

## Extruder för ökad biogasproduktion

**Peter B. Odhner\***

**Sven-Erik Svensson\*\***

**Thomas Prade\*\*\***

\* Grontmij AB

\*\* Institutionen för biosystem och teknologi, SLU

\*\*\* Institutionen för biosystem och teknologi, SLU samt Miljö- och energisystem, LTH

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

**Rapport 2015:26**

ISBN 978-91-576-8916-0

Alnarp 2015





**LANDSKAPSARKITEKTUR**  
**TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP**  
Rapportserie

# Extruder för ökad biogasproduktion

**Peter B. Odhner\***  
**Sven-Erik Svensson\*\***  
**Thomas Prade\*\*\***

- \* Grontmij AB
- \*\* Institutionen för biosystem och teknologi, SLU
- \*\*\* Institutionen för biosystem och teknologi, SLU samt Miljö- och energisystem, LTH



Länstyrelsen  
Skåne



Europeiska jordbruksfonden för  
landsbygdsutveckling: Europa  
investerar i landsbygdsområden



Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

**Rapport 2015:26**  
ISBN 978-91-576-8916-0  
Alnarp 2015



## Förord

Detta projekt, "Extruder för ökad biogasproduktion", har framför allt genomförts av Sven-Erik Svensson, SLU Alnarp, Peter B. Odhner på Grontmij och Thomas Prade vid SLU Alnarp samt LTH. Det har dock varit många fler delaktiga i projektet. Bland andra Åsa Davidsson och Ola Wallberg på Kemiteknik vid LTH i Lund, Lehmann UMT i Jocketa, Tyskland, och då främst Jeanine Elliot, Markus Lehmann och Matthieu Warzecha. Även BioMil AB i Lund har deltagit i projektet med uppgifter från Karlskoga Biogas om extrudering av vallensilage.

Vi vill rikta ett stort tack till Länsstyrelsen i Skåne och Landsbygdsprogrammet som gjort detta projekt möjligt med ekonomiskt stöd och support. Vi hoppas på en fortsatt forskning och utveckling inom detta viktiga område, med förbehandling av andra generationens lantbruksbaserade biogassubstrat, för att bredda substratbasen och öka hållbarheten i biogasproduktionen.

Alnarp, september 2015

Sven-Erik Svensson  
Projektledare  
Inst. för biosystem och teknologi  
SLU Alnarp

Linda Tufvesson  
Prefekt  
Inst. för biosystem och teknologi  
SLU Alnarp



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>SAMMANFATTNING .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>INLEDNING.....</b>	<b>7</b>
3.1	SYFTE OCH MÅL.....	8
<b>4</b>	<b>BAKGRUND.....</b>	<b>9</b>
4.1	VAD ÄR EXTRUDERING?.....	9
4.2	BIOEXTRUDERING OCH METANGASUTBYTE .....	10
4.3	BIOEXTRUDERING PÅ AARHUS UNIVERSITET .....	10
4.4	SAMMANFATTNING AV BAKGRUNDEN.....	11
<b>5</b>	<b>METOD .....</b>	<b>13</b>
5.1	AKTIVITETER .....	13
5.2	VAL AV SUBSTRAT.....	13
5.3	TILLGÅNG PÅ SUBSTRAT OCH AKTUELLA PROJEKT MED RELEVANS.....	14
5.3.1	<i>Biogas från Gräsavfall - Region Skåne och Länsstyrelsen .....</i>	<i>14</i>
5.3.2	<i>Biodiversitet och bioenergi - Partnerskap Alnarp och Region Skåne .....</i>	<i>14</i>
5.3.3	<i>Vall och helsäd som biogassubstrat - SLF.....</i>	<i>14</i>
5.3.4	<i>GrassMargins (gräs på marginalmark som biogassubstrat) - EU.....</i>	<i>15</i>
5.4	RÖTFÖRSÖK.....	15
5.4.1	<i>Metod för provrötning på LTH.....</i>	<i>15</i>
5.5	KOSTNADSBERÄKNINGAR.....	16
5.5.1	<i>Effekt och kapacitet .....</i>	<i>16</i>
5.6	ENERGI OCH EKONOMI - BERÄKNINGAR.....	16
5.7	PRAKTISK UTVÄRDERING .....	16
<b>6</b>	<b>RESULTAT.....</b>	<b>17</b>
6.1	LEVERANTÖRER.....	17
6.2	UPPHANDLING & INKÖP .....	19
6.3	KAPACITET VID EXTRUDERING.....	20
6.4	PROVRÖTNINGAR .....	20
6.4.1	<i>Provrötning 1 – Tyskland.....</i>	<i>20</i>
6.4.2	<i>Provrötning 1 – LTH.....</i>	<i>21</i>
6.4.3	<i>Provrötning 2 - Lehmann.....</i>	<i>22</i>

6.4.4	<i>Provrötning 2 – LTH</i> .....	24
6.5	KOSTNADER, TEKNIK OCH KAPACITET.....	25
6.5.1	<i>Investering och kapacitet</i> .....	25
6.5.2	<i>Underhålls- och arbetskostnader</i> .....	26
6.5.3	<i>El- och arbetskostnad</i> .....	27
6.5.4	<i>Kostnads kalkyler</i> .....	27
6.5.5	<i>Driftserfarenheter från Karlskoga Biogas, bioextruder på 74 kW</i> .....	28
6.6	ENERGIBALANS- OCH LÖNSAMHETSBERÄKNINGAR.....	29
6.6.1	<i>EROIE</i> .....	29
6.6.2	<i>Lönsamhetsberäkningar</i> .....	30
6.7	TOTALEKONOMI - SKALBARHET.....	31
<b>7</b>	<b>DISKUSSION OCH SLUTSATSER</b> .....	<b>32</b>
7.1	UTVÄRDERING – EKONOMI, TEKNIK OCH PRAKTIK.....	32
7.2	STORA OCH SMÅ ANLÄGGNINGAR.....	33
7.3	TIDIGARE STUDIER.....	33
7.4	LANTBRUKET OCH IMPLEMENTERING.....	33
<b>8</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>35</b>



# 1 Sammanfattning

Lantbruket har en nyckelroll att spela när det gäller produktion av förnybar energi och omställning till en mer hållbar energiförsörjning i samhället. Samtidigt behöver lantbruksnäringen fler ben att stå på, eftersom lönsamheten inom många traditionella produktionsgrenar försämrats under senare år.

Syftet med denna studie ”Extruder för ökad biogasproduktion” har varit att hitta nya vägar för att öka andelen lantbruksbaserade substrat för biogasproduktion. I projektet har vi utvärderat bioextrudering som förbehandlingsmetod för stråformiga fiber- och lignocellulosarika biogassubstrat som halm, energi- och ängsgräs samt vallensilage. I undersökningen har både små- och storskalig teknik för extrudering utvärderats, med hjälp av provrötningar och beräkningar med avseende på energibalans, ekonomi och teknik.

Undersökningen har studerat vilken extruderteknik som är lämplig med avseende på gårdsstorlek och mängd substrat, samt hur snabbt och hur mycket metangas som kan produceras från substratet efter extrudering. Vi har jämfört metangaspotentialen för obehandlade med extruderade substrat. Även totalekonomin har utvärderats, det vill säga hur mycket förbehandlingen kostar i förhållande till övriga biogasproduktionskostnader och det ökade metangasutbytet.

Målet med studien har varit att inventera och utvärdera extrudertekniken, för att på sikt kunna öka andelen tillgängliga lantbruksbaserade biogassubstrat i Skåne. Studien är inriktad främst på småskaliga lantbruksbaserade system, men i inventeringen har även större extruderanläggningar ingått. Resultatet tyder på att extrudering av stråformiga fiber- och lignocellulosarika biogas-substrat leder till en snabbare och ökad metangasproduktion. Kostnaden för extrudering består framför allt av underhåll och drift, vilken i de flesta fall understiger värdet av den ökade metangasproduktionen.

Vidare indikerar undersökningen att extrudering medför en minskad energiåtgång för omrörning i röt-kammaren samt att risken för flyt- och svämtäcke elimineras. Projektet visar att förbehandling av lignocellulosarika biogassubstrat (andra generationens avancerade substrat) via extrudering kan bredda substratbasen för lantbruksbaserad biogasproduktion och bör även kunna resultera i ett positivt ekonomiskt netto för biogasproducenten.

## 2 Summary

Agriculture can play a key role as regards production of renewable energy and transition to a more sustainable energy supply in society. At the same time, agribusiness needs new sources of income, since profitability within many conventional production sectors has declined in recent years.

The overall aim of this study was to find new ways to increase the share of agricultural substrates for biogas production. This was done by evaluating bio-extrusion technology as a pretreatment method for fibre- and lignocellulose-rich biogas substrates such as straw, grass silage, energy grass and meadow grass. Both small- and large-scale extrusion technologies were included in the analysis, using biodegradability trials (BMP tests) and calculations with respect to energy, economics and technology.

The extrusion technology most suitable for a particular farm size and the amount of substrate was assessed, as was how quickly and how much methane gas can be produced from the substrate after extrusion. Untreated and extruded materials were compared. Overall production economics were also evaluated, i.e. pretreatment costs in relation to other biogas production costs and the increased methane yield. The main objective was to inventory and evaluate the extrusion technology, in order to increase the share of available agricultural biogas substrates in the long run in Skåne. The focus was mainly on small-scale agricultural systems, but larger extrusion plants were also included in the inventory.

The results showed that extrusion of the fibre- and lignocellulose-rich second generation biogas substrates tested gave faster and higher biogas production. The costs of extrusion arose mainly from maintenance and operation and in most cases were lower than the value of the increased methane production.

The results also showed that extrusion reduces the energy requirement for stirring in the digester and eliminates the risk of a floating layer developing in the digester. Overall, these results indicate that extrusion pretreatment of fibre- and lignocellulose-rich substrates can broaden the substrate base for agricultural biogas production and can possibly also result in a net economic gain for biogas producers.

### 3 Inledning

Lantbruket har en nyckelroll att spela när det gäller produktion av förnybara energilag och omställning till en mer hållbar energiförsörjning. Samtidigt behöver lantbruksnäringen fler ben att stå på eftersom lönsamheten inom många traditionella produktionsgrenar försämrats under senare år. Genom att nyttja lantbruksbaserade restprodukter på ett mer effektivt sätt i kombination med odling av energi- och mellangrödor skulle produktionen inom lantbruket kunna diversifieras. Detta i sin tur kan förbättra lönsamheten, både på kort och på lång sikt. Restprodukter och annan tillgänglig biomassa inom lantbruket bör således nyttjas i högre utsträckning och det kan ske genom odling och leverans av biomassa eller genom uppförandet av egna energianläggningar på den enskilda gården.

En sektor som har behov av mer biomassa är biogasindustrin. Det råder brist på lämpliga biogassubstrat, vilket aktualiserar frågan om att ytterligare integrera lantbruket inom energisystemet. Genom att nyttja substrat som i dagsläget inte används för biogasproduktion skulle biogasproduktionen kunna öka kraftigt. Ett sådant lantbruksbaserat substrat, som knappt används idag inom biogasområdet, är halm. Den teoretiska biogaspotentialen är stor och ligger bara i Skåne på 1-2 TWh per år (Björnsson m.fl., 2011). Den praktiska potentialen är betydligt lägre, vilket beror på att metangasutbytet är relativt lågt för obehandlad halm. Det innebär att kostnaderna i form av råmaterial, transporter och lagring i förhållande till biogasutbytet (metangasvärdet) i dagsläget är för höga för obehandlad halm. Vidare är rötningstekniken för halm i praktisk skala relativt obeprövad i Sverige, jämfört med t.ex. Danmark och Tyskland. Med hjälp av olika förbehandlings tekniker för halm som ångexplosion, brikettering eller pelletering har metangasutbytet vid rötning ökat, men förbehandlingskostnaderna har visat sig vara höga och överskrider i flera fall värdet på det ökade gasutbytet (Avfall Sverige, 2012; Berglund, 2011).

En annan förbehandlingsprocess som diskuterats alltmer är bioextrudering. Bioextrudering är en förbehandlings teknik där substratet mekaniskt krossas och i processen uppstår friktionsvärme som öppnar upp de lignocellulosahaltiga strukturerna i substratet, exempelvis halm. Andra substrat som har en lång uppehållstid i rötammaren, exempelvis vallensilage, ängsgräs och majs kan också förbehandlas med bioextrudering för att öka gasutbytet och korta ner uppehållstiden i rötammaren. Samtidigt minskar extruderingen risken för bildning av sväm- eller flyttäckor i rötammaren.<sup>1</sup> Reducerad uppehållstid (ökad omsättnings hastighet) i rötammaren leder till mindre rötammare, samt minskad energiåtgång för omrörning och pumpning. Allt detta kan reducera investeringens storlek, öka biogasproduktionen samt förbättra värdet på svårhanterliga och svårnedbrytbara lignocellulosahaltiga substrat. Befintliga rötammare kan då generera mer gas, eftersom omsättnings hastigheten ökar, vilket kan öka den årliga biogasproduktionen.

I detta projekt utvärderas tekniken för bioextrudering baserat på svenska förhållanden och med lantbrukets struktur i fokus. Vi har främst inriktat oss på halm, eftersom det är där den stora biogaspotentialen finns, men även ett par andra stråformiga fiberrika substrat har undersökts;

---

<sup>1</sup> Uppgifter från Foulums försöksanläggning för biogasproduktion i Aarhus, Danmark.

[http://agro-technology-atlas.eu/docs/Extrusion\\_of\\_solid\\_plant\\_biomass\\_EN.pdf](http://agro-technology-atlas.eu/docs/Extrusion_of_solid_plant_biomass_EN.pdf)

energi- och ängsgräs samt vallensilage. Vi har valt att studera extrudering som förbehandlingsmetod, eftersom den är relativt obeprövad i Sverige. Vidare har vetenskapliga och praktiska undersökningar i Tyskland och Danmark visat på en ökad metangasproduktion efter extrudering jämfört med obearbetat substrat.

### 3.1 Syfte och mål

Studien syftar till att öka andelen tillgängliga substrat för biogasproduktion och att visa hur lantbruket kan integreras i en sådan process. Studien är inriktad på främst småskalig lantbruksbaserad teknik, men i inventeringen kommer även större anläggningar för bioextrudering att beaktas. Eftersom fokus ligger på småskalig extruderteknik är målgruppen lantbrukare som planerar eller har byggt en biogasanläggning. En annan målgrupp är energiföretag inom biogasområdet som söker efter lämpliga, hållbara och kostnadseffektiva substrat.

Behovet av biomassa ökar i samband med att efterfrågan på förnybara energislag växer. Vad gäller biogas så råder det redan konkurrens om substrat (biomassa) som anses som särskilt bra för biogasproduktion. Sådana substrat är eftertraktade bland de större biogasproducenterna, vilket inte minst gäller i Skåne. Genom att nyttja organiska substrat som i dagsläget inte används för biogasproduktion skulle mer förnybar energi kunna genereras, vilket krävs för att klara omställningen till en fossilfri ekonomi. Men för att omsätta de mer svårnedbrytbara, mindre attraktiva, substraten till biogas krävs olika former av förbehandlingsmetoder. En metod som blivit allt vanligare i framför allt Tyskland är bioextrudering av olika lignocellulosarika substrat.

Det huvudsakliga målet med denna studie är att praktiskt utvärdera tekniken för extrudering av bland annat; halm, ängs- och energigräs samt vallensilage. I undersökningen har framför allt småskalig extruderteknik utvärderats, med hjälp av provrötningar och beräkningar med avseende på energibalans, ekonomi och teknik, men också större extrudrar för förbehandling av substrat till större biogasanläggningar har undersökts. Målet var även att visa vilken extruderteknik som är lämplig med avseende på kapacitet, kapital- och driftkostnader, samt hur snabbt och hur mycket metangas som kan produceras, när man jämför obehandlade och extruderade substrat. Även totalekonomin har utvärderats. Det vill säga hur mycket förbehandlingen kostar i förhållande till övriga biogasproduktionskostnader och vad som händer rent tekniskt och ekonomiskt vid en eventuell uppskalning. Det som skiljer denna studie från andra är fokus på lantbruket och de tekniska och ekonomiska effekterna vid storskalig hantering.

Både stor- och småskalig extrudering kan komma att förändra förutsättningarna för biogasproduktionen samt öka denna. Detta bidrar bland annat till miljömålen: "Begränsad klimatpåverkan", "Frisk luft", "Ingen övergödning" och "Ett rikt odlingslandskap", särskilt om biomassa i form av halm, vallensilage samt gräs från marginalmarker utnyttjas i större utsträckning för biogasproduktion.<sup>2</sup>

---

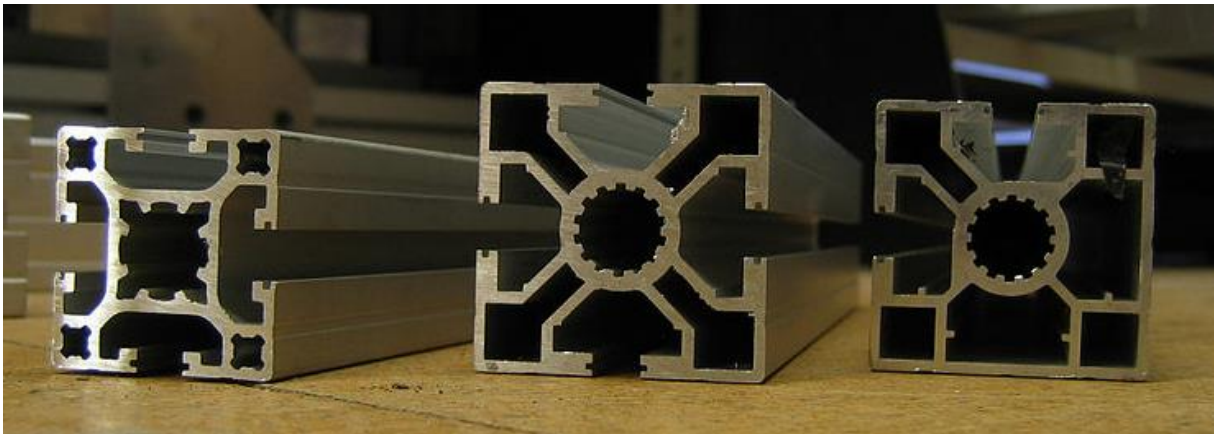
<sup>2</sup> Crops4Biogas. Ett forskningsprojekt som genomförts av LTH och SLU med fokus på hållbara biogassubstrat. <http://miljo.lth.se/forskning/completed-research-projects/crops-for-biogas/>

## 4 Bakgrund

Nedan presenteras delar av den forskning och utveckling som finns avseende extrudering av fiber- och lignocellulosarika substrat för biogasproduktion.

### 4.1 Vad är extrudering?

Extrudering innebär att ett material, som kan bestå t.ex. av metall, plast eller organiska råvaror, pressas genom en matris, med hjälp av skruvar som matar materialet framåt. Skruvarna i sig kan finfördela och krossa materialet samtidigt som friktionsvärme uppstår. Tekniken kallas även strängpressning eller strängsprutning och är i grunden en teknik för att tillverka föremål med en profil som har ett genomgående tvärsnitt, framför allt inom aluminium- och plastindustrin, se figur 1.



Figur 1. Extruderade aluminiumprofiler.<sup>3</sup>

När ett organiskt material extruderas kallas det ofta för bioextrudering. Det är samma princip som används vid extrudering av plast, men syftet är istället att krossa och finfördela det organiska materialet. Som nämnts ovan innebär bioextrudering att det lignocellulosarika materialet mekaniskt krossas och finfördelas. Samtidigt upphettas det av den inre friktionen som uppstår i processen, och tryckväxlingen i sig gör att den åtkomliga ytan ökar för mikroorganismer. Detta leder till ett ökat biogasutbyte (Björnsson m.fl., 2014).

Sönderdelningsprocessen i en bioextruder är baserad på hydrotermisk (termomekanisk) sönderdelning. Under processen sönderdelas substratet genom en dubbelskruvsteknik och det organiska materialets celler går sönder eller sprängs. Metangasutbytet ökar till följd av en bättre biokemisk tillgänglighet och en stark påverkad yta för metaboliserande mikroorganismer. Detta leder till att cellulosa och hemicellulosa bryts ner snabbare eftersom det befriats från ligninskyddet.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Wikipedia, 2015. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Extruded\\_aluminium\\_section\\_x3.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Extruded_aluminium_section_x3.jpg)

<sup>4</sup> Lehmann, <http://www.lehmann-maschinenbau.de/en/biogas-technology/bio-extrusion.html>  
Promeco, <http://www.promeco.it/en/bioextruder.html>

## 4.2 Bioextrudering och metangasutbyte

Tidigare utvärderingar av bioextrudering har visat på positiva metangasutbyten. I vissa studier har bioextrudering jämförts med andra förbehandlingsmetoder, men fokus har legat på metangasutbyte och energi med avseende på rötningseffektivitet för fiberrika substrat som halm och gräs.

Hjorth m.fl. (2011) undersökte biogasutbytet för fyra olika extruderade substrat: halm, färskt gräs, fastgödsel och djupströ. Vid efterföljande rötning gick nedbrytningen av de fiberrika materialen snabbare och metanutbytet ökade markant med 18-70 % efter 28 dagar, och 9-28% efter 90 dagar. Den elektriska energiinsatsen via extrudering motsvarade bara en bråkdel av det ökade metangasutbytet energiinnehåll. Resultatet var mest positivt för halm.

I en annan studie av Bruckner m.fl. (2007) påvisades en ökning av biogasutbytet med 13,8 % för majsensilage och 26 % för gräsensilage, efter 30 dagars rötning. Liknande resultat har uppnåtts efter förbehandling av ängsgräs och majs inom EU-Kask-projektet BioM.<sup>5</sup>

I ett annat projekt utvärderades vetehalm och majsensilage (Williams m. fl., 1999). Vetehalm (*Triticum aestivum* L) och majsensilage (*Zea mays* L.) extruderades under varierande temperaturförhållanden och med olika skruvhastigheter. Substraten rötades sedan och jämfördes med varandra och med de obehandlade "råmaterialen". Analysen visade dock inga signifikanta skillnader mellan substraten. Den stora skillnaden var att den totala och kumulativa gasproduktionen var lägre, särskilt för extruderad vetehalm, vilket tyder på en minskad rötbarhet. Detta resultat skiljer sig avsevärt från andra försök. Det framgår dock inte vilken typ av extruder som användes eller hur det extruderade materialet hanterades före rötningen.

I en annan studie har även en del av de ekonomiska parametrarna utvärderats (Borgström, m.fl., 2011). Gasutbytet för halm steg med över 30 % vid extrudering och den ekonomiska utvärderingen på en referensanläggning visade på ett positivt resultat för de undersökta substraten. Halm utvärderades dock inte ekonomiskt i denna studie. Enligt Montgomery & Bochmann (2014) motsvarar energitillförseln 10-15 kWh/ton substrat (våt vikt). De påtalar dock att underhållskostnaderna för extrudering är relativt höga jämfört med andra förbehandlingsmetoder.

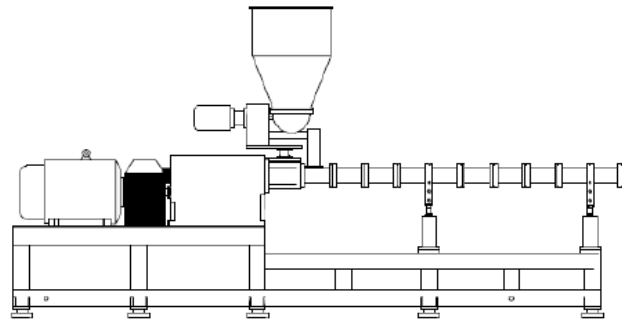
## 4.3 Bioextrudering på Aarhus universitet

Vid Aarhus universitets försöksanläggning i Foulum i Danmark har man studerat skörd, lagring och extrudering av våtmarksgräs. Gräset skördas på våtmarken som rundbalar, transporteras till anläggningen och lastas i en Biomixer.<sup>6</sup> Gräset kan blandas med andra råvaror i Biomixern, t.ex. fastgödsel, och sedan matas blandningen in i extrudern, se figur 2 a och b.

---

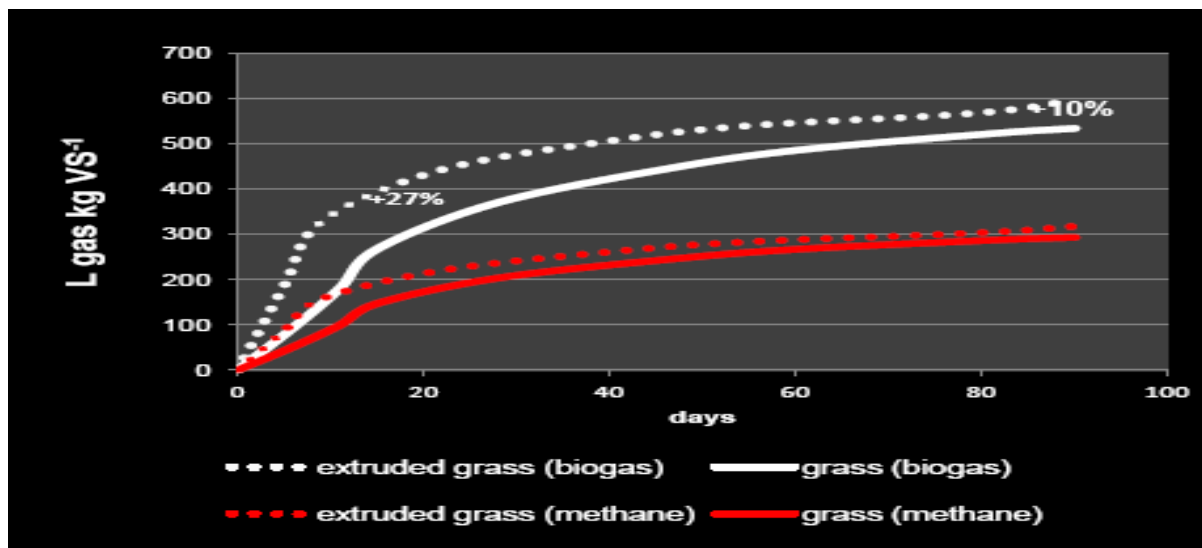
<sup>5</sup> Agrotech, 2014. <http://agrotech.dk/projekter/biom-projektet>

<sup>6</sup> Baltic Compass, 2013. [http://agro-technology-atlas.eu/docs/ppt\\_extrusion.pdf](http://agro-technology-atlas.eu/docs/ppt_extrusion.pdf)



Figur 2 a och b. Bilden till vänster visar den Biomixer som blandar materialet innan extrudering. Foto: Peter B. Odhner. Skissen till höger visar extrudern. Den är toppmatad och materialet skruvas fram mot en öppning (matris).<sup>7</sup>

Försöken på Foulum visar att biogasutbytet från våtmarksgräs stiger med 10-27 % beroende på uppehållstid i rötchkammaren, se Figur 3.<sup>8</sup> Utan extrudering hade de även fått stora problem med svämtäcke och igensättning av pumpar, så i denna anläggning, med detta inmatningssystem är extrudering nödvändigt för att kunna röta våtmarksgräset överhuvudtaget. Samtidigt minskar uppehållstiden i rötchkammaren eftersom processen går fortare.<sup>9</sup>



Figur 3. Gasutbyte vid extrudering av våtmarksgräs.<sup>10</sup> Efter 20 dagar är biogasutbytet 27 % högre jämfört med det obehandlade materialet. I detta försök ökar dock inte metangasutbytet i samma utsträckning som biogasutbytet.

#### 4.4 Sammanfattning av bakgrunden

De flesta studier visar på ett betydligt högre metangasutbyte vid extrudering av lignocellulosarika substrat jämfört med obehandlat material. Nästa fråga att besvara var om ökningen i metangas och dess energivärde motsvarar kostnaden i form av investering, drift och underhåll för extrudern.

<sup>7</sup> Baltic Compass, 2013. [http://agro-technology-atlas.eu/docs/ppt\\_extrusion.pdf](http://agro-technology-atlas.eu/docs/ppt_extrusion.pdf)

<sup>8</sup> Aarhus universitet (Foulum), 2012. [http://agro-technology-atlas.eu/docs/Extrusion\\_of\\_solid\\_plant\\_biomass\\_EN.pdf](http://agro-technology-atlas.eu/docs/Extrusion_of_solid_plant_biomass_EN.pdf)

<sup>9</sup> Muntlig källa: Markus Møller, Aarhus Universitet. 2013-04-21.

<sup>10</sup> Baltic Compass, 2013. [http://agro-technology-atlas.eu/docs/ppt\\_extrusion.pdf](http://agro-technology-atlas.eu/docs/ppt_extrusion.pdf)

Bioextrudering har även andra positiva aspekter som måste beaktas i en ekonomisk och teknisk utvärdering, främst:

- Minskad uppehållstid i röt-kammaren (mindre röt-kammare och lägre investering)
- Minskad risk för flyt- eller svämtäcke
- Minskad risk för skador och igensättning i pumpar, rörsystem etc.
- Minskat energibehov vid omrörning och pumpning (pga. lägre motstånd)

Sammantaget tyder studierna på att bioextrudering med efterföljande rötning kan vara ett tekniskt och ekonomiskt attraktivt alternativ som förbehandlingsmetod för fiberrika biogassubstrat som halm, ängsgräs och vallgräs. Denna studie ska komplettera denna bild genom att praktiskt utvärdera extrudertekniken med lantbrukets struktur i fokus. Hur kan extrudering integreras med biogassystemet och den gårdsbaserade biogasproduktionen? Vissa substrat är mycket svårrotade och svårhanterliga i en biogasprocess och hela kedjan bör beaktas vid en utvärdering. I denna studie har vi dock, i beräkningarna, fokuserat på själva extruderingsprocessen och dess tekniska, praktiska och ekonomiska effektivitet.



## 5 Metod

### 5.1 Aktiviteter

Detta projekt har pågått från hösten 2013 till våren 2015. Projektet har varit uppdelat i sju moment. Resultatet kommer bland annat att distribueras via Borgeby Fältdagar den 24-25 juni 2015<sup>11</sup> i ett Faktablad, från SLU Alnarp. På Borgeby kommer även den inköpta extrudern på 15 kW att demonstreras. De sju aktiviteterna i projektet presenteras i tabell 1.

Tabell 1. Aktiviteter i projektet som pågått under 2013-2015

Moment	Aktivitet
1	Litteraturgenomgång - förbehandling av halm och gräs som biogassubstrat. Val av substrat och substrattillgång för försök.
2	Inventering av teknik och leverantörer av stor- och småskaliga utrustningar för bioextrudering (inkl. studieresor)
3	Upphandling och inköp av bioextruder för förbehandling av lignocellulosarika biogassubstrat
4	Biogasutbyte, "BMP-tester" på de utvalda substraten halm och gräs
5	Utvärdering av biogasutbyte, omsättningstid och energibalans (förhållandet mellan energiinsats vid bioextruderingen och metangasutbytet)
6	Utvärdering av ekonomi och teknik samt tillämpning inom lantbruket
7	Rapport, sammanställning och resultatförmedling

### 5.2 Val av substrat

Halm är en relativt billig råvara som det finns stora volymer av idag och därför är det mycket intressant att ha fokus på detta substrat i denna utvärdering. Gräs från trädad åkerareal, ängsmarker och dikesrenar är också exempel på restprodukter som i dagsläget inte används som en energikälla eller för biogasproduktion. Gräset kan dock innehålla förvedade växter och innehåller normalt relativt höga halter av lignocellulosa som kräver sönderdelning och annan förbehandling för att rötningen skall bli effektiv.

---

<sup>11</sup> Borgeby fältdagar, 2015. <http://www.borgebyfalt dagar.se/>

Många växtodlare är intresserade av att odla vall som avbrottsgröda. Enligt flera undersökningar har spannmålsskörden stagnerat, vilket kan bero på minskad aktivitet i marken och minskande mullhalter (Björnsson m.fl., 2013). Gräs- och klöverbullar luckrar upp jorden, tillför kväve samt organiska ämnen och fungerar som en bra förfrukt med högre skördar som följd. Det har även visat sig att biogasvall är att föredra ur ett klimatperspektiv, jämfört med andra energigrödor för biogasproduktion (Björnsson m.fl., 2013). Vall med hög andel gräs har dock en relativt lång uppehållstid i röt-kammaren och produktionskostnaderna är relativt höga. Genom förbehandling t.ex. med en extruder kan tiden i röt-kammaren förkortas och därmed bör lönsamheten för vall som biogassubstrat förbättras.

Olika kvaliteter på vall (typ av gräs, tidpunkt för skörd, andel klöver och andra baljväxter, mm) har även betydelse för biogasproduktionen. Genom extrudering kan problem med fibrer i gräs och halm reduceras, korta uppehållstiden och minska problem med flyttäcke i biogasreaktor. De substrat som kommer att testas i denna studie är följande:

- Halm (höst- respektive vårvetehalm)
- Ängsgräs (rörflen; ensilerad resp. endast rundbalad)
- Energigräs (szarvasi-1; ensilerad resp. endast rundbalad)

### 5.3 Tillgång på substrat och aktuella projekt med relevans

Vi har samverkat med nedanstående projekt för att få tillgång till substrat och för att ta del av pågående forskningsinsatser av relevans för detta projekt.

SLU Alnarp har bidragit med substrat från följande projekt:

- Biodiversitet och bioenergi (ängsgräs från outnyttjade gräsmarker)
- GrassMargins (energigräs från marginalmark)

Projekt som SLU och Grontmij är och har varit involverade i och som kan bidra med kunskaper och substrat till detta projekt beskrivs kortfattat här nedan:

#### 5.3.1 Biogas från Gräsavfall - Region Skåne och Länsstyrelsen

I denna studie har gräsavfall från väglåtter undersökts ur ett biogasperspektiv där de ekonomiska och tekniska aspekterna beaktas. I beräkningarna användes extrudertekniken för att förbehandla materialen. Inget material samlades dock in i studien, den var rent teoretisk, men beräkningsunderlaget har nyttjats i detta projekt.

#### 5.3.2 Biodiversitet och bioenergi - Partnerskap Alnarp och Region Skåne

Användning av outnyttjade gräsmarker för biodiversitet och bioenergi – nätverk och fältförsök.<sup>12</sup>

#### 5.3.3 Vall och helsäd som biogassubstrat - SLF

Utvärdering av skördetidpunktens och snittlängdens påverkan på energiutbytet och substratkostnaden för biogasvall och helsädesensilage. Dessa biogassubstrat skördades med exakt hack för att erhålla olika snittlängder inför ensileringen i plansilo. Prov togs ut för

---

<sup>12</sup> SLU, 2014. <http://www.slu.se/sv/institutioner/biosystem-teknologi/forskning/arkiv/aktuella-projekt/mall5/>

bestämning av biomassaavkastning per hektar, fukthalt och metanpotential per hektar. Försöken utfördes i vall under 2012, i samarbete med Wrams Gunnarstorps gods, och i helsäd 2013, i samarbete med SB3 samt SBI Jordberga biogas (Prade et al., 2015).

### 5.3.4 GrassMargins (gräs på marginalmark som biogassubstrat) - EU

I projektet undersöks bland annat hur marginalmarker med gräs och baljväxter kan nyttjas för biogasproduktion.<sup>13</sup>

## 5.4 Rötförsök

Provrötningarna har genomförts på LTH i Lund och vid ett biogaslaboratorium i Hof, Tyskland. Provrötningarna på LTH har följt nedanstående metodik.

### 5.4.1 Metod för provrötning på LTH

Rötningen genomfördes vid 37 °C under 39 dygn. Ympen som användes vid rötningarna kom från Sjölanda reningsverk i Malmö och vid rötningarna användes:

- 1-liters reaktorer
- Satsvis rötning
- 39 dygn
- Triplikata prover
- GC-mätning av metan

Reaktorerna (rötningensflaskorna) på LTH:s labb i Lund visas i Figur 4.



Figur 4. Reactorer (rötningensflaskor) på en liter som innehåller de rötbara substraten.

---

<sup>13</sup> SLU, 2014. <http://www.slu.se/sv/institutioner/biosystem-teknologi/forskning/arkiv/aktuella-projekt/mall4/>

## 5.5 Kostnadsberäkningar

Kostnadsberäkningarna i denna utvärdering bygger på tre parametrar:

- Kapitalkostnad (kapitalränta i %) för investering
- Drift (använd energi per timme kWh multiplicerat med elpris)
- Underhåll (kostnad för reparation + arbetskostnad)

Kapitalränta är satt till 4 %, vilket innebär en annuitet på 0,1233 vid en avskrivningstid på 10 år.

### 5.5.1 Effekt och kapacitet

För bestämning av effektdata har vi mätt effekten (i kW) under extruderkörningarna. Kapacitet, alltså hur många kg eller ton substrat som kan behandlas per timme, bygger på manuella uppskattningar och på uppgifter från Lehmann.

Driftkostnader (i huvudsak el) bygger på effektdata (kW) och kapacitet multiplicerat med elpris (0,50 kr/kWh). Driftkostnader (effekt och kapacitet) utgår framför allt ifrån manuella mätningar hos Lehmann i Tyskland samt uppgifter från Lehmann. Vad gäller underhållskostnader har vi utgått ifrån drift- och underhållsdata från Lehmann och Karlskoga Biogas.

## 5.6 Energi och ekonomi - beräkningar

Energibalansberäkningarna utgår ifrån termen: EROIE som står för Energy Return Of Invested Energy. Alltså hur mycket energi används och hur mycket energi får man ut per enhet (ton VS). För att bestämma detta krävs effekt- och kapacitetsdata (se 4.2) och den extra metangasmängd ( $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ton VS}$ ) som kan produceras från substratet efter extruderingen. Mängden metangas kan sedan enkelt översättas i kWh per ton VS genom att multiplicera metangasmängden med energiinnehållet i  $1 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4$  (9,67 kWh).

För att göra en lönsamhetsbedömning måste även värdet av gasen uppskattas (för kostnader, se 4.2). Enligt tidigare studier kan E.ON betala uppemot 0,65 kr/kWh<sup>14</sup> för biometan som levereras in på nätet (efter propantillförsel). I projektet har vi även tagit fram en modell för beräkning av lönsamhet för olika sorters substrat.

## 5.7 Praktisk utvärdering

I projektet ingår även en mer praktisk utvärdering av extrudering. Den praktiska utvärderingen bygger på våra erfarenheter av extrudering i mindre och större skala, fördelar respektive nackdelar, lönsamhet och implementering samt litteraturdata och direkta uppgifter från leverantörer av bioextrudrar samt erfarenheter från Karlskoga Biogas AB.

---

<sup>14</sup> Uppgifter från E.ON gas. 2013-04-30

## 6 Resultat

Nedan presenteras inledningsvis en beskrivning av vår teknikinventering och val av leverantör. Därefter följer en beskrivning av de provrötningar som genomförts och den tekno-ekonomiska utvärderingen.

### 6.1 Leverantörer

Efter en genomlysning av marknaden för befintliga leverantörer av bioextrudrar i Europa<sup>15</sup> framkom följande leverantörer:

- Promeco, Italien
- Lehmann, Tyskland

Det finns även ett antal företag i Sydostasien<sup>16</sup> och Nordamerika<sup>17</sup>, men projektgruppen ansåg att närheten till leverantören är mycket viktig för driftsupport, installation och leverans av reservdelar.

Skillnaden mellan bioextrudrar från Lehmann och Promeco är storleken på maskinerna och formerna på skruvarna (Rebai P., 2000).<sup>18</sup> Promeco använder kortare och bredare skruvar än Lehmann, vilket enligt Rebai, ökar stabiliteten och skruvstyrkan och möjliggör högre krafter utan att minska behandlingstiden för materialet. Eftersom substratet rör sig framåt ökar trycket och temperaturen till maximalt 2 bar resp. 160-180 °C (Lehman, 2011).

Efter en genomgång av leverantörer på marknaden som kunde erbjuda mindre bioextrudrar föll valet på Lehmann i Tyskland. De är den enda europeiska leverantör som, enligt vår genomförda marknadsundersökning, kan erbjuda småskaliga bioextrudrar t.ex. för laborationsverksamhet. Via kontakt med Lehmann framkom att de kan leverera tre olika ”mindre” extrudrar för industriellt ändamål och forskning:

- Labb-extruder (3 kW utan avvattningssystem)
- Bioextruder (15 kW med avvattningssystem)
- Bioextruder (22 kW med avvattningssystem)

Tabell 2. Effekter, dimensioner och vikt på Lehmanns mindre extrudrar

	Effekt	Dimension L x B x H [m]	Vikt [t]
Laborextruder	3 kW	1,0 x 0,5 x 1,2	0,25
MSZ B 15e	15 kW	2,2 x 1,0 x 1,3	0,9
MSZ B 22e	2 x 11 kW	2,7 x 0,9 x 1,3	1,2

<sup>15</sup> Projektgruppen ansåg att det var mycket viktigt att hitta en leverantör i närområdet för support och installation samt leverans av eventuella reservdelar.

<sup>16</sup> Made in China, [http://www.made-in-china.com/manufacturers/extrusion-machine\\_31.html](http://www.made-in-china.com/manufacturers/extrusion-machine_31.html)

<sup>17</sup> Extrusion in America, <http://www.mkextrusion.com/>

<sup>18</sup> Rebai, P., Promeco, 2000 <http://www.promeco.it/en/bioextruder.html>

Lehmann kontaktades 2013 för att få mer information om deras maskiner och utrustning och under hösten 2013, träffade delar av projektgruppen Lehmann på lantbruksmässan Agritechnica i Hannover<sup>19</sup> för diskussion kring val av extruder. På plats i Hannover kunde även deras minsta lab-extruder på 3 kW testas. Redan på mässan kunde det konstateras att denna extruder var i minsta laget för projektets behov (Svensson, 2013).<sup>20</sup> Lehmann kunde erbjuda teknisk support, leverans av reservdelar och installation, vilket är en mycket viktig faktor att ta hänsyn till vid val av leverantör.

Under januari 2014 erbjöd Lehmann projektgruppen möjlighet till extrudering av olika substrat i deras lab-lokal i Jocketa, söder om Dresden, Tyskland. Där fanns det möjlighet att testa Lehmanns bioextruders av varierande storlek och kapacitet.

Våra inledande kontakter följdes upp av ett studiebesök och en teknikinventering under januari 2014. Där konstaterades att Lehmann utvecklat en ny lovande innovation för bioextrudering av halm. Halmen blötläggs innan extrudering för att minska på slitaget och för att tvätta bort grus och andra orenheter. Projektgruppen konstaterade att även denna innovation bör utvärderas i projektet eftersom den stora biogaspotentialen finns inom halm. Vidare fastställdes även att det är viktigt att köpa in en extruder för att kunna variera inmatningshastighet, effekt, TS i materialet, matris (öppningens storlek på utloppet från extrudern), vilket påverkar temperatur, mekanisk bearbetning och energiinsats.

I Lehmanns lab-lokal testades olika bioextrudrar. Figur 5a och 5b visar den minsta extrudern och en större, med en effekt på 15 kW och med avvattningsfunktion. På plats konstaterades då att den mindre Labor-extrudern (3 kW) hade en för låg kapacitet. Vidare kunde det under vissa driftsfall även finnas inmatningsproblem, vilket skulle kunna försvåra utvärderingen av tekniken. Den något större extrudern på 15 kW fungerade bra och passade projektets behov. Även en större extruder, på 22 kW, har möjlighet till avvattning av substratet som extruderas.

Labor-extrudern på (3 kW) har inte någon avvattningsfunktion och var därför, enligt vår utvärdering, både för liten för att behandla ett jämnt flöde av halm



Figur 5a och 5b. Bilden till vänster är Lehmanns Labor-extruder på 3 kW och till höger Lehmanns extruder på 15 kW med avvattningsfunktion. Foto: Peter B. Odhner.

<sup>19</sup> Agritechnica, 2013. <http://www.agritechnica.com/>

<sup>20</sup> Muntlig källa: Sven-Erik Svensson, SLU, Alnarp. 2013-10-12.

eller annan lignocellulosahaltig biomassa och var därför inte lämplig för projektets behov. Vi fastställde därför att det krävs minst en extruder av storleken MSZ B 15e (15 kW) för att få ett jämnt flöde utan större komplikationer. Denna variant kunde även beställas med avvattningsfunktion. Nästa storlek (22 kW) innebar högre investering samtidigt som maskinen har en något större kapacitet. Den mest lämpliga modellen för projektet, ur ett ekonomiskt och tekniskt perspektiv, var bioextrudern med en effekt på 15 kW. Som nämnts ovan våtbehandlades halmen innan extrudering för att minska på slitage och energiinsats. I en extruder med avvattning kan det avskiljda vattnet samlas upp och blandas med det övriga substratet innan rötning.

Ett tiotal prover (se tabell 3) samlades in på plats i Tyskland och dessa skickades för rötning till ett biogas-labb i Hof, i närheten av Jocketa, men vi tog även hem samma prover för rötning på LTH. Proverna är material från de tre extruderna som beskrivits ovan med olika kapacitet. Siffrorna i tabell 3 anger den vätningstid som halmen utsatts för. Mix betyder att materialet mixats före rötning. Det vill säga den våta fraktionen (avvattningsfraktion) och det torrare extruderade materialet. I prov 9 och 10 är den våta och torra fraktionen separerad. Labor står för labb-extruder. De andra proven är körda på en extruder med en effekt på antingen 15 eller 22 kW.

Tabell 3. Prover för rötning i januari, 2014

	Material (halm från vårvete)
4	Torrextruderad
5	Grundmaterial (ej extruderad)
6	Mix 48 h
7	Mix 3 h
8	Mix 1 h
9	Fin + vätska
10	Grov + vätska
11	Labor 48 h
12	Labor 3 h
13	Labor 1 h
14	Labor 0 h

## 6.2 Upphandling & inköp

En 15 kW extruder med avvattning (MSZ 15e) handlades upp och maskinen beställdes. Lehmann kom i ekonomiska svårigheter under våren 2014 och rekonstruerades under hösten 2014. Då togs nya kontakter för leverans av den aktuella extrudern. I april 2015 genomfördes ytterligare en resa till Lehmann i Jocketa för att testa fler substrat innan extrudern kunde levereras till oss. Vid detta tillfälle undersöktes fem olika typer av substrat, se tabell 5.

Tabell 5. Substrat som extruderades hos Lehmann i april 2015

Substrat
Höstvetehalm
Rörflen (ensilerad)
Rörflen (balad)
Energigräs (ensilerad)
Energigräs (balad)

Ett tiotal prover togs till LTH för rötning. Parallella prover lämnades även till det tyska biogaslabbet i Hof för BMP-test.

### 6.3 Kapacitet vid extrudering

Överslagsberäkningar från tester med extrudern hos Lehmann i april, 2015, redovisas i tabell 6 med avseende på TS, VS, kapacitet och effekt. Detta är dock manuella uppskattningar och kan inte jämföras med ett kontinuerligt inmatningssystem som beräkningarna bygger på.

Tabell 6. Bestämning av TS, VS, effekt och manuell uppskattning av kapacitet med manuell inmatning

Prov	Benämning	TS, %	VS, %	kW	kg VS/h	kWh/ton VS
1	Höstvetehalm	90	95	30	51	585
4	Rörflen, rundbal	64	95	28	36	768
6	Rörflen, ensilerad	49	95	35	93	376
8	Szarvasi, rundbal	54	95	40	51	780
10	Szarvasi, ensilerad	85	95	42	81	520
11	Blötlagd höstvetehalm	35	95	50	100	500

### 6.4 Provrötningar

Materialet som extruderades vid det första besöket i Tyskland var halm från vårvete. Fem olika varianter av vårvetehalmsubstrat med olika behandling undersöktes närmare. Skillnader i vätningstid, val av extruder, utloppets öppningsgrad och mix av våt och torr fraktion resulterade i totalt 14 prov. Fem av dessa provrötades på lab i Tyskland. Prov på dessa vårvetehalmsubstrat och de övriga 9 proven togs även hem till Sverige och provrötades på LTH i Lund.

#### 6.4.1 Provrötning 1 – Tyskland

Resultatet från labbet i Tyskland visade på relativt låga gasutbyten generellt sett (Tabell 7). Högst gasutbyte erhöles från prov (C) som hade blötlagts längst tid, i 24 timmar, jämfört med referensen. Skillnaderna mellan referens och torrextruderat material visade knappt några skillnader (prov D och E).

Tabell 7. Gasutbyte från vårvetehalm tyskt biogaslabb

Gasutbyte	Prov A 1 h vätning	Prov B 3 h vätning	Prov C 24 h vätning	Prov D Torrextruderat	Prov E Referens
Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton VS	167	152	194	149	143



Lehmans förklaring till de låga värdena var ympen, att den kom från en biogasanläggning där andra substrat än halm rötats. Gasutbytet var högst för prov C och där slitaget på extrudern förmodligen var minst, eftersom TS-halten var lägst i det provet.<sup>21</sup>

#### 6.4.2 Provrötning 1 – LTH

De första proven av extruderad vårvetehalm överlämnades till LTH i slutet av januari 2014. 11 prov (benämnda 4-14) lämnades in för rötning, se tabell 6. Analyserna av proven presenteras i tabell 6.

Initialt bestämdes halten av TS (%) och VS (%) i de olika proverna. Grundmaterialet, vårvetehalm hade en TS-halt på cirka 83 %, och en VS-halt på 76 %. Det innebär att över 90 % av TS är VS. I de övriga proven varierade TS-halten mycket beroende på att halmen tvättats innan extrudering samt att avvattningsvattnet blandades med det extruderade materialet i detta försök. ”Fin” innebär att öppningen på extrudern var liten, se tabell 8. Det innebär ett högre tryck och en ökad extruderingsstemperatur och därmed en kraftigare behandling. Labor 0 betyder extruderat material i laborextrudern utan tvättning. I övrigt markerar siffrorna uppehållstiden i ”vattenbadet”.

Tabell 8. Bestämning av TS- och VS-halt i de analyserade proverna

	Material (vårvete)	TS (%)	VS (%)
4	Torrextruderat	87,5%	67,7%
5	Grundmaterial	82,6%	76,2%
6	Mix 48h	17,7%	14,3%
7	Mix 3 h	29,4%	24,3%
8	Mix 1 h	25,2%	20,5%
9	Fin + vätska	22,2%	18,2%
10	Grov + vätska	19,7%	16,9%
11	Labor 48 h	23,9%	19,9%
12	Labor 3 h	29,5%	23,9%
13	Labor 1 h	29,3%	24,1%
14	Labor 0 h	81,7%	61,4%
	Monoymp	8,0%	6,2%
	Sjölunda ymp	1,6%	0,9%

<sup>21</sup> Lehmans bedömning av slitage med avseende på TS-halt.

Rötdata från proverna som undersökts av LTH visas i diagram 1.

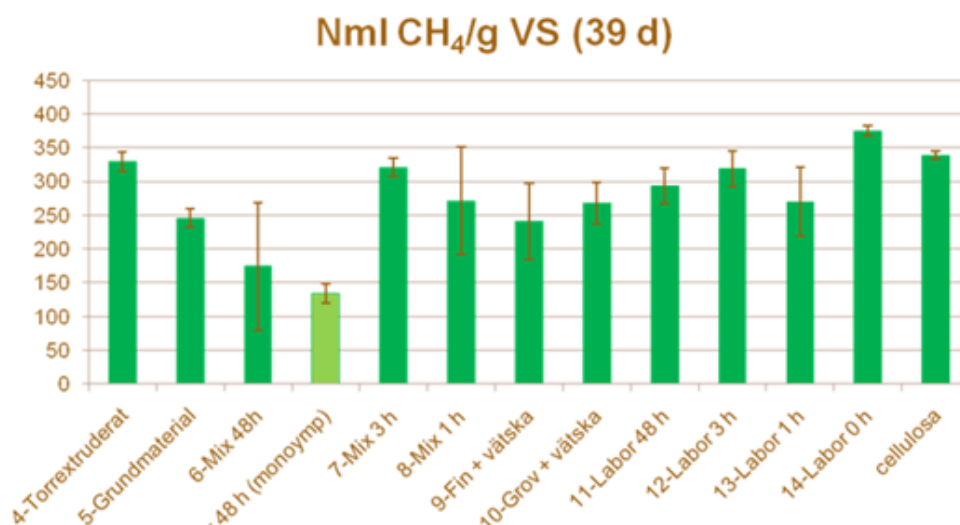


Diagram 1. Rötdata från BMP-tester på värvetehalm utförda vid LTH våren 2014. Felstaplarna anger standardavvikelsen i de triplikata mätningarna.

Enligt diagram 1 har prov nummer 14 högst biogaspotential (torrextruderat material med laborextruder). Det kan tyda på att torrextrusion effektivare bryter ner det lignocellulosarika materialet. Samtidigt ökar energiinsatsen och förmodligen även slitaget på utrustningen betydligt, vilket innebär att hela systemet måste utvärderas närmare.<sup>22</sup> Grundmaterialet, värvetehalmen, ger cirka 250 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS och efter extrudering stiger gasutbytet till i genomsnitt 320 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS. Det är en ökning med 28 %.

### 6.4.3 Provrötning 2 - Lehmann

Den 14 april 2015 åkte delar av projektgruppen åter igen till Jocketa och Lehmanns fabrik. Flera olika sorters biogassubstrat medtogs, bland annat höstvetehalm, ängsgräs (rörflen) samt energigräs (Szarvasi-1), se tabell 9.

Tabell 9. Substrat som fraktades ner till Tyskland och Lehmann för extrudering. Tabellen visar även hur substraten behandlades innan extrudering och bestämning av TS-halt

Substrat	Vätning	TS (% efter extrudering)
Höstvetehalm	Ja	35
Höstvetehalm	Nej	90
Rörflen (ensilerad)	Nej	49
Rörflen (balad lagrad ute)	Nej	66
Szarvasi-1 (ensilerad)	Nej	54
Szarvasi-1 (balad lagrad ute)	Nej	65

Förbehandling av substraten via extrudering genomfördes i Lehmanns industrilokal på deras extruder på 22 kW med avvattningfunktion. Torrsubstanshalten undersöktes efter extrudering. Två timmar blötlades delar av höstvetehalmen innan extrudering och jämfördes med ej blötlagd

<sup>22</sup> Bygger framför allt på uppgifter från Lehmann, men på plats i Tyskland kunde vi konstatera att energiinsatsen ökar om substratet är torrare och materialet ryker av värme vid utloppet, vilket tyder på att utrustningen slits mer under dessa förhållanden jämfört med ett våtare substrat.

halm. De övriga substraten våtbehandlades inte. Tabell 10 visar de substrat som behandlades och som togs till rötning. Även ett referensprov (obehandlat) för varje substrat rötades.

Figur 6 visar extrudering och manöverreglage på den extruder (22 kW) som användes.



Figur 6. Bilden till vänster visar toppmatning av halm till B22-extrudern med avvattningsfunktion. Bilden till höger visar reglaget som bland annat styr strömstyrka, riktning och hastighet på skruvarna i extrudern. Foto: Peter B. Odhner.

Figur 7 visar hur halmen såg ut före respektive efter extrudering.



Figur 7. Den obehandlade höstvetehalmen visas till vänster. Den extruderade höstvetehalmen till höger. Foto: Matthieu Warzecha LMEngineering GmbH, Tyskland.

Det är tydligt från figur 7 att extrudering har stor effekt på halmen. Materialet är finmalet och kan lättare integreras i en våt biogasprocess. Obehandlad halm riskerar att flyta upp och sätta igen inmatningssystem. Efter extrudering samlades totalt 12 prover in (inkl. referenser). Lehmann fick samma material för rötning till det tyska labbet i Hof och prover togs till Sverige som lämnades till LTH för rötning. Resultatet från rötningarna vid det tyska biogaslabbet i Hof visas i tabell 10.

Tabell 10. Resultatet från provrötningar genomförda på biogaslabb i Hof, maj 2015

Substrat		Enhet
Halm (referens)	424	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Våthalm (extruderat)	440	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Torrhalm (extruderat)	490	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Ängsgräs (referens) Rörflen	120	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Ängsgräs (extruderat) Rörflen	440	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Ängsgräs (ensilerat, referens) Rörflen	243	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Ängsgräs (ensilerat, extrud.) Rörflen	311	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Energigräs (referens) Szarvasi-1	207	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Energigräs (extruderat) Szarvasi-1	381	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Energigräs (ensilerat, referens) Szarvasi-1	189	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
Energigräs (ensilerat, extruderat) Szarvasi-1	290	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS

Enligt tabell 10 så har det skett en kraftig ökning av biogasutbytet för ängs- och energigräsen. Höstvetehalmen visar på en svagare ökning jämfört med referensvärdet. För exempelvis ängsgräset (rörflen) som legat rundbalad utan täckning i ca 7 månader sedan hösten 2014 steg gasutbytet med över 300 procent. Att lagra dessa gräs i balad form utomhus utan täckning verkar ha en positiv effekt på gasutbyte när materialet sedan extruderas. Liknande slutsats drogs även inom BioM-projektet där ängsgräs lagrats utan täckning före bioextrudering och rötning på Foulum.

#### 6.4.4 Provrötning 2 – LTH

Flera av proverna rötades även på LTH och resultaten redovisas i diagram 2.

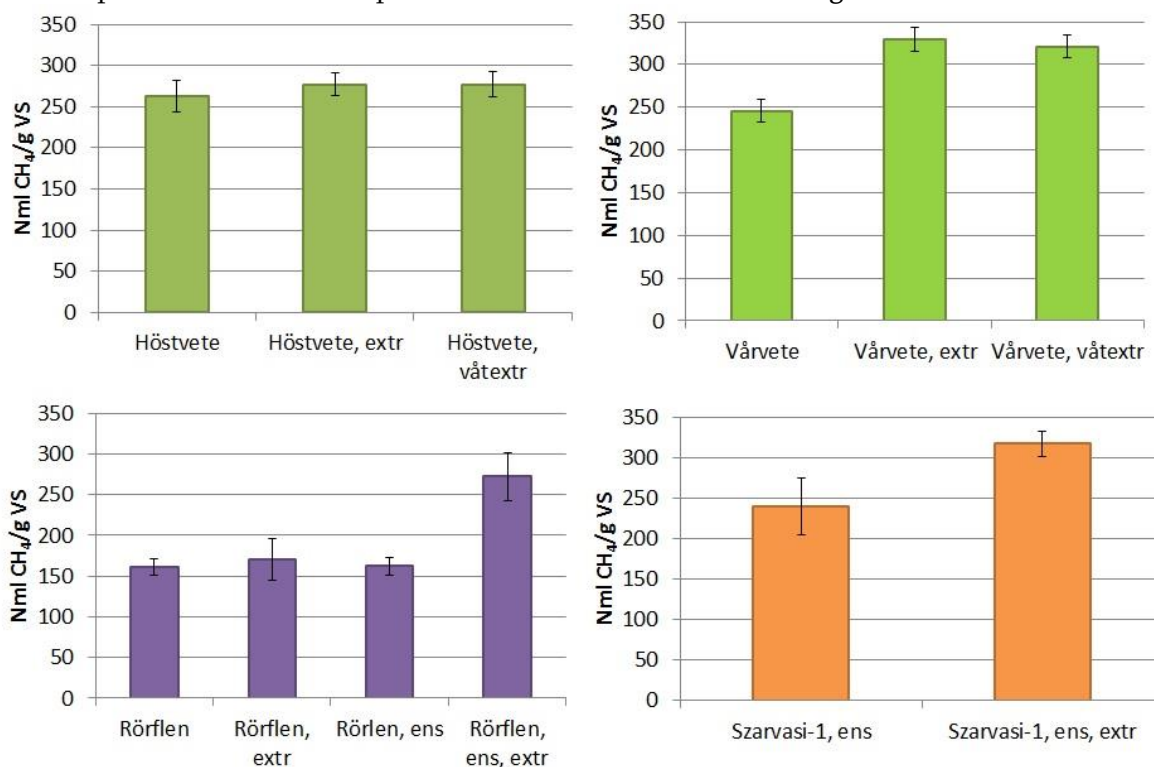


Diagram 2. Metangasutbyte från rötning på LTH av de extruderade substraten och referenssubstraten. Felstaplarna anger standardavvikelsen i de triplikata mätningarna.

För de extruderade proverna steg metangasutbytet generellt (Diagram 2). För vårvetehalm (cirka 85 % TS) steg utbytet med 30 % när substratet torrextruderades alternativt våtextruderades efter 3 timmars blötläggning (ca 25 % TS). För höstvetehalm var ökningen relativt liten jämfört med vårvetehalmen. För ängsgräset rörflen ökade gasutbytet med nästan 50 % när materialet först var ensilerat och därefter extruderat, jämfört med rörflen som endast var ensilerat (Diagram 2). För energigräset Szarvasi-1 steg gasutbytet med cirka 30 % jämfört med när det endast var ensilerat. Sammantaget tycks extrudering ge ett ökat gasutbyte. De stora skillnaderna mellan proven från det tyska biogas-labbet i Hof och LTH kan eventuellt förklaras med ympen<sup>23</sup> som användes. Resultaten från provrötningar ska ses som indikation på hur metangasutbytet påverkas. För att göra energiberäkningar och ekonomiska utvärderingar krävs dock mer omfattande BMP-studier och försök. För de teoretiska beräkningarna har därför även litteraturdata använts.

## 6.5 Kostnader, teknik och kapacitet

Ovan har provrötningarna presenterats och sammantaget tyder resultatet på att metangasutbytet stiger för det extruderade materialet, men framför allt kommer rötprocessen igång snabbare, enligt figur 3. Men det innebär ju också kostnader att förbehandla materialet i en extruder, med avseende på investering, drift och underhåll. Nedan beskrivs de merkostnader som är förenade med extrudering.

Kostnaderna för en bio-extruder, som matas automatiskt, består framför allt av:

- Kapitalkostnad (kapitalränta i %) för investering
- Drift (energianvändning i kWh multiplicerat med elpris)
- Underhåll (kostnad för reparation + arbetskostnad)

Alla kostnader kan översättas i kr/kWh biogas eller kr per ton substrat utifrån kapacitetsdata (hur stor massa kan behandlas under en tidsperiod) som vi beskrivit ovan. Vi har valt kr/ton VS i beräkningarna, men redovisar i vissa fall även kostnaderna i kr/kWh metangas.

Vi har framför allt baserat våra kostnadsberäkningar på befintliga extrudermodeller som körts under längre tid. Åtminstone 6000-8000 drifttimmar är nödvändigt för att kunna dra slutsatser kring underhållskostnader. Eftersom leveransen av inköpt extruder till projektet dröjde över ett år kunde vi bara använda effekt- och kapacitetsdata från extruderutrustning i praktisk drift (se kap 4.3). Underhållskostnaderna i denna undersökning bygger således på verkliga driftdata från Karlskoga Biogas AB och Lehmanns interna undersökningar.

### 6.5.1 Investering och kapacitet

Inköpskostnaden för en extruder på 74 kW ligger på runt 800 000 kr enligt Lehmann.<sup>24</sup> En sådan maskin kan behandla uppemot 35 ton substrat (med en TS-halt på ca 35 %) per dag, om extrudern går 12-20 timmar per dag. Det motsvarar cirka 12 ton TS per dag och cirka 4 500 ton TS per år.

En mindre extruder på 15 kW kostar ca 350 000 kr i inköp och en extruder på 22 kW ca 400 000 kr. Det är således inte så stor prisskillnad mellan de minsta och den större. Det beror förmodligen

---

<sup>23</sup> Ympens ursprung har stor betydelse för mikrobernas effektivitet. Om bakterierna ej är vana vid ett substrat kan det ta längre tid för gasen att utvecklas (Björnsson m.fl., 2014; Agrotech).

<sup>24</sup> Muntlig källa: Lehmann, M. 2015-05-02.

på att den större extrudern kan ”massproduceras” och de mindre specialanpassas till kundernas krav och behov.

En extruder på 15 kW kan behandla 1-2 ton per dag (färskt material), eller 0,3-0,6 ton VS per dag. Men det är mycket beroende av material, enligt våra praktiska erfarenheter. Kapaciteten per år kan då uppgå till över 100 ton VS, eller cirka 300 ton biomassa per år (med en TS-halt på 30-35 %). Förmodligen kan större mängder substrat behandlas även i de mindre extruderna som testats, men då krävs ett kontinuerligt inmatningssystem.

Med en extruder på 22 kW ökar kapaciteten till uppskattningsvis 600 ton biomassa per år. En lantbrukare som har flyt- och djupströ som ska rötas, kan då extrudera 600 ton djupströgödsel per år. Det motsvarar ungefär 150-200 mjölkkor, vilket är en förhållandevis stor gård i svenska sammanhang. Det innebär att för de flesta gårdar räcker det med en extruder på 22 kW för att öka rötbarheten, minska risken för svämtäcke och problem med inmatning av fiberrika substratet i röt-kammaren.

### 6.5.2 Underhålls- och arbetskostnader

Underhållskostnaderna för extrudern i Karlskoga ligger på 400-450 000 kr per år. Att kostnaderna ligger så högt anses bero på inkörningsproblem. Kostnaderna uppskattas till 350-400 000 kr per år under normala driftförhållanden.<sup>25</sup> Eftersom endast gräs och gräsvall behandlas i Karlskoga kan kostnaderna vara högre för andra substrat som djupströgödsel med eventuella orenheter.

Uppgifter från Lehmann visar på liknande kostnader. Enligt Lehmann ska olika reservdelar bytas inom vissa intervall. Tabell 11 visar styckepris och antal delar som måste bytas ut. Intervallet kan variera mellan 1500 och 4000 timmar på en 74 kW extruder. Körs maskinen kontinuerligt (ca 8000 tim/år) kommer underhållskostnaderna att uppgå till närmare 500 000 kr per år. Här ingår även arbetskostnad och förlorad drifttid vid byte.

Tabell 11. Delar i extrudern som måste bytas vid jämna intervall, antal och styckepris

	<b>Benämning</b>	<b>Antal</b>	<b>Enhetspris (sek)</b>
1)	Slitplatta	1	1334
2)	Slitprisma	6	1702
3)	Slitinlägg	3	3910
4)	Överföringsvikter	20	80
5)	Slitlock	2	782
6)	Slitprisma, fyllning ovan	2	874
7)	Slitinlägg, fyllning ovan	2	874
8)	Tandrem	1	13386
9)	Skärningsmodul	2	5658
10)	Komprimeringsmodul	2	7038
11)	Inmatningsmodul, kort	2	5842
12)	Inmatningsmodul, tandad, lång	4	9154

Sammantaget är underhållskostnaderna höga i förhållande till investeringen (kapitalkostnaden) och detta måste givetvis beaktas i kalkylen. För en bioextruder på 74 kW som hanterar fiberrika

<sup>25</sup> Muntlig källa: Styr, F. Karlskoga Biogas. 2015-05-06.

substrat med en hög TS-halt och orenheter (stenar, grus, mm) kan underhållskostnaden uppgå till 400-500 000 kr per år vid kontinuerlig drift (ca 8000 timmar per år) och i beräkningarna nedan används en underhållskostnad som uppgår till 100 kr per ton VS inklusive arbetskostnad och driftstopp. Underhållskostnaderna torde vara något högre för en mindre extruder, eftersom den relativa kapaciteten är lägre, men vi har inga andra data att tillgå, så vi använder samma kostnadsbild.

### 6.5.3 El- och arbetskostnad

Elpriset är satt till 0,50 kr/kWh och arbetskostnaden till 500 kronor per timme. Enligt våra analyser används 68 % av max-effekten vid kontinuerlig drift. Det innebär att en extruder med 22 kW förbrukar cirka 15 kW, eller att en 74 kW förbrukar cirka 50 kW i extruderingsprocessen.

En extruder på 74 kW kan behandla 0,5 ton VS per timme (med en TS på 35-40 %, vilket innebär att halmen måste våtläggas innan extrudering). Det ger en energikostnad på 100 kWh/ton VS, vilket motsvarar 50 kr per ton VS.

Den kostnaden per ton VS ligger något högre, runt 50 %, för en extruder på 15 kW resp. en på 22 kW, vilket då motsvarar 75 kr/ton VS, eftersom kapaciteten i relativa tal är lägre. Mer indata krävs för att säkerställa kapacitet och kostnad för de mindre maskinerna, men samma indata används både för de små och den stora extrudern i beräkningarna nedan.

### 6.5.4 Kostnadskalkyler

En kostnadskalkyl beskriver kostnader förenade med en viss produkt. I tabell 12 illustreras de totala kostnaderna för en större extruder på 74 kW i kronor per ton VS.

Tabell 12. Kostnader för extrudering av fiberrik biomassa med en 74 kW extruder

<u>Parameter</u>		<u>Enhet</u>
Effekt	74	kW
Energitillförsel	100	kWh/ton VS
<u>Kostnader</u>		
Energi, el	50,0	kr/ton VS
Personal	188,7	kr/ton VS
Underhåll/support	156,3	kr/ton VS
Ränta	10,4	kr/ton VS
<b>Summa</b>	<b>405,4</b>	<b>kr/ton VS</b>

Totalt uppgår kostnaden enligt tabell 14 till cirka 400 kr/ton VS.

En gårdsbaserad extruder för behandling av gödsel och halm kan ju vara betydligt mindre. I kalkylen i tabell 13, beskrivs kostnaderna för en 22 kW extruder i kronor per ton VS.

Tabell 13. Drift- och underhållskostnader för en 22 kW extruder (behandling av ensilage)

<u>Parameter</u>		<u>Enhet</u>
Effekt	22	kW
Energitillförsel	150	kWh/ton VS
<u>Kostnader</u>		
Energi, el	75,0	kr/ton VS
Personal	188,7	kr/ton VS
Underhåll/support	156,3	kr/ton VS
Ränta	10,4	kr/ton VS
<b>Summa</b>	<b>430,4</b>	<b>kr/ton VS</b>

Sammantaget skiljer sig inte kostnaderna så mycket mellan en större och mindre extruder. Förmodligen ligger underhållskostnaden något högre för en mindre extruder i förhållande till kapaciteten. Kostnaden på över 400 kr per ton VS som extruderas måste således motsvara värdet av det ökade metangasutbytet om erhålls p.g.a. förbehandlingen.

### 6.5.5 Driftserfarenheter från Karlskoga Biogas, bioextruder på 74 kW

Bioextrudern levererades till Karlskoga Biogas AB hösten 2013 och har varit en del av en totalentreprenad där Purac var huvudentreprenör. Purac har i sin tur anlitat olika underentreprenörer, däribland Lehmann som har levererat extrudern samt två transportörer. Gränssnitten mellan entreprenadens olika delar har inte fungerat friktionsfritt, vilket har gjort att man än så länge inte kommer åt all driftdata på ett lämpligt sätt. Detta i kombination med att anläggningen inte har tagits över från Lehmann gör att Karlskoga Biogas inte har någon egen uppföljning av driftdata såsom tillgänglighet eller energianvändning.

Under de 1½ år som bioextrudern har använts har man dock kunnat bilda sig en kvalitativ uppfattning om driften och utrustningens egenskaper. Vad gäller kapaciteten så har extrudern inte varit någon flaskhals i systemet, så den faktiska kapaciteten verkar stämma med vad som har lovats från leverantören. I leveransen från Lehmann ingick utrustning för avskiljning av stenar och metall. Denna utrustning upplevs som enkel och primitiv, samt inte särskilt effektiv. En del stenar passerar stenfällan och hamnar i extrudern. Extrudern klarar gräs med valfri TS-halt. Vid TS-halter över 40 % uppstår det dock valvbildning som gör att substratet inte förs in i extruderns valsar. Därför har man försökt tillföra röt-kammarinnehåll för att blöta upp gräset och få ner det i valsarna, men det har inte fungerat optimalt eftersom även röt-kammarinnehållet innehåller grässtrån. Idag anser man att en uppblötning med vatten skulle fungera bättre. Huruvida behandlingen i extrudern bidrar till ökad metangasproduktion kan man inte säga idag. Man har dock aldrig upplevt några problem med igensättningar eller svårigheter att pumpa det behandlade substratet, och inte heller blir det svämtäcken i röt-kammaren. Detta kan troligtvis relateras till att extrudern finfördelar materialet bra. Inmatning av extruderat gräs leder till en ökad gasproduktion efter 2-3 dygn (jämfört med när inget gräs tillförs).

Ett centralt problem är slitaget i utrustningen. På grund av brist på substrat har man inledningsvis regelbundet kört extrudern utan tillförsel av gräs. I tomgång börjar dock extrudern att ”slå och väsnas”, och man har observerat ett starkt slitage, så att byten av slitageplåtar har behövts betydligt oftare än var 500:e timme som uppges av leverantören. Därför försöker man numera undvika tomgångsdrift genom jämnare matning och förväntar sig ett underhållsintervall närmare



leverantörens uppgift. Vissa slitdelar har under tiden skaffats genom lämpliga lokala entreprenörer istället för via Lehmann.

## 6.6 Energibalans- och lönsamhetsberäkningar

Kostnaderna för extrudering uppgår till ungefär 400 kr per ton substrat (VS).<sup>26</sup> Nedan beskrivs värdet av en ökad metangasproduktion, förutsatt att anläggningen i sig kan hantera ett ökat biogasgasflöde och nya typer av substrat.

Provrötningarna visar på en ökad rötningsaktivitet på kort sikt samt att gasutbytet ökar med 10-50 % för de studerade substraten. För torrextruderad vårvetehalm ökade gasutbytet relativt kraftigt vid de första provrötningarna. Vid den andra rötningarna med höstvetehalm var skillnaderna betydligt mindre, men i genomsnitt ökade gasutbytet för halm med cirka 30 procent, vilket överensstämmer relativt väl med litteraturdata. För energi- och ängsgräs finns det få litteraturdata, men enligt provrötningarna steg gasutbytet i genomsnitt med cirka 50 procent, både för gräs i ensilerade rundbalar och för gräs som rundbalats och som därefter lagrats utomhus utan täckning. Lönsamhetsberäkningarna nedan bygger på dessa data.

### 6.6.1 EROIE

Vid en energibalans tas bara hänsyn till energi-input minus energi-output. Det finns en vanlig term som används i sådana sammanhang och undersökningar (Energy Return Of Invested Energy = EROIE). EROIE kan exempelvis användas för att beskriva hur mycket energi som går åt för att framställa olika energislag som ex. el, olja eller gas. I detta fall med extrudering innebär det att beräkna hur mycket energi som går åt för att extrudera materialet och hur mer mycket energi (metan) som kan genereras efter behandling jämfört med ett obehandlat material. Om metangasutbytet stiger med 30-40 % motsvarar det ett energivärde samtidigt som energiinsatsen ökar initialt. Energiinsatsen kan påverkas en del av materialets TS-halt, utloppets öppningsgrad på extrudern och inmatningshastigheten.

Enligt våra sammanställningar steg gasutbytet för vårvetehalm med 30 % och för gräs med 50 %. Tabell 14 visar de värden som vi använt i beräkningarna.

Tabell 14. Energibalans vid extrudering och efterföljande rötning

	Gasutbyte (obehandlat), Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton VS	Gasutbyte (extruderat), Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton VS	Differens, Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton VS	Energivärde, kWh/ton VS*
Vårvetehalm	240	300	60	580
Gräs	200	300	100	967

\* 1 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> = 9,67 kWh

Den totala ökningen av metangas, efter extrudering, motsvarar en energimängd på mellan 500 och 1000 kWh/ton VS. Energin som tillförts (el) uppgår totalt till 100-150 kWh/ton VS. EROIE-index ligger således på mellan 5 och 10 gånger för dessa substrat. Därtill finns det också en energikostnad för råvaruhanteringen, men den påverkar även substrat som inte extruderas på ett likvärdigt sätt. Till stor del ligger provrötningar och genomsnittsvärden bakom dessa siffror och de måste

<sup>26</sup> Uppskattningsvis ligger en mindre extruderer på närmare 500 kr/ton VS.

undersökas närmare, men att energibalansen är positiv vid extrudering torde vara helt klart, vilket också andra studier har visat.

### 6.6.2 Lönsamhetsberäkningar

I en lönsamhetskalkyl är det några andra parametrar som måste bestämmas, jämfört med en energibalansutvärdering, bland annat metangasvärdet. Kan extrudering bära sina egna kostnader? I projektet tog vi fram en enkel modell för att beräkna kostnaderna och lönsamheten för extrudering. En modell som kan användas för flera olika sorters substrat. Det krävs dock information om TS, VS, kapacitet, investering, rötdata, mm för beräkningarna. Exemplet nedan visar siffrorna för en extruder på 74 kW från Lehmann.

#### Indata

Parameter		Enhet
Substrat	32	TS, %
Substrat	95	VS, %
Mängd (FW)	1100	kg
Investering	790	tkr
Drifttid extruder	60	min
Personal	6	min
Ström	200	A
Spänning	230	V
BMP (normal)	240	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton VS
BMP+	30	%

#### Beräkningsförutsättningar

Parameter		Enhet
El	0,5	kr/kWh el
Personal	500	kr/tim
Underhåll/support	60	% av inv/år
Annuitet	4	%
Gasvärde ut	0,65	kr/kWh

#### Kalkyl

Parameter		Enhet
Energitillförsel	138	kWh/ton VS
<b>Kostnader</b>		
Energi, el	68,8	kr/ton VS
Personal	149,5	kr/ton VS
Underhåll/support	177,2	kr/ton VS
Ränta	11,8	kr/ton VS
<b>Summa</b>	<b>405,3</b>	<b>kr/ton VS</b>
<b>Intäkter</b>		
Förhöjt gasutbyte	468	kr/ton VS
<b>Resultat</b>	<b>72,5</b>	<b>kr/ton VS</b>
<b>Resultat</b>	<b>194</b>	<b>tkr/år</b>

I kalkylen finns alla kostnader med förutom för råvaran, som även belastar obehandlade substrat. Enligt denna kalkyl, för en större extruder på 74 kW, förbättras lönsamheten, under förutsättning att biogasanläggningen kan hantera ett större biogasflöde utan större åtgärder. För en mindre extruder är marginalen mindre, och motsvarar ungefär den ökade kostnaden för förbehandlingen.

Men det viktigaste resultatet är att substratbasen kan breddas och att fler typer av substrat från lantbruket kan rötas på ett effektivt sätt, exempelvis halm, ensilage och gräs.

## 6.7 Totalekonomi - skalbarhet

Även om en eventuell investering kan bära sina egna kostnader så är det många andra faktorer att ta hänsyn till, inte minst råvarukostnader och förmåga att hantera andra substrat, vid biogasproduktion. För en lantbrukare kan en investering i en extruder motsvara en betydligt större andel av totalbudgeten jämfört med en mer industriell biogasanläggning som hanterar stora mängder substrat.

Enligt tidigare undersökningar ligger produktionskostnaderna vid en mindre gårdsanläggning som hanterar 5 000 ton gödsel per år på runt 8 Mkr/år, se tabell 15. En investering i en mindre extruder på 22 kW motsvarar då ungefär 6-7 % av den totala investeringen. Det är under förutsättning att inga andra kostnader tillkommer på grund av ny substrathantering och ökad gasproduktion. För att klara av en kontinuerlig inmatning krävs även transportörer, inlastare, etc, vilket kräver ytterligare investeringar och arbetstid. Eftersom lönsamheten redan idag är svag för många mindre biogasproducenter torde det vara förenat med stor risk att investera i en extruder för att bredda substratbasen, om inte ekonomiskt stöd eller bidrag kan erhållas.

Tabell 15. Produktionskostnads-kalkyl för gårdsbaserad biogasproduktion<sup>27</sup>

Kostnads-kalkyl	kr/år
Kapitalkostnad = $I \cdot r / (1 - (1+r)^{-t})$	3 902
Underhåll, service, drift	2 430
Personal, extern resurs	900
Transportkostnader	750
<b>Totala kostnader</b>	<b>7 982</b>

Vid en 20 gånger större biogasproduktionsanläggning sjunker produktionskostnaden med ungefär 50 %. Även om totalbudgeten är betydligt större, runt 60-70 Mkr, och transportkostnaderna är betydligt högre, så finns det betydligt större marginaler att investera i en extruder. En större extruder på 74 kW kostar runt 0,8 Mkr, vilket bara motsvarar ca 1 % av den totala investeringen. Även i dessa sammanhang krävs det ett inmatningssystem och tillgång till teknisk kompetens som bidrar till ökade kostnader, men samtidigt kan substratbasen breddas och mer komplexa fiberrika substrat från lantbruket kan rötas.

<sup>27</sup> Tabellen kommer ifrån Grontmij's kalkyler av biogasproduktion som både bygger på praktiska data och erfarenheter av biogasproduktion. Se Berglund m.fl., 2012 för liknande beräkningar.

## 7 Diskussion och slutsatser

### 7.1 Utvärdering – ekonomi, teknik och praktik

Den stora nackdelen med extrudering av lignocellulosarika biogassubstrat är de höga underhållskostnaderna som årligen kan motsvara uppemot 60 % av investeringen i extrudern. Trots detta så visar våra beräkningar att kostnaderna för extrudering inte överstiger värdet av metangasutbytets ökning, allt annat lika. Investering i en extruder kan dock kräva andra investeringar och en teknisk support som kan bidra till en försämrad lönsamhet, framför allt för småskaliga biogasanläggningar på gårdsnivå.

En av fördelarna med extrudering är att uppehållstiden i röt-kammaren kan förkortas och detta ger mer gas under kortare tid, och mer metangas bör vara lika med bättre lönsamhet. Alternativt att investeringen reduceras initialt (mindre röt-kammare, enklare omrörningssystem, etc). Det extruderade materialet är också finfördelat efter behandlingen. Det innebär att det torde vara relativt enkelt att integrera extruderad biomassa i befintliga anläggningar för biogasproduktion. Risken för exempelvis svämtäcke och inmatningsproblem i röt-kammaren minskar betydligt efter extrudering av fiberrika substrat. Större biogasanläggningar som har behov av kol- och fiberrika strukturförbättrande substrat kan därmed investera i en extruder och integrera detta i den befintliga biogasproduktionen med relativt låg risk, förutsatt att ekonomin så tillåter.

I kalkylen som tagits fram i projektet finns alla kostnader med förutom råvaran, men den belastar även obehandlade substrat, och enligt denna kalkyl förbättras lönsamheten vid extrudering, under förutsättning att biogasanläggningen kan hantera ett större biogasflöde utan större åtgärder.

Men det viktigaste resultatet från detta projekt är att substratbasen kan breddas och att fler lantbruksbaserade substrat kan rötas på ett effektivt sätt. Viss råvara som redan används inom biogasindustrin kan även bytas ut mot andra generationens avancerade biogassubstrat som halm och gräs så att samma mängd gas kan produceras, men från andra substrat. Då kommer både uppgraderingsenheterna och eventuella gasmotorer att klara gasflödet.

För en mindre extruder är den ekonomiska marginalen mindre, och intäkterna för den ökade biogasproduktionen motsvarar ungefär den ökade kostnaden för extruderingen. Men även i dessa sammanhang kan extrudering vara aktuellt, speciellt om det finns substrat tillgängliga som inte direkt kan nyttjas i en rötningsanläggning, på grund av den fiberrika strukturen hos substraten.

I ett scenario med brist på biogassubstrat eller nya strängare regelverk för användning av första generationens biogassubstrat, såsom helsäd och majs, kan det vara än mer intressant med bioextrudering av stråformiga lignocellulosarika material för att tillfredsställa biogasproducenternas behov av substrat.

En extruder kräver dock mycket underhåll och torra fiberrika material sliter speciellt hårt på de olika delarna i extrudern. Det gäller att hitta rätt avvägning mellan ökat metangasutbyte (energivärde) och energiinsats plus underhållskostnader. Den enda svenska studie som undersökt detta är Borgström m.fl., (2009). I den framkom ett positivt resultat, det vill säga, det var lönsamt att investera i en bioextruder med avseende på det ökade metangasutbytet för flera olika substrat, däribland halm.

Även om Lehmann utvecklat tekniker för att minimera orenheter i form av sand, grus och sten så kan detta komma in i extrudern och orsaka stort slitage på utrustningen. Det gäller följaktligen att hitta rätt avvägning eller balans mellan alla kostnader i produktionssystemet (substrat, underhåll, drift, mm). Om underhållskostnaderna stiger med 10-20 % så kan de äta upp vinsten i form av ett ökat metangasutbyte. Vårt förslag är därför att förbehandla halm med vatten innan extrudering med målet att minska underhållskostnaderna så mycket som möjligt, eftersom de slår direkt mot lönsamheten.

Extrudering ställer också höga krav på redundans, reservdelar och teknisk kompetens. Närhet till leverantör och teknisk support blir därför en viktig faktor, framför allt om fler lantbrukare och andra biogasproducenter skulle införskaffa en extruder i anslutning till biogasverksamheten.

## **7.2 Stora och små anläggningar**

Karlskoga Biogas köpte år 2013 en extruder på 74 kW. I maskinen behandlas framför allt vallensilage. Extrudern har samma kapacitet som den på Lehmanns biogasanläggning i Jocketa, i Tyskland. Ungefär 35 ton material (våtvikt) kan behandlas per dag, vilket motsvarar ungefär 12 ton TS på anläggningen i Tyskland. Det svarar mot 12 000 ton våtvikt eller 4200 ton TS per år. För en gårdsanläggning som producerar 1-2 GWh (där ca 1000 ton halm och gödsel samrötas per år) är det fullt tillräckligt med en mindre extruder på 22 kW med kontinuerlig inmatning.

Vid biogasanläggningen i Jordberga hanteras ca 100 000 ton biomassa per år (TS-halt ca 35 %). En extruder på 74 kW i en sådan biogasanläggning skulle vara i minsta laget. Det går då att tänka sig två linjer, med samma kapacitet, för att öka andelen fiberrika lignocellulosarika biogassubstrat i processen. Två linjer på 74 kW för förbehandling av halm skulle då kunna ersätta ungefär 30 % av biomassan vid kontinuerlig drift. Det finns också en möjlighet att extrudera andra substrat, exempelvis vallensilage och mellangrödor, för att öka andelen av andra generationens avancerade substrat i biogasproduktionen.

## **7.3 Tidigare studier**

Jämfört med tidigare studier om extruderingens effekter visar denna undersökning på ett likvärdigt resultat med avseende på metangasutbyte och energibalans. Gasutbytet tycks öka med ungefär 30-50 % för vårvetehalm resp. gräs, samtidigt som rötprocessen påskyndas. Efter 30 dagar har uppemot 70 % av den lättillgängliga energin i materialet omvandlats till biogas jämfört med ca 50 % för obehandlat material på samma tid.

Det som dock inte framhållits lika tydligt, i andra studier, är de tekniska och ekonomiska effekterna. Vår utvärdering visar att underhållskostnaderna påverkar lönsamheten på ett betydande sätt. Går det att reducera dessa kostnader med olika former av tvättsteg är troligen mycket vunnet. De årliga underhållskostnaderna kan uppgå till 60 % av investeringen, om extrudern körs kontinuerligt med fiberrika slitande substrat, som djupströbädd och torr halm med inslag av orenheter.

## **7.4 Lantbruket och implementering**

Är det då intressant för en lantbrukare som planerar att investera i en biogasanläggning, eller som har byggt en biogasanläggning, att investera i en bioextruder? Genom investering i en bioextruder kan fler lantbruksbaserade substrat rötas, t.ex. fastgödsel, djupströbädd, halm och överblivet

ensilage. I en biogasanläggning för flytgödsel ställs dock höga krav på substratets pumpbarhet och för att kunna bredda substratbasen krävs därför någon form av effektiv förbehandling. De lantbrukare som producerar biogas gör ofta el av gasen, vilken säljs på nätet. Genom att bredda substratbasen kan mer metangas och el produceras, vilket i sig påverkar lönsamheten positivt, men det innebär också ökade kostnader i form av investering, drift och underhåll. I beräkningarna ovan har inte råvarupriset beaktats, men på en lantbruksfastighet kan normalt ovan nämnda substrat inte nyttjas i dagslägen på något annat sätt än för nedplöjning eller spridning på åkern. Därför blir substratkostnaden relativt låg. Produktionskostnaden för en mindre extruder på 22 kW ligger på ca 430 kr/ton VS, men samtidigt kan gasutbytet öka med 30 %, vilket motsvarar ungefär samma värde. Det innebär att lönsamheten inte förbättras, men att fler substrat kan rötas och rötresten kan sedan hanteras på ett mer effektivt sätt och förmodligen gynnas även växtnäringssuppletet jämfört med ”direktspridning” av fastgödsel, djupströbädd etc. Totalt sett kan därför gården gynnas av en sådan investering, men förmodligen krävs ett stigande el- eller metangaspris för att detta ska bli verklighet. I dagsläget är det låga priser på el, vilket medför att många mindre biogasproducenter går på knäna och viljan att investera i ny teknik är därför låg. Produktionskostnaderna för metangasen är redan höga och det finns i många fall låg avsättning för värmen.

Lantbrukare kan även välja att leverera extruderat material till en större biogasanläggning som är i behov av mer kolrika substrat med högre TS-halt.<sup>28</sup> Substratkostnaden i sådana fall kommer att påverkas mycket av priset på råvaran som ska extruderas. Vid en jämförelse mellan extruderad halm och obehandlad majs så framstår de som tämligen likvärdiga, eftersom biogasmajs kostar mer än halm att köpa in. Kostnaderna för extrudering av halm ligger på runt 400 kr per ton VS. Sedan finns det en kostnad för att samla in och lagra halmen som uppgår till ca 600 kr/kg VS (Berglund, P., 2011). Kan den behandlade halmen avyttras för 1100-1200 kr per ton VS exkl. transport till en biogasanläggning, så kan extrudering vara ett intressant alternativ både för lantbruket och biogasindustrin.

---

<sup>28</sup> Det finns även en möjlighet att de fiberrika substrat kan binda mikrober och ge upphov till fler fästytter, på samma sätt som i olika hydrolyssteg. Det i sig kan ge en högre biogasproduktion.

## 8 Referenser

### Litteratur

- Agrotech. *Evalueringsrapport marginale jorder och odlingsystem*. I. URL: [http://agrotech.dk/sites/agrotech.dk/files/public/uploads/Projects/BioM/evalueringsrapport\\_marginale\\_light.pdf](http://agrotech.dk/sites/agrotech.dk/files/public/uploads/Projects/BioM/evalueringsrapport_marginale_light.pdf)
- Avfall Sverige mm. Berglund, m.fl., 2012. *Biogas from lignocellulosic biomass*. I. URL: <http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/U2012-07.pdf>
- Berglund, P. 2011. *Pelletering av halm – produktionskostnadsbeskrivning*. I. URL: <http://www.regionhalland.se/PageFiles/9634/Pelletering%20av%20halm%20BEH%202011.pdf>
- Berglund, P., Bohman, M., Svensson, M., Benjaminsson, J. 2012. *Teknisk och ekonomisk utvärdering av lantbruksbaserad fordonsgasproduktion*. Rapport SGC 249. <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC249.pdf>
- Björnsson L., Lantz M., Murto M., Davidsson Å., 2011. *Biogaspotential i Skåne – inventering och planeringsunderlag på översiktsnivå*. [http://www.lansstyrelsen.se/skane/SiteCollectionDocuments/Sv/publikationer/2011/Biogaspotential\\_i\\_Skane\\_111114.pdf](http://www.lansstyrelsen.se/skane/SiteCollectionDocuments/Sv/publikationer/2011/Biogaspotential_i_Skane_111114.pdf)
- Björnsson, L. m.fl., 2013. *Impact of biogas energy crops on greenhouse gas emissions, soil organic matter and food crop production – a case study on farm level*. I. URL: [http://www.f3centre.se/sites/default/files/f3\\_report\\_2013-27\\_biogas\\_energy\\_crops\\_140407.pdf](http://www.f3centre.se/sites/default/files/f3_report_2013-27_biogas_energy_crops_140407.pdf)
- Björnsson L., m.fl., 2014. *Förbehandling av lignocellulosarika råvaror för biogasproduktion - Nyckelaspekter vid jämförande utvärdering*. Rapport nr. 92, Miljö- och energisystem, Institutionen för teknik och samhälle, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=4930042&fileOid=4930056>
- Borgström, Y., 2011. *Pretreatment technologies to increase the methane yields by anaerobic digestion in relation to cost efficiency of substrate transportation*. Examensarbete, Linköpings Universitet. I. URL: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:432791/FULLTEXT02>
- Bruckner, C, Weiss, D, & Mildner, U. 2007. *Mundgerechtere bakterienkost*. Bauern Zeitung, 36, 48{49.
- Davidsson Å. 2015. *Metanpotentialbestämning för utvärdering av extrudering av biomassa*. Opublicerad rapport. Inst. för kemiteknik, Lunds Universitet.
- Hjorth, M., Gränitz K., Adamsen A.P., Möller H.B., 2011. *Extrusion as a pretreatment to increase biogas production*. I. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21339066>
- Montgomery, L.F.R., Bochmann, G., 2014. *Pretreatment of feedstock for enhanced biogas production*. I. URL: [http://www.build-a-biogas-plant.com/PDF/pretreatment\\_iea2014.pdf](http://www.build-a-biogas-plant.com/PDF/pretreatment_iea2014.pdf)
- Prade m.fl., 2015. *Vall och helsäd som biogassubstrat – Utvärdering av skördetidpunktens och snittlängdens påverkan på energiutbytet och substratkostnaden*. Inst. för Biosystem och teknologi, SLU. [http://pub.epsilon.slu.se/12402/7/prade\\_tetal\\_150625.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/12402/7/prade_tetal_150625.pdf)

Williams, B.A., van der Poel A.F.B, Boer H., Tamminga S., 1999. *The effect of extrusion conditions on the fermentability of wheat straw and corn silage*. I. URL:  
[http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199705\)74:1%3C117::AID-JSFA777%3E3.0.CO;2-F/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-0010(199705)74:1%3C117::AID-JSFA777%3E3.0.CO;2-F/abstract)

### **Muntliga källor**

Lehmann, M. 2015-05-02.

Møller, M., Aarhus Universitet. Foulum. 2013-05-03

Styr, F. Karlskoga Biogas. 2015-05-06

Warzecha, M. Lehmann. [M.warzecha@lmengineering.de](mailto:M.warzecha@lmengineering.de) 2015-04-18



