ganske vist at høste græsset i tørvejr. Men med udsigt til regnvejr i dagene derefter blev det valgt at lade landmanden, der stod for høst og bjærgning at presse rundballerne med sit eget udstyr, i håb om at tørstofindholdet var højt nok til at wrapning af ballerne kunne undværes. Den våde sommer medførte endvidere, at bjærgning af flertallet af ballerne ikke kunne foretages før langt hen på efteråret, men blev liggende på marken i det våde vejr. Der er derfor sandsynligvis sket det at nedbrydningen af græsset er påbegyndt, som ikke har kunnet ensilere eftersom ballerne jo ikke var blevet wrappet. Og her kan det have spillet en rolle at nedbrydningen kan være forøget i det excorierede græs, som derved har været udsat for et større tørstof-tab end det ubehandlede græs. Dette burde så vise ved at askeindholdet i det excorierede græs var højere end i det ubehandlede græs, men det synes ikke at være tilfældet, og det kan således ikke støtte ovennævnte forklaring, som ikke desto mindre er det bedste bud.

## Høstkapacitet og energimålinger

Der blev under flere af mark testene foretaget målinger af energiforbruget ved høst med excoriatoren og en tilsvarende standardskårlægger.

Resultaterne nedenfor er fra målinger foretaget på fyn d. 25-09-2014. Det var kendetegnende for målingerne, at der var stor variation. Det skyldtes dels den relativt korte mark, der blev høstet og dels, at der var lidt flow-problemer igennem maskinen (funktionsmodel). Derfor er det valgt at betragte specifikke udsnit i de enkelte målinger, frem for at analysere de komplette målinger, så målingerne repræsenterer reelle skår.

Der vises resultater fra 4 udsnit af målinger. De 4 udsnit er valgt ud fra 2 målinger, én med forsøgsmaskinen Excoriator og én med standardmaskinen 4332 LT. Der er valgt 2 udsnit med ca. 6 km/t hastighed og 2 udsnit med ca. 9,5 km/t hastighed. Tabel 3 viser det momentale kraftforbrug.

Måling -udsnit nr.	D11-1	D11-2	D13-1	D13-2
Maskine	Excoriator		4332 LT	
Hastighed	6	9,4	6,2	9,5
P_pto [kW] (inkl. P_excor)	51,3	59,4	33	29,7
P_Hydr_effekt [kW]	10,6	8,9	0	0
P_excor [kW]	16,4	22,7	0	0
P_Pto+P_hydr [kW] (komplet maskine)	61,9	68,3	33	29,7

Tabel 3

Af tabel 3 kan den hydrauliske effekt afsat i hydraulik-pumpen for fødevalsen på excoriator-maskinen aflæses. På standardmaskinen er der ingen pumpe, derfor er værdien 0 angivet. Effekten er beregnet ud fra trykfald over motoren sammen med olieflow. Der er tab i hydraulikmotoren (hydraulisk virkningsgrad mindre end 1), så det reelle forbrug af fødevalsen er mindre, end værdien angivet i tabel 3, hvis trækket af fødevalsen ændres til et effektivt mekanisk træk.

Effekt målt for excoriatorvalsen måles direkte på stålakslen, så her er intet tab inkluderet de målte værdier.

Ved mekanisk transmission vurderes det, at effekten for fødevalsen vil kunne halveres til ca. 4-6 kW.

I disse målinger er kraftforbruget således ca. faktor 2 ved excoriatoren ifht. standardmaskinen.

I oktober 2015 blev der under marktest på et engareal i Sønderjylland ligeledes foretaget målinger af energiforbruget på de to maskiner. Målingerne blev gennemført for 3 hastigheder ved høst med excoriatoren hhv. ved 4, 7,5 og 11 km/t og ved referencemaskinen på 20 km/t. Tabel 4 viser det momentale kraftforbrug og forbruget pr. ha.

	Skår	Beskrivelse	t_start (s)	t_end (s)	P_avg (kW)	V_avg (km/h)	E_30m (kJ)	E/Ha (kJ/Ha)	E/Ha (kWh/Ha)
Blok 1	1	Hast. 2	46	60,4	50,3	7,5	724,3	80480	22,4
	2	Hast. 3	36	45,8	52,2	11	511,6	56840	15,8
	3	Hast. 1	26	53	28,3	4	764,1	84900	23,6
	4	Ref.	34	39,3	43,4	19,9	230,0	25558	7,1
Blok 2	5	Hast. 1	27	54	29,1	4	785,7	87300	24,3
	6	Ref.	28	33,3	42,9	19,9	227,4	25263	7,0
	7	Hast. 2	33	47,4	32,3	7,5	465,1	51680	14,4
	8	Hast. 3	29	38,8	39,4	11	386,1	42902	11,9
Blok 3	9	Hast. 3	28	37,8	39,0	11	382,2	42467	11,8
	10	Ref.	30	35,3	41,9	20	222,1	24674	6,9
	11	Hast. 2	25	39,4	33,1	7,6	476,6	52960	14,7
	12	Hast. 1	31	58	23,9	4	645,3	71700	19,9
Blok 4	13	Hast. 2	33	47,4	30,9	7,5	445,0	49440	13,7
	14	Hast. 1	30	57	23,9	4	645,3	71700	19,9
	15	Ref.	29	34,3	37,4	20	198,2	22024	6,1
	16	Hast. 3	32	41,8	39,8	11	390,0	43338	12,0
Blok 5	17	Ref.	32	37,3	39,4	19,9	208,8	23202	6,4
	18	Hast. 2	25	39,4	31,2	7,6	449,3	49920	13,9
	19	Hast. 3	31	40,8	40,7	11	398,9	44318	12,3
	20	Hast. 1	32	59	24,7	4	666,9	74100	20,6

Tabel 4

Det fundne kraftforbrug er fundet til at være 2-3 gange højere på excoriatoren end på referencemaskinen.

I diagram 7 er de fundne middelværdier vist grafisk.

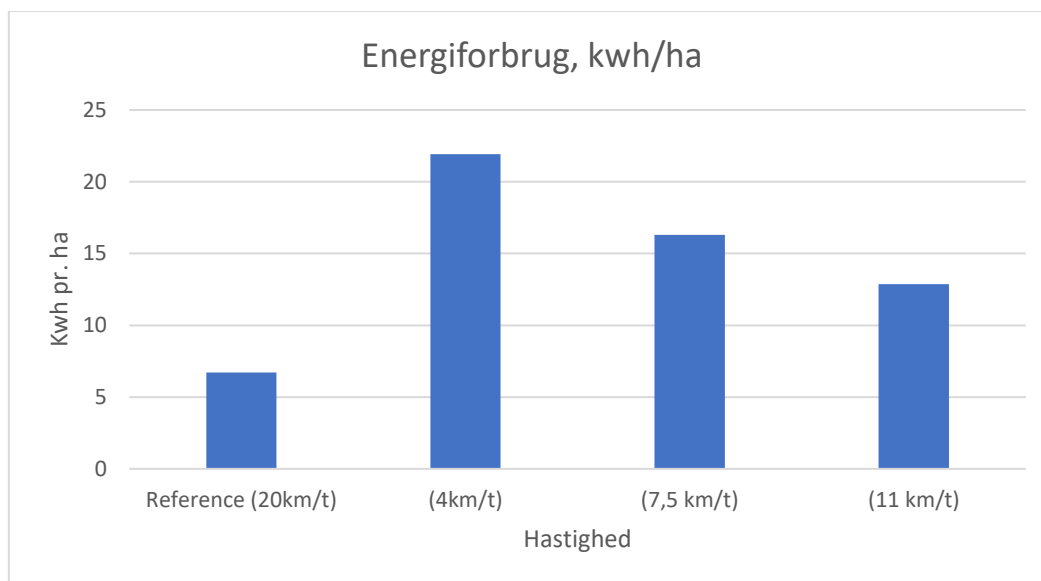


Diagram 7

Af diagram 7 fremgår det tydeligt at energiforbruget pr. ha er meget afhængigt af hastigheden. Det betyder, at når exkoriatoren er færdigoptimeret, og der kan køres med nogenlunde samme hastighed som referencemaskinen vil energiforbruget pr. ha, og dermed pr. ton behandlet græs være mindre end her vist. Spørgsmålet er så, om en øget hastighed vil mindske behandlingens effektivitet, og dermed gå ud over omsætteligheden af græsset.

Dette blev undersøgt ved analyse af materiale høstet d. 26. oktober 2016. Her blev der med exkoriatoren høstet med 4 hhv. 6 km/t. i en intensiv græsmark med ret vådt græs pga. årstiden. Efter ensilering blev materialet undersøgt for biogaspotentiale, hvor der ved den lave hastighed blev fundet et potentiale på 300,7 NLCH4 pr. kg VS og ved den høje hastighed 296,9 NLCH4 pr. kg VS. Altså synes hastigheden for exkoriatorens vedkommende ikke at have nævneværdig betydning for omsætteligheden, og dermed behandlingen af græsset.

I forbindelse med samme marktest blev energiforbruget til presning af græsballerne registreret som forbrug i liter pr. time ved hjælp af traktorens monitor. I tabel 5 ses de aflæste værdier.

Excoriator		Reference
Hastighed, km/t		
5	5	5
Forbrug, l/time		
7,1	8,6	9,2

Tabel 5

Observationerne indikerer at brændstofforbruget ved presning af konventionelt høstet græs er 17,2 % højere end ved det excorierede græs. Hertil kommer, at balle vægten i excoriert græs blev målt til 960 kg pr. balle mod 880 kg pr. balle i ubehandlet græs. Det svarer til at der er 9 % mere i de excorierte baller, hvilket har betydning for transportomkostningerne. Der var lige mange skår høstet med excoriator og referencemaskine. Der blev således presset 3,5 balle excoriert græs a 960 kg og 4,2 baller med græs, i alt 3380 hhv. 3720 kg, altså 10 % mindre vægt i det excorierte græs. Det kunne observeres, at det excorierte græs var faldet godt sammen i skår, hvilket må skyldes behandlingen og evt. bortvejret vand. Det er dog også sandsynligt, at der har været et vist spild. En måling af spild blev foretaget i forbindelse med høst d. 17. september 2014 med excoriator, referencemaskine og en såkaldt chopper, som er en slagleklipper. Resultatet heraf er vist i diagram 8.

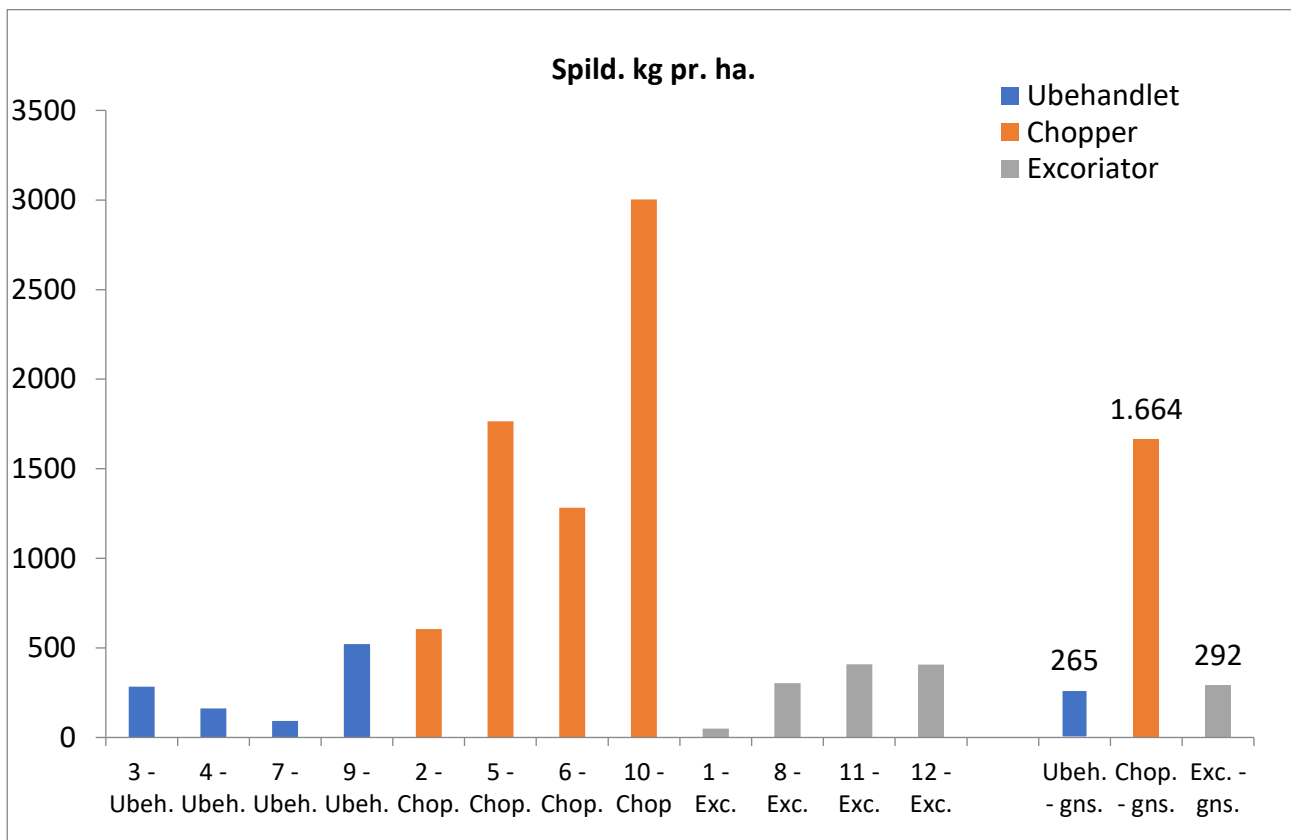


Diagram 8

Som gennemsnit er der fundet spild på 265 kg pr. ha. ved græs høstet med referencemaskinen og 292 kg ved høst med excoriatoren. Det svarer til et større spild på 10 % ved excoriatoren.

## Økonomikalkule

I 2015 blev der en detaljeret analyse af maskinomkostningerne til høst, bjærgning og ensilering af græs til biogasproduktion på baggrund af oplysninger fra FL Jord, der er partner i projektet og på daværende tidspunkt drev maskinstation.

De beregnede maskinomkostninger er listet i tabel 6. Omkostningerne er beregnet i kr. pr. ton tørstof.

Maskinomkostninger ved forskellige metoder til bjærgning af græs.

Scenarie	Afgrøde og bjærgningsmetode	Udbytte, ton tørstof/ha	Maskinomkostninger, kr./ton biomassetørstof fra mark til værk
1	Enggræs / wrap	2,4	813
2	Enggræs excorieret / wrap	2,4	853
3	Enggræs /snittervogn	2,4	463
4	Enggræs excorieret / snittervogn	2,4	520
5	Slætgræs / finsnitter	13,2	346
6	Slætgræs excorieret / finsnitter	13,2	374
7	Slætgræs / snittervogn	13,2	350
8	Slætgræs / excorieret / snittervogn	13,2	393
9	Majshelsæd / finsnitter	11,5	170

Tabel 6

Men en ting er selve maskinomkostninger til høst, bjærgning og ensilering. For de afgrøder der dyrkes med henblik på anvendelse til biogasproduktion vil der også være omkostninger til jordbearbejdning, udsæd, såning, gødning og planteværn. Ved anvendelse af forudsætninger for disse omkostninger fra Farmtal Online er de samlede omkostninger til afgrøderne beregnet. De beregnede samlede omkostninger er vist i tabel 7.

Omkostninger, methanværdi og nettoværdi, kr. pr. ton råvare

	Enggræs wrap	Enggræs excorieret wrap	Enggræs snittervogn	Enggræs excorieret snittervogn	Sletgræs finsnitter	Sletgræs excorieret finsnitter	Sletgræs snittervogn	Sletgræs excorieret snittervogn	Majshelsæd finsnitter
Dyrkning	0	0	0	0	67	67	67	67	119
Maskinomkostninger	244	256	156	139	104	112	105	118	51
Alternativomkostning	0	0	0	0	302	302	302	302	261
Methanværdi	393	471	393	471	393	471	393	471	475
Nettoværdi	149	215	237	332	-80	-10	-81	-16	43

Tabel 7

Der er i beregningen forudsat en øget gasproduktion som følge af excorieringen på ca. 20 % svarende til middelværdien af alle gennemførte forsøg. Det vil sandsynligvis kunne påvirke methanudbyttet om græsset snittes med en snittevogn, finsnitter eller slet ikke yderligere neddeles. Det er endvidere sandsynligt, at såfremt græsset ikke er snittet vil det skulle neddeles på anlægget. I så fald skal nettoværdien fratrækkes 50 kr. pr ton råvare. Når der dyrkes græs eller majs i omdriften vil disse afgrøder have en alternativ anvendelse som grovfoder. Derfor er der i tabel 7 beregnet en alternativ omkostning for disse afgrøder, svarende til den værdi afgrøden ville have, hvis den i stedet blev solgt som grovfoder. Forståelsen af

nettoværdien er derfor den nettogevinst det vil have for landmanden at sælge eller anvende afgrøden til biogasproduktion frem for grovfoder. Ved enggræs, som skal forstås som ekstensiv naturplejegræs er der ingen dyrkningsomkostninger. Afgrøden er der under alle omstændigheder, og skal for så vidt blot høstes, bjærges og ensileres (og transporteres). Enggræs har heller ikke som udgangspunkt nogen alternativ anvendelse, og belastes derfor ikke med nogen alternativ omkostning. Det kunne selvfølgelig diskuteres om arealerne kunne anvendes til afgræsning, men typisk bliver de det ikke af økonomiske årsager, og der bjærges typisk heller ikke længere hø. Til gengæld kunne man argumentere, at det har en positiv miljømæssig effekt at fjerne næringsstofferne i enggræs fra disse arealer, hvorved der fjernes en udvasningsrisiko, og næringsstofferne i stedet flyttes op på arealer med planteproduktion, idet de spredes der med den afgassede gylle.

Nettoværdien skal forstås som den nettogevinst, der er forbundet med at anvende enggræs til biogasproduktion, og det er det provenu som sælger og biogasanlæg må handle om.

Men hvilken pris kan det så forventes at biogasanlægget kan og vil betale. Det vil i høj grad afhænge af hvilke alternativer det enkelte biogasanlæg har for at skaffe supplerende biomasser, og især af hvilket gasudbytte de kan forvente fra de enkelte biomasser. Så længe der er dybstrøelse til rådighed vil det være et vanskeligt marked at agere i. Men der er allerede nu tegn på, at det i visse egne af landet kan være vanskeligt at skaffe dybstrøelse nok. Erfaringsmæssigt regner biogasanlæggene med en max pris på 2,5 kr. pr. m<sup>3</sup> methan. Den pris gælder nok først og fremmest de mest attraktive letomsættelige biomasser som fx glycerin. Det er i beregningerne, der danner grundlag for tallene i tabel 8, forudsat gasudbytter fra ubehandlet og excorieret græs som middelværdier af de resultater der er fundet i projektet.

Methanpotentialeberegning	Ton	TS %	Tons TS	VS % af TS	VS kg	CH <sub>4</sub> /kg VS	CH <sub>4</sub> /ton
Græsensilage ubehandlet	1	30	0,3	0,9	270	0,29	79
Græsensilage excorieret	1	30	0,3	0,9	270	0,350	95

Tabel 8

Ved anvendelse af disse forudsætninger kan det således beregnes at et biogasanlæg maksimalt vil betale 79\*2,5 kr. pr ton ubehandlet græsensilage svarende til knap 200 kr. pr. ton. For excorieret græsensilage er beløbet tilsvarende 95\*2,5 kr pr. ton excorieret græsensilage svarende til knap 240 kr. Er græsset ikke snittet må der påregnes en pris, der er ca. 50 kr. lavere pr. ton.

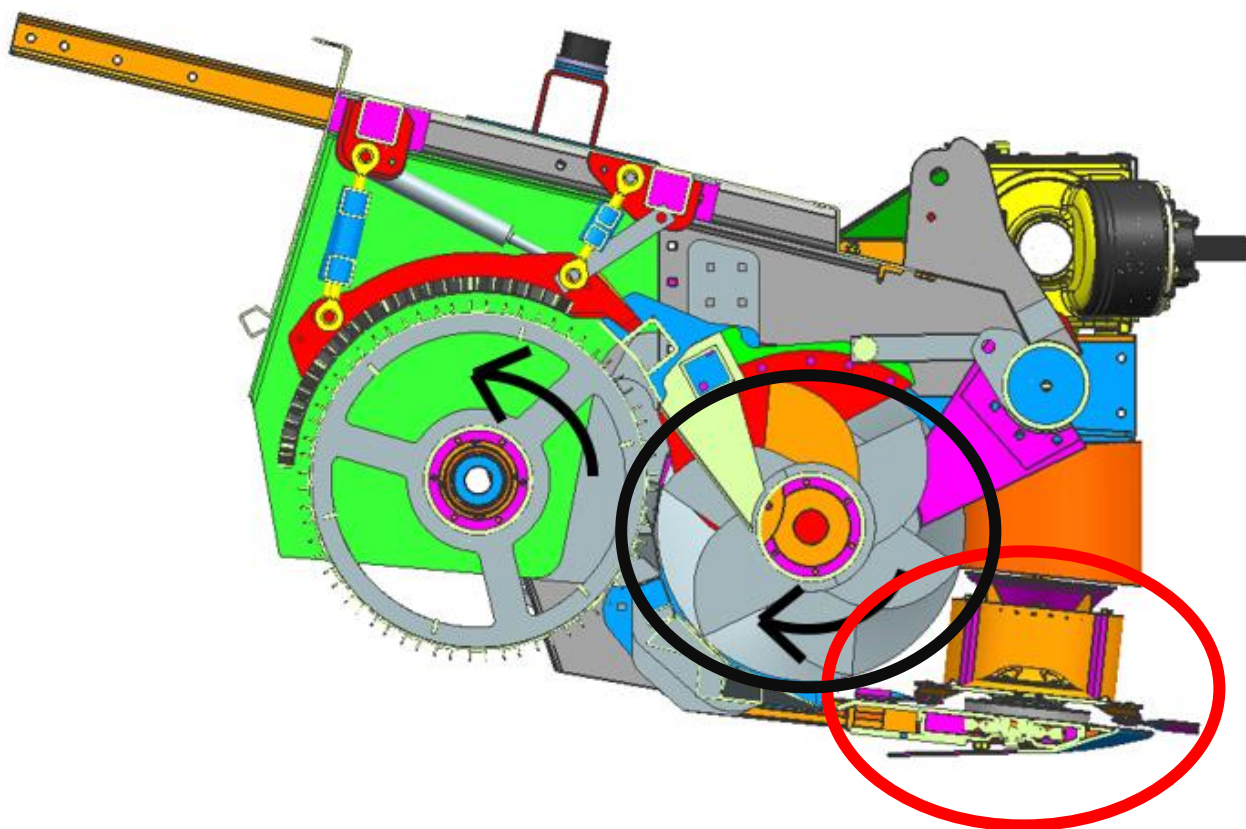
## Status for teknologien

Maskinen i den endelige udgave til høst i sæsonen 2017, er som følger.

Maskinen er bygget op over chassiset fra en bugseret skårlægger med conditioner fra Kverneland Group, med arbejdsbredde på 3,2 m. Den oprindelige hydraulik, høstbjælke, chassis og frontafskærmning er bibeholdt. Resten af den oprindelige maskine er i hovedtræk blevet udskiftet med andet udstyr.

Ved at gennemgå græssets passage igennem maskinen, vil der blive set på de forskellige komponenter den endelige maskine består af.

Det første græsset møder på vej igennem maskinen er høstbjælken, hvilket er markeret med en rød ring i billede 1.

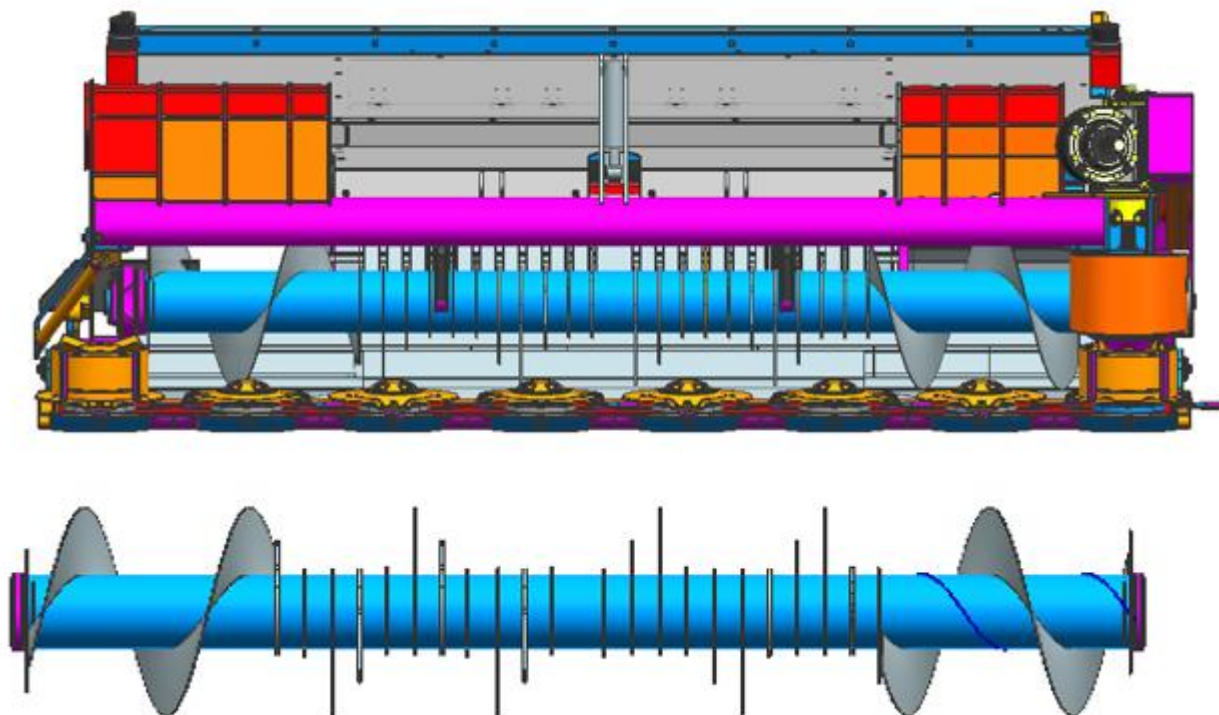


Billede 1

Denne slår græsset af i en forudindstillet højde relativt til jorden. Herfra føres græsset ind i sneglen, der er markeret med en sort ring i billede 1.



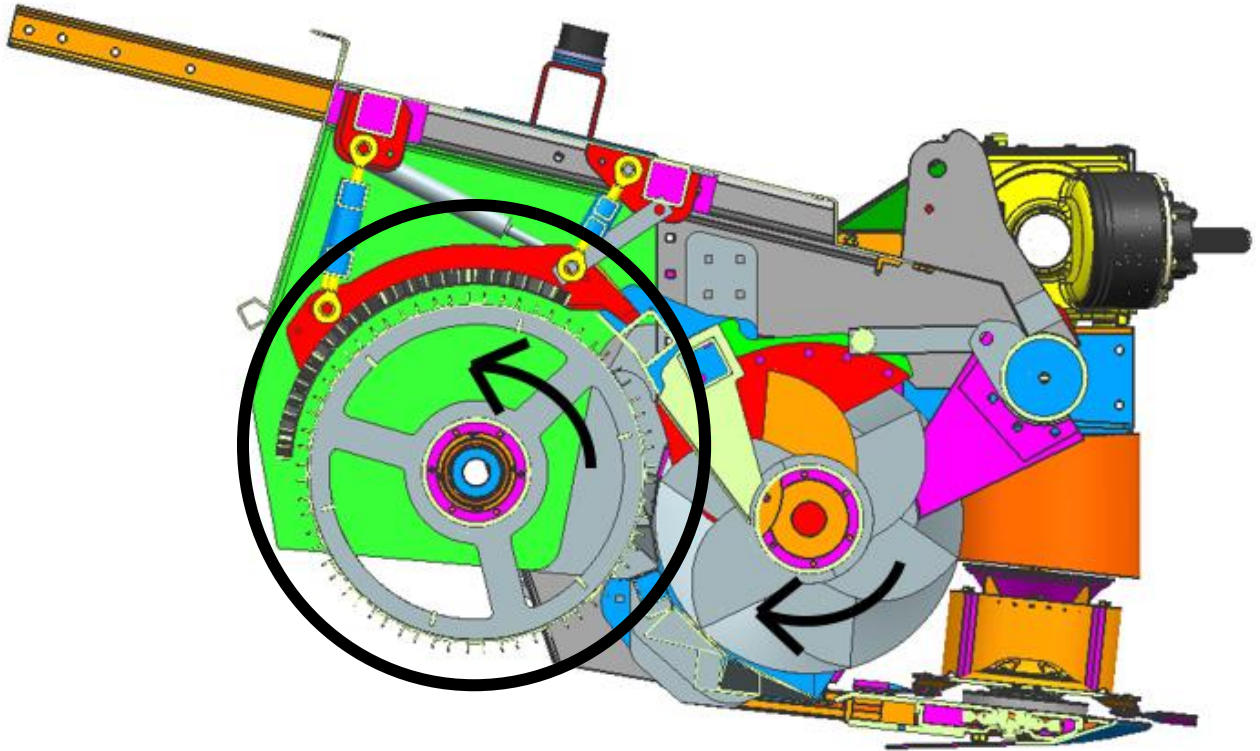
Sneglen består i hver side af vinger der skraber det afslåede græs ind mod midten, hvorefter græsset ved hjælp af medbringere ligeledes placeret på sneglen føres opad ind i mellem behandlertromle og tromlesvøb. På billede 2 ses maskinens komponenter forfra og der ses et billede af sneglens udformning fra de resterende komponenter.



Billede 2

Begrundelsen for sneglens udformning er at behandlertromlen er 1,5 m bred og høstbjælken er 3,2 m bred. Derfor skal det høstede materiale fra de 0,7 m i hver side af maskinen bringes ind mod midten, for at kunne føres videre ind i behandlertromlen.

Behandlertromle og tromlesvøb er markeret med en sort ring på billede 3.



Billede 3

## Ny teknologi til effektiv udnyttelse af enggræs i biogasreaktor

Såvel tromle som svøb er udført med et antal medbringere i form af U-profil der er monteret i en pile formation. Et billede tromlens overflade kan ses på billede 4.



Billede 4

Og et billede af de afmonterede svøb kan ses på billede 5.



Billede 5

Som det ses på billede 6 er tromlens bredde delt op i tre svøb, da dette muliggør en mere individuel behandling materialet i maskinen. Medbringerne på tromlen og svøbene er placeret således at ligger modsat rettede, for at opnå størst mulig behandling.

Svøbene er monteret således at indløbet af svøbene er hydraulisk belastede, hvor hvert af svøbene er påvirket af en 40 mm hydraulisk cylinder med et tryk på 100 bar, disse tre cylindre kan justeres manuelt via en hydraulisk ventil, således at indløbsafstanden mellem behandlertromle og svøb kan justeres for optimal behandling og flow. I udløbet af svøbene har alle tre svøb et fælles omdrejningspunkt der er fjederpåvirket, således at svøbene kan optage kræfterne der opstår som følge af materiale flowet mellem tromle og svøb. På billede 6 ses en tidligere version af maskinen bagfra, hvor svøbene i udløbet ligeledes er hydraulisk påvirket.



Billede 6

På billede 7, ses den endelige version af maskinen under en test, hvor svøbene er fjederpåvirkede i udløbet.



Billede 7

På billede 8, ses den endelige maskine fra traktorens førerhus ved en af sommeren 2017 gennemførte tests.



Billede 8

### Gennemførte forsøg efter høst sæson 2017.

I et forsøg på at forbedre den manglende kapacitet blev maskinen bygget om på en sådan måde at høstbjælken og sneglen blev byttet ud med en pickup fra en opsamlervogn, hvilket kan ses på billede 9. Dette bevirkede at der kom et kontinuert og for maskinen langt bedre flow. Kapaciteten blev betydeligt forbedret. Dette skal dog ses ud fra to mindre tests. Der haves derfor ikke større mængde valide data, der kan konkluderes endeligt på.



Billede 9

### Perspektiver for teknologien

Teknologien har indtil nu vist sit værd ved at skabe et større gasudbytte, samt en øgning i densitet for det behandlede materiale. Dog har der vist sig at der til stadighed er udfordringer med at skabe en fornuftig kapacitet med maskinen, der opvejer det ekstra brændstofforbrug og tidsforbrug ved denne behandling. For at imødekomme disse udfordringer skal der ses på flere områder af maskinen og dens måde at behandle på.

Ved et kontinuert flow igennem maskinen vil de set forkomne driftstop kunne undgås, da det er tilstopninger som følge af for stor mængde materiale, der skaber disse. De store mængder materiale opstår som følge af en ophobning af materiale oven på den roterende høstbjælke. Når denne mængde er tilstrækkelig stor, kan sneglen få fat i en meget stor mængde materiale på en gang, der derved trækkes ind imellem tromle og svøb, ofte med et driftstop til følge. Ved at fjerne høstbjælke og snegl, kan der monteres en pickup, hvilket netop er gjort i de sidste gennemførte forsøg. Dog mangler der som beskrevet mere valid data, før validering af denne ændring. Her er det dog nødvendigt at græsset bliver slået af en skårlægger før anvendelse af exkoriatoren. Dette kunne potentielt gøres med en front monteret skårlægger.

Ydermere skal der ses på den måde hvorpå afstanden mellem svøbene og tromlen reguleres. På den endelige maskine gøres dette delvis ved hjælp af hydraulik og delvis ved hjælp af trykfjedre. For at kunne imødekomme den større mængde materiale der vil skulle behandles ved højere kørsels hastighed vil svøbene skulle reguleres i forhold til den mængde materiale der føres ind i maskinen på et hvert tidspunkt. Det viste sig ved kørsel i sommeren 2017, at en lille mængde materiale krævede et stort tryk imellem tromle og svøb, hvor trykket gradvist aftager i takt med stigende materiale mængde. Hvorledes denne tryk/flow kurve i realiteten ser ud, vides endnu ikke. Men det er en essentiel del af at få maskinen til at præstere optimalt. Vigtigheden af denne funktion ses yderligere ved at betragte vegetationen i de ekstensive arealer, hvor maskinen har været anvendt. Da mængden af vegetation i de ekstensive arealer er meget svingende, selv inden for den enkelte parcel.

For at reducere maskinens effektforbrug bør der ses på det overfladeareal der behandles med imellem tromle og svøb. Som disse er udformet på nuværende tidspunkt er det udelukkende kanten af en bukket U-profil der udgør det areal der reelt behandler materialet. Efter de gennemførte tests og forbedringer i sommeren 2017, kan der uddrages flere slutninger, der bør udmunde i forbedringer på maskinen. Pileformen hvormed u-profilerne er placeret er yderst vigtig, dog er denne vigtigst på svøbene, da det er disse der styrer hvordan materialet bevæger sig under behandlingen. Hvorved der med fordel kan eksperimenteres med at øge behandlingsarealet på tromlen. Der bør eksperimenteres med at opnå et optimalt flow. En stor mængde medbringere på tromlen, bevirke at disse ikke tog fat i materialet og trak dette ind imellem tromle og svøb. Et lavere antal medbringere på tromlen, kan muligvis gøre denne proces langt mere effektiv.

Samlet set vurderes det, at teknologien er den rette til applikationen, men den er ikke færdigudviklet pt. og der kan stadig optimeres betydeligt på denne.



## Konklusion

Der er som led i projektet gennemført en lang række gaspotentialebestemmelser af græs behandlet med forskellige stadier af den nye teknologi. Der blev fundet merudbytter på mellem 10 og 39 %. Bortset fra de mislykkede forsøg er middelværdien beregnet til en forøgelse i methanudbytte på 20 %. Med en færdigoptimeret maskine forventes ca. 20 % merudbytte.

Hvis dette bruges som forudsætning er det beregnet at 1 ton excoieret græs i rundballer har en netto merværdi i forhold til ubehandlet græs mellem 120 og 180 kr. pr. ton råvare afhængigt af bjærgnings og ensileringsmetode.

Marktestene med excoiatoren viste betydelige udfordringer med at få et jævnt flow i maskinen så tilstopning kan undgås. Den sidste prototype viste dog klare forbedringer i så henseende, og et forsøg med en pick up foran excoiatoren (i stedet for skærebordet) eliminerede stort set problemet.

Teknologien vurderes at være velegnet til behandle og "åbne" græsset med henblik på øget methanpotentiale. Det vurderes ligeledes, at der er et potentiale for at videreudvikle og optimere teknologien til formålet.

Teknologien kunne imidlertid ikke, som det var forudset i projektet, markedsintroduceres ved projektets afslutning, men der arbejdes videre frem mod realiseringen af dette. Ikke mindst fordi de lovende resultater forventes at kunne overføres til maskiner, der anvendes til grovfoderproduktion.

AU har publiceret følgende:

**"Co-digestion of cattle manure and grass harvested with different technologies. Effect on methane yield, digestate composition and energy balance" , i tidskriftet Energy.**

DTU har formidlet følgende:

**Bioaugmentation with hydrolytic microbes to improve the anaerobic biodegradability of lignocellulosic agricultural residues**

**Enhancing biogas production from recalcitrant lignocellulosic residue. Ph.d. Theses, P. Tsapekos**