

## Rörflen till biogas och strö – Ett innovativt kombisystem i norr

Carina Gunnarsson, Andras Baky, Ida Norberg,  
Cecilia Wahlberg Roslund, Anne-Maj Gustavsson  
och Cecilia Palmberg





## Rörflen till biogas och strö – Ett innovativt kombisystem i norr

Reed canary grass for biogas and bedding – An innovative combination system in the north

Carina Gunnarsson, Andras Baky, Ida Norberg, Cecilia Wahlberg Roslund, Anne-Maj Gustavsson och Cecilia Palmborg



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik  
JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

### En referens till denna rapport kan skrivas på följande sätt:

Gunnarsson, C. m.fl. 2015. Rörflen till biogas och strö – Ett innovativt kombisystem i norr. Rapport 436, Lantbruk & Industri. JTI – Institutet för jordbruks- och miljö teknik, Uppsala

### A reference to this report can be written in the following manner:

Gunnarsson, C. et al. 2015. Reed canary grass for biogas and bedding – An innovative combination system in the north. Report 436, Agriculture & Industry. JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Uppsala, Sweden



# Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning .....	7
Summary .....	8
Bakgrund.....	9
Syfte och mål.....	10
Genomförande .....	10
Demoodlingen .....	11
Gödsling.....	11
Skörd.....	12
Botanisk och kemisk analys .....	12
Skörd av rörflen på Röbbäcksdalen.....	12
Satsvisa utrotningar .....	13
Systemanalys .....	14
Odlingskostnader .....	15
Kostnader för skörd, transport och lagring .....	15
Kostnader för sönderdelning .....	17
Intäkter.....	18
Resultat .....	19
Avkastning .....	19
Botanisk och kemisk sammansättning .....	20
Metanpotential.....	21
Arealeffektivitet.....	22
Kostnader och intäkter .....	23
Energi .....	25
Studieresa Karlskoga och Västerås .....	26
Biogasbolaget, Karlskoga.....	26
SBI Västerås .....	26
Demonstrationsdag.....	26
Diskussion.....	27
Avkastning och metanproduktion .....	27
Tillförselsystem och ekonomi .....	28
Slutsatser .....	29
Referenser .....	30
Bilaga 1 Kalkyler för hantering av rörflen.....	33



## Förord

Detta projekt har genomförts under åren 2014 och 2015 av JTI tillsammans med Hushållningssällskapet (Cecilia Wahlberg Roslund), lantbrukarna Maud och Stellan Strand, Biofuel Region (Anna Säfvestad Albinsson), KlaraGas i Vännäs (Nils-Gunnar Mattsson och Stig Rönnlund) samt Jämtlandsgas i Hammerdal (Esbjörn Olofsson). Dessutom har projektet samarbetat kring rörflenets avkastning, botaniska sammansättning och metanproduktion med Cecilia Palmborg och Anne-Maj Gustavsson vid institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, SLU.

I projektets undersöktes förutsättningar för att använda grönskördad rörflen som substrat för biogasproduktion och som strö. I ett fältförsök hos Maud och Stellan Strand i Västra Spöland utanför Vännäs undersöktes rörflenets avkastning vid två skördar. På JTI:s biogaslab undersöktes rörflenets metanbildande potential. Dessutom beräknades tillförselkostnader för system med två gröna skördar till biogas alternativt en grön skörd till biogas och en torr skörd till strö.

Som stöd till projektet fanns en referensgrupp bestående av Karin Eliasson, Hushållningssällskapet, Cecilia Palmborg, SLU, och Christer Lingman, SBI.

Projektet finansierades av Energimyndigheten inom ramen för programmet Bränsleprogrammet Tillförsel.

Uppsala i september 2015

*Anders Hartman*

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik





## Sammanfattning

I norra Sverige odlas ca 500 ha rörflen. Rörflenet skördas sen höst eller tidig vår och används framförallt som strö, men har tidigare också använts som fastbränsle. I dagsläget har rörflenet svårt att konkurrera med andra fasta bränslen, och detta projekt har därför fokuserat på att undersöka förutsättningarna för att använda rörflen som substrat för biogasproduktion och till strö.

I projektets undersöktes två systemlösningar, Biogas och Biogas+Strö. Systemet Biogas bestod av två skördar av rörflen som användes som substrat vid produktion av biogas. Första skörd skedde på sommaren kring midsommar och andra skörd på hösten i slutet av augusti till början av september. I systemet Biogas+Strö skördades första skörden på samma sätt som i system Biogas medan andra skörden skördades torr efterföljande vår och användes till strö.

I en redan etablerad rörfleodling utanför Vännäs genomfördes en demoodling för att bestämma rörflenets avkastning under praktiska förhållanden. Rörflenet på demoodlingen skördades två gånger och gödslades med nötflytgödsel inför varje skörd. System Biogas avkastade totalt 7 055 kg ts/ha, vilket var 23 % högre jämfört med system Biogas+Strö som totalt avkastade 5 704 kg ts/ha. Detta tyder på att förlusterna blev stora när rörflenet stod kvar i fält över vintern och skördades torrt på våren. För att få mer kunskap om avkastning och biogasproduktion från rörflen inkluderades ett fältförsök med rörflen hos SLU i Röbbäcksdalen i studien.

För att bestämma den metanbildande potentialen gjorde JTI satsvisa utrötningar på rörflen från demoodlingen och rörflen skördat hos SLU. Efter 100 dagars rötning hade rörflen från första skörd högre specifikt metanutbyte jämfört med rörflen från andra skörden, skillnaden var dock inte statistiskt säkerställd. Metanproduktionen per hektar var 20 MWh för demoodlingen och 27 MWh för SLU:s rörfleodling.

Resultat från demoodlingen och de satsvisa utrötningarna användes som indata till beräkningar av kostnader, intäkter och energiåtgång för de studerade systemen Biogas och Biogas+Strö. För rörflen till biogas beräknades kostnader för skörd med exakthack eller rundbalspress medan kostnaderna för skörd av rörflen till strö beräknades för rundbalspressning. Beräkningarna visade att tillförselssystemet med exakthackad grönskördad rörflen hade lägre kostnad än motsvarande system med rundbalar, 783 kr/ton ts (5 524 kr/ha) respektive 1 429 kr/ton ts (10 083 kr/ha). Den främsta orsaken till skillnaden var att extra sönderdelning behövdes för att det rundbalsskördade rörflenet skulle få en kvalitet, i detta fall strållängd, som var jämförbar med exakthackat rörflen.

Baserat på ett pris på grödor till biogas på 460 kr/MWh, vilket är samma pris som för vallgröda till biogas, samt metanutbyten från de satsvisa utrötningar utförda i projektet beräknades priset på rörflen till biogas till 1,28 kr/kg ts från första skörden och 1,19 kr/kg ts från andra skörden. Priset på rörflenet till strö sattes till 1,40 kr/kg ts. Om kostnaderna relateras till intäkter från försäljning av grödan blev nettot positivt för de system som exakthackade rörflen till biogas och negativt för rundbalssystemen. Detta gäller även för systemet när andra skörden används till strö. Använd energi i form av diesel beräknades för de olika scenarierna och visade att disel användningen inte skiljde sig mycket mellan olika scenarier.

## Summary

In northern Sweden there are currently about 500 hectares of cultivated reed canary grass (RCG). RCG is harvested in late autumn or early spring, and is primarily used as bedding material. While reed canary grass has been used as a solid fuel, currently it cannot compete with the cost of other solid fuels. This project investigated the feasibility of using RCG as substrate for biogas production and as a bedding material.

This project tested two possible uses for RCG, just Biogas, and Biogas + Bedding. The just Biogas system involved using two harvests of green RCG for biogas; the first harvested around midsummer, the second in late August/ early September. In the system Biogas + Bedding test, the first harvest was also harvested around midsummer, while the second was harvested dry in the following spring and used for bedding material.

Using an established RCG cultivation plot outside of Vännäs, a demonstration crop trial was carried out to determine potential yield. The RCG was harvested twice and fertilized with cattle slurry before each harvest. The just Biogas system yielded 7 055 kg DM/ha, which was 23% higher than the Biogas + Bedding system yield of 5 704 kg DM/ha. This result suggests major losses occur when RCG remains in the field over the winter and is harvested dry in the spring. To get more information about yield and biogas production of RCG a second field trial at SLU in Röbbäcksdalen was included in the analysis.

To determine methane-production potential JTI undertook batch digestion tests of the RCG both from Vännäs and Röbbäcksdalen. After 100 days of digestion, the first harvest of RCG in midsummer had a higher methane yield per ton DM than RCG from the second harvest in late August/ early September. The difference was not statistically significant. Methane production per hectare was 20 MWh for the RCG from outside of Vännäs, and 27 MWh for the RCG from SLU.

Results from the crop trial in Vännäs and the batch digestion tests were used to calculate costs, revenues and energy consumption for the two systems; just Biogas, and Biogas + Bedding. Harvesting costs of RCG for biogas were calculated when using a precision chopper or round baler, while costs for harvesting RCG for bedding was calculated using a round baler. Calculations show that precision chopped RCG had a lower harvesting cost than round bales: 783 SEK/ton DM (5 524 SEK/ha) and 1 429 SEK/ton DM (10 083 SEK/ha) respectively. The main reason for this difference was the need for further disintegration of the RCG harvested with a round baler to get a quality, in this case the straw length, comparable to RCG harvested with a precision chopper.

Based on a crop price for biogas of SEK 460/MWh, which is the current price of ley crops for biogas, and using methane yields from the batch digestion tests, an estimated price for RCG for biogas was calculated as 1.28 SEK/kg DM from the first harvest in midsummer, and 1.19 SEK/kg DM from the second harvest in late August/early September. The price of RCG for bedding material was 1.40/kg DM. Revenues for RCG were positive for the just Biogas system when using a precision chopper, and negative for when using round balers. These results were also true for the Biogas + Bedding system. Diesel consumption was also calculated and showed little difference between the two systems.

## Bakgrund

Rörflen odlas idag på ca 800 hektar i Sverige, varav nästan 500 ha i norra delen av landet. Användning som fastbränsle har varit den dominerande inriktningen. Även forskningen har de senaste 20-25 åren fokuserat på användning som fastbränsle, och kunskapsnivån vad gäller odling och tillförsel av rörflen för förbränning är därför god (Gustavsson och Paulrud, 2011; Paulrud m.fl., 2009; Larsson m.fl., 2006; Phakala m.fl., 2003; Paulrud m.fl., 2001). Rörflen är ett flerårigt gräs som kan ge goda skördar på många olika jordtyper i hela landet. Särskilt på sämre marker, där få andra grödor är lönsamma, kan rörflen fungera och bidra med ett betydelsefullt tillskott av förnybar energiråvara. Rörflen är också en gröda som kan odlas på myrmarker som idag är outnyttjade. För att uppnå det svenska miljö-kvalitetsmålet Ett rikt odlingslandskap, är det speciellt i skogsbygder viktigt att undvika att åkermark växer igen.

Med det prisläge som råder på biobränslen är det i nuläget svårt att få avsättning för rörflen som bränsle (Paulrud, 2015). Genom att hitta flera användningsområden kan rörflen bli mer attraktiv att odla, vilket är viktigt framförallt i Norrland och andra skogsbygder där många lantbruk läggs ner och landskapet riskerar att växa igen. System som möjliggör flera användningsområden för den skördade grödan minskar sårbarheten och risker för lantbrukaren. Genom att odla rörflen på outnyttjad mark skulle mer förnybar energi kunna produceras och samtidigt bidra med positiva effekter för samhällets miljömål om klimat och mångfald. I detta projekt deltar två biogasanläggningar som projekteras i Hammerdal och Vännäs, och som båda ser rörflen som ett möjligt substrat. I närheten av den tilltänkta Vännäsanläggningen finns etablerade rörfleodlingar och i Hammerdalsområdet finns stora arealer som används extensivt eller inte alls.

Rörflen som strö och strukturfoder är intressant, speciellt i Norrland där halm kan vara en bristvara pga. sämre klimatförutsättningar för spannmålsproduktion och möjligheter att tillvarata fälttorr halm. Hackad eller balad rörflen kan användas direkt som strö, men strö kan också tillverkas genom att riva briketterad rörflen. Torr skörd av rörflen kan antingen ske genom att rörflenet slås sent på hösten och sedan ligger i sträng över vintern och bärgas på våren, eller genom att såväl slåtter som bärgning sker på våren.

Grönskördad rörflen kan vara ett intressant substrat för biogasanläggningar. Till exempel Nordberg m.fl. (1997) har visat att det finns biologiska, tekniska och ekonomiska fördelar med att samröta olika substrat såsom vall och hushållsavfall. Om rörflenet ska användas för biogasproduktion skördas det grönt på sommaren och då bärgas fler skördar per år i likhet med skörd av konventionell vall. När rörflen skördas mer än en gång per år finns det en risk att dess uthållighet minskar och den behöver sås om oftare. Seppälä (2009) nämner efter Ito m.fl. (1997) att rörflen inte klarar upprepade avslagningar lika bra som andra vallgrödor.

När grödor ska användas till biogasproduktion är sönderdelning av grödan viktig ur olika aspekter. Om exakthack används vid skörd ger det en kortare strållängd jämfört med vid balpressning som kan kräva en ytterligare sönderdelning innan inmatning i biogasanläggningen. Kort strållängd och mekanisk bearbetning för att bryta grödans fiberstruktur ökar substratets tillgänglighet för nedbrytning i rötningsprocessen, vilket kan påverka biogasutbytet positivt (Brückner och Sawatzki, 2011; Weiss och Brückner, 2008). Prade m.fl. (2015) har visat att snittlängdsinställningen vid skörd påverkar metanpotentialen hos vall. Kortare snittlängd kan dessutom

minska behov och energiförbrukning för omrörning, pumpning etc. under rötningen. Biogasanläggningens krav på förbehandling och sönderdelning är beroende av utformningen av röttkammare och kringssystem samt substratets uppehållstid i röttkammaren. För rörfilen till biogasproduktion finns ett behov av att undersöka och optimera parametrar kopplade till odling, såsom skördetidpunkter, antal skördar, skördenivåer och gödslingsstrategier, såväl som utformning av tillförselkedjan samt behov av förbehandling.

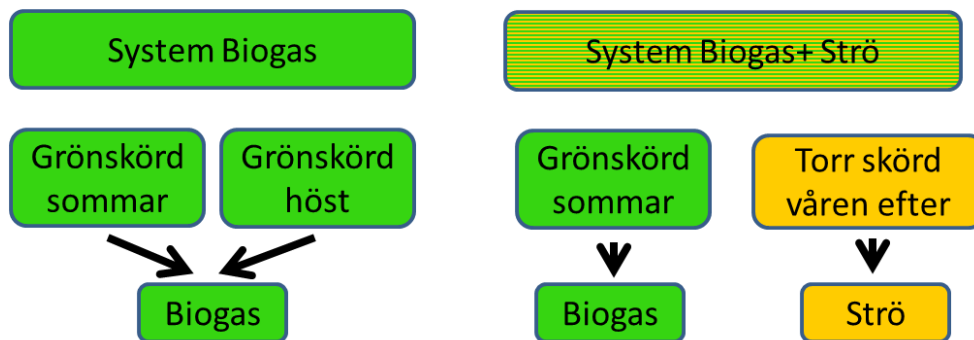
## Syfte och mål

Syftet med projektet är att utvärdera grönskördad rörfilens lämplighet som biogassubstrat i Norrland. Projektets mål är att:

- Undersöka skördenivåer för grönskördad rörfilen och rörfilen till strö
- Bestämma den metanbildande potentialen för grönskördad rörfilen
- Identifiera tillförselkedjor för rörfilen som biogassubstrat och strö
- Beräkna kostnader, intäkter samt energianvändningen för rörfilen som biogassubstrat och strö
- Sprida kunskap om odling och skörd av rörfilen som biogassubstrat och strö på en informationsdag

## Genomförande

Projektet genomfördes i en praktisk del och en teoretisk del. Den praktiska delen innehöll en demoodling för att undersöka rörfilens avkastning samt utrotningsförsök i laboratorieskala för att uppskatta rörfilens metanbildande potential.

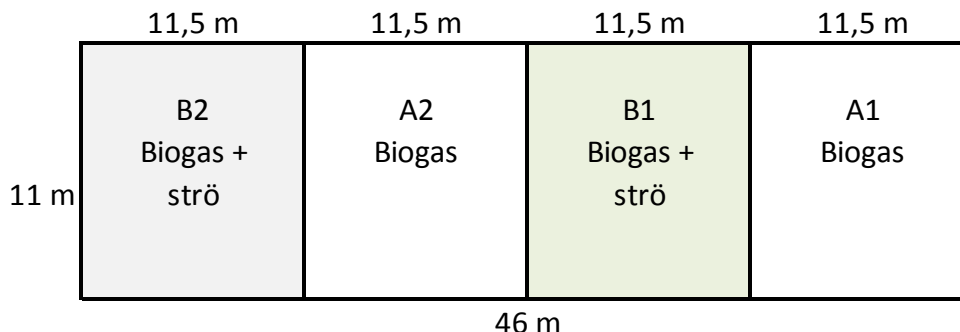


Figur 1. De två studerade systemen "Biogas" och "Biogas+Strö".

Med avseende på kostnader och energiåtgång gjordes i den teoretiska delen en analys av odling, skörd, transport, lagring och förbehandling. I projektet undersöktes två system, se figur 1. System Biogas innefattar två skördar av grön rörfilen på sommaren kring midsommar och på hösten i slutet av augusti till början av september. Det skördade rörfilenet användes som substrat i biogasanläggningar. I systemet Biogas+Strö skördas första skörden på samma sätt som i system Biogas. Andra skörden skördades efterföljande vår och användes till strö.

## Demoodlingen

Rörflenets avkastning för både första och andra skörd till biogas och andra skörd till strö bestämdes vid odling enligt de två systemen som visas i figur 1. En botanisk analys av det grönskördade rörflenet gjordes av SLU i Umeå.



Figur 2. Upplägg av demoodling.

Resultaten från bestämning av avkastning användes som indata i systemanalysen. Demoodlingen anlades på en befintlig rörflensodling etablerad 2007 med sorten Venture hos Maud och Stellan Strand i Västra Spöland utanför Vännäs. Fältet för demoodlingen valdes ut, markerades och delades in i fyra rutor, se figur 2. Arealen per ruta uppmättes till 126,5 m<sup>2</sup>.

## Gödsling

På våren, 24 maj, samt efter första skörd, 8 juli, gödslades fältet med ekologisk nötflytgödsel. Vid spridning användes tankvagn med bredspridningsaggregat och givan var 25 ton/ ha vid båda spridningstillfällena. Gödseln som spreds inför första skörd analyserades och spridd giva av kväve, fosfor och kalium beräknades, se tabell 1.

Tabell 1. Nötflytgödseln sammansättning vid första skörd och tillförsel av växtnäring vid spridd giva (25 ton/ ha).

	Prov 1	Prov 2	Medel	Enhet	Spridd giva	Enhet
Ts-halt	7,0	7,0	7,0	%	1 750	kg/ ha
Total-N	3,2	2,8	3,0	kg/ ton	75	kg/ ha
Organiskt N	1,8	1,3	1,6	kg/ ton	39	kg/ ha
Ammonium-N	1,4	1,5	1,4	kg/ ton	36	kg/ ha
Total-C	29,6	34,5	32,0	kg/ ton	800	kg/ ha
C/N-kvot	9,2	12,2	10,7		10,7	kg/ ha
Total-P	0,60	0,30	0,40	kg/ ton	11	kg/ ha
Total-K	1,87	1,95	1,90	kg/ ton	48	kg/ ha
Total-Mg	0,47	0,49	0,48	kg/ ton	12	kg/ ha
Total-Ca	3,01	0,97	1,99	kg/ ton	50	kg/ ha
Total-Na	0,29	0,24	0,26	kg/ ton	6,5	kg/ ha
Total-S	0,37	0,24	0,31	kg/ton	7,8	kg/ ha
pH	6,83	6,85	6,84		6,84	

## Skörd

Vid den första skörden till biogas den 3 juli 2014 skördades alla rutor och vid den andra skörden till biogas den 2 september 2014 skördades ruta A1 och A2 (figur 2). Vid ströskörden på våren slogs rörflenet från ruta B1 och B2 den 28 april och pressades med rundbalspress dagen efter. Innan varje skörd slogs vändtegen runt om fältytan och det avslagna gräset avlägsnades genom att pressas med rundbalspress (figur 3).



Figur 3. Fältet med de fyra rutorna efter att vändtegen slagits.

Rutorna slogs med en slåtterkross. Samlingsprov för utrötning och kemisk analys togs från rörflenet i strängen efter slåtterkrossen. Detta gjordes genom att gå i en diagonal genom varje ruta, dvs. som ett M över hela ytan, och ta nävar av gräs jämnt fördelat över sträckan. Från varje ruta togs prov för att analysera torrsubstans (ts). Därefter bärgades rörflenet från varje ruta separat med en rundbalspress. Balarna nätades och plastades. I några rutor var avkastningen så låg att det inte var möjligt att bala rörflenet. I de fallen tömdes rörflenet manuellt från pressen och lades i plastsäck för vägning. Balarna vägdes på en pallvåg med noggrannheten  $\pm 0,1$  kg.

## Botanisk och kemisk analys

Från de två skördarna till biogas analyserade SLU rörflenets botaniska sammansättningen samt utvecklingsstadium. Tre stycken rutor 50 x 50 cm klipptes med en grässax vid samma stubbhöjd som vid slåtterkrossning. Rutorna togs i en diagonal från nedre delen på A1 till övre delen på B2. Proven sorterades i ogräs, dött material samt rörflen i olika utvecklingsstadier. På ett samlingsprov från varje skörd gjordes en kemisk analys. För rörflenet torkat som strö analyserades även den hygieniska kvaliteten.

## Skörd av rörflen på Röbbäcksdalen

Som komplement till demoodlingen och för att få mer information om avkastningsnivåer vid skörd av grön rörflen till biogas inleddes ett samarbete med SLU i Umeå.

På försöksgården Röbbäcksdalen i Umeå har SLU fältförsök med provrutor med olika rörlenssorter som skördas grönt i ett tvåskördesystem.

SLU skördade första skörden av rörlenet i provrutorna den 1 juli och andra skörden den 2 oktober. Rörlenssorten var SWRF5004 och till skörden användes en Haldrupskördare. Några dagar innan rutorna skördades togs prover ut för analys och då uppskattades även avkastningen genom klippning av en ruta 50 x 50 cm. För analys av en tidigare första skörd gjordes dessutom en provtagning och provklippning den 17 juni. Detta resulterade i prover för utrotningstester från två olika tidpunkter av första skörd samt från en andra skördetidpunkt.

## Satsvisa utrotningar

För att bestämma rörlenetets metanbildande potential gjorde JTI satsvisa utrotningar på rörlenet skördat på demoodlingen. Samlingsprov gjordes från första respektive andra skörd. Rörlenet hackades innan analys, se figur 4. Metanpotentialen bestämdes även för rörlenet från SLU i Röbbäcksdalen, där torkade prover av materialet från första och andra skörd skickades till JTI för satsvisa utrotningar. Proverna torkades vid 60°C i 48 h.



Figur 4. Det färska rörlenet hackades till en storlek av ca 2-4 cm innan utrotning (t.v.). De satsvisa utrotningarna gjordes i glasflaskor med tre upprepningar av varje prov (t.h.).

Utrötningförsöket gjordes vid ett och samma tillfälle för samtliga prover. Därför frystes proverna från demoodlingen innan utrotningförsöket startades. Proverna från SLU torkades i väntan på utrotningförsöket. För att få proverna från SLU och demoodlingen så jämförbara som möjligt torkades även de frysta proverna från demoodlingen innan analys av metanpotential.

De satsvisa utrotningar utfördes i enlitersflaskor med tre upprepningar (figur 4). Rörlenet blandades med ymp från Uppsala reningsverk för att snabbare starta upp biogasprocessen. Mängden substrat i varje flaska relaterades till mängden ymp som 2 delar substrat till 3 delar ymp baserat på innehållet av lättnedbrytbart organiskt material (VS, Volatile Solids). Flaskorna fylldes till ca 60 % av totala volymen.

Flaskorna placerades på skakbord i rum med konstant temperatur på 37° C och metanproduktionen mättes i drygt 90 dagar. Den totala gasproduktionen beräknades genom att mäta trycket i flaskorna med en tryckmätare (GMH 3110) utrustad med en trycksensor (GMSD 2 BR; 1 000 till 2 000 mbar). Mätintervallen bestäm-

des av gasproduktionen, vilket innebar att mätningarna skedde oftare i början av utrötningen när gasproduktionen var högre. I samband med att trycket mättes togs gasprover för analys av metanhalt på gaskromatograf (Perkin Elmer ARNEL Clarus 500). Gasproduktionen konverterades därefter till normalgasvolym (gasvolym vid 101 kPa och 0° C). Metanproduktionen bestämdes som ml CH<sub>4</sub>/ g VS. Från metanproduktionskurvan kan metanutbytet vid olika uppehållstider bestämmas. Förutom de undersökta substraten gjordes även utrötningar av endast ymp samt ymp med cellulosa. Hänsyn togs till metanproduktionen från ympen genom att dra bort den från provets totala metanproduktion.

## Systemanalys

Beräkning av kostnader, intäkter och energiåtgång gjordes för de två systemen Biogas och Biogas+Strö enligt figur 1. De två systemen kombinerades till fyra scenarier

1. Två skördar med exakthack till biogas, B(hack)
2. Två skördar med rundbalspress till biogas, B(bal)
3. En skörd med exakthack till biogas och en skörd med rundbalspress till strö, B(hack)+S(bal)
4. Skörd med rundbalspress till biogas och strö, B+S(bal)

Resultat från demoodlingen och de satsvisa utrötningarna användes som indata till beräkningarna. Eftersom rörfenet i demoodlingen skördades med konventionella maskiner och skörden vägdes efter eventuella förluster vid skörd och bärgning, användes den vägda avkastningen i beräkningarna. Valet av system för skörd, transport och lagring gjordes i samverkan med KlaraGas och Jämtlandsgas.

Beräkningarna gjordes för skörd av ett antaget system med 500 ha rörfen fördelat på tre cirkulära områden kring den planerade biogasanläggningen. Rörflensarealen antogs fördela sig med 300 ha inom det innersta området med 10 km maxradie och 8 km medeltransportavstånd. De båda yttre områdena med maxradie 20 och 30 km från anläggningen hade vardera 100 ha rörfen på medeltransportavstånden 16 och 24 km från bioanläggningen. Rörflenet från det innersta området transporterades direkt till biogasanläggningen med traktor och vagn för lagring. Från de yttre områdena mellanlagrades rörfenet innan transport till biogasanläggningen i takt med användning. Transport från fält till mellanlager skedde med samma typ av traktor och vagn som transporter inom det innersta området. Transport från mellanlager till anläggning skedde med lastbil och släp.

Medeltransportavståndet från fält eller mellanlager till anläggning beräknades med en formel från Nilsson (1995), där det antas att anläggningen ligger i centrum och fälten finns spridda runt anläggningen. Avståndet mellan fält och anläggning beräknas med hjälp av variabler som totala tillgängliga mängden rörfen som levereras till anläggningen, hur stor skörden är per hektar samt hur stor andel av den totala arealen inom ett område som utgörs av rörfen. För att även ta hänsyn till att vägen inte är rak finns en så kallad slingerfaktor som anger hur krokig vägen är (Nilsson, 1995).



## Odlingskostnader

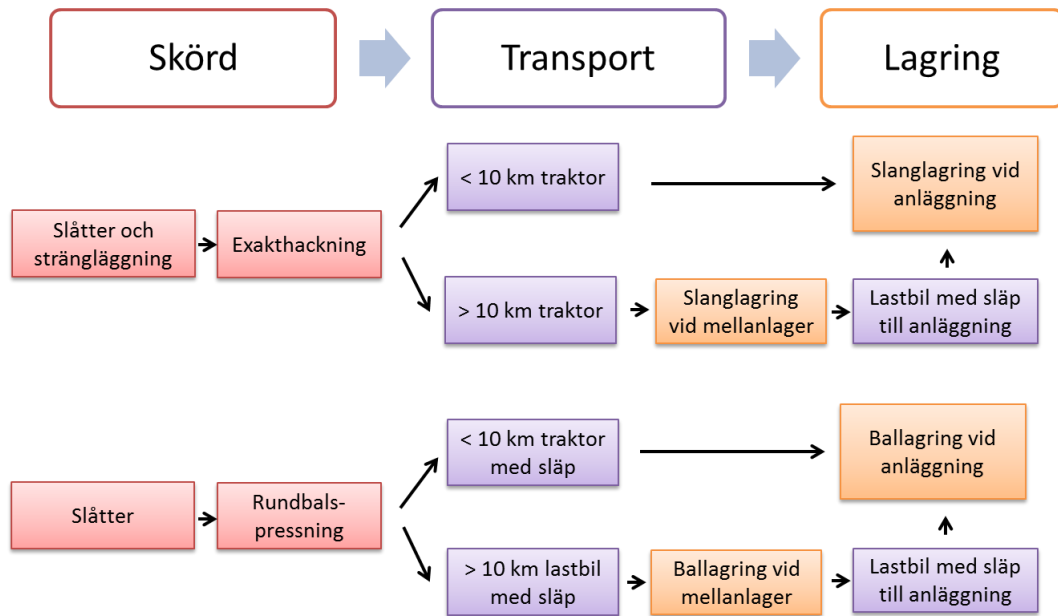
En odlingskalkyl togs fram för rörflen med 5 års omdrevstid, dvs. det antal år rörflenet ligger innan det sås om (tabell 2). Kalkylen baserades på Jordbruksverkets kalkyler för energigrödor 2015 (Jordbruksverket, 2015) och innefattade insatsmedlen utsäde och ogräsbekämpningsmedel samt maskinoperationerna plöjning, harvning, sådd, ogräsbekämpning samt gödsling. Gödsling antogs ske med nötflytgödsel. I kalkylen beräknas en kostnad för spridning av gödseln, men inte för det värde som växtnäringen i gödseln kan tänkas utgöra. Maskinkostnaderna beräknades med hjälp av timkostnader från Maskinkalkylgruppen (2014).

Tabell 2. Kalkyl för odlingskostnader baserade på Jordbruksverkets kalkyler (Jordbruksverket, 2015) samt maskinkostnader från Maskinkalkylgruppen (2014).

Specifikation			
<u>Insatsmedel</u>	<u>Kvantitet per år</u>	<u>Pris per enhet</u>	<u>kr per hektar</u>
Utsäde	2 kg	100	200
Ogräspreparat, glyfosat	0,2 ggr	125	25
<i>Summa insatsmedel</i>			225
<u>Arbetsmoment vid anläggning</u>	<u>Gånger per år</u>	<u>kr per timme</u>	
Plöjning	0,2	946	189
Harvning	0,4	1 023	82
Sådd	0,2	1 099	61
Ogräsbekämpning	0,2	743	37
Gödsling	2	1 086	1 006
<i>Summa maskinkörningar</i>			1 375
<i>Summa kostnader</i>			1 600

## Kostnader för skörd, transport och lagring

En beräkningsmodell togs fram i Excel för att beräkna maskinkapaciteter och kostnader per ha och per kg ts skördad rörflen. Maskinkostnader beräknades som kronor per timme med data från Maskinkalkylgruppen (2014). Drivmedelskostnaden på 9,75 kr/ l beräknades genom att medelpriset för diesel 2014 ([www.spbi.se](http://www.spbi.se)) reducerades med moms, 25 %, samt med återbetalning till lantbrukaren med 90 öre per liter diesel. Arbetskostnaden sattes till 255 kr/ h och är hämtad från Maskinkalkylgruppen (2014).



Figur 5. Studerade tillförselkedjor för skörd, transport och lagring av rörflen till biogas och strö.

De arbetsmoment som inkluderades i kalkylerna var slåtter, bärgning, transport och lagring i slang eller rundbalar, se figur 5. När rörflenet skördades för biogas tillkom även en kostnad för strängläggning. Vid exakthackning sammanlades material från två strängbredder till en sträng. Det torra rörflenet till strö stränglades direkt vid slåtter. Maskinernas kapacitet i draget bestämdes av strängtjockleken och körhastigheten. Den praktiska kapaciteten beräknades genom att reducera kapaciteten i draget med en fälteffektivitet som tog hänsyn till tid för vändningar etc. Skördekapaciteten bestämdes av hackens praktiska kapacitet i fält och transportkapaciteten anpassades till hackens, för att undvika väntetider för hacken.

Vid exakthackning kördes transporter från fält till lager med traktor och vagn. Traktorn kördes vid lastning parallellt med hacken. När vagnen var full kom nästa ekipage och tog över utan att hacken behövde stanna och vänta. Efter tömning kördes ekipaget tillbaka till fältet där hacken arbetade. I transportkostnaderna ingick lastning på fält, transport tur och retur samt lossning vid lagringsplatsen. I det innersta området, 10 km runt biogasanläggningen, kördes rörflenet vid skörd direkt till biogasanläggningen för lagring. I de båda yttre områdena mellanlagrades rörflenet i närheten av fältet, följt av lastbilstransport till biogasanläggningen i takt med förbrukningen efter skördesäsongen. Transportavståndet 1 km antogs från fält till mellanlager. Vid lagret tippades det exakthackade rörflenet på avlastarbordet till en självgående tubläggare.

Vid skörd med rundbalspress nätades och plastades balarna i fält. För transport av balad rörflen både till biogas och till strö gjordes samma antaganden som för hackad rörflen avseende transportavstånd, lagring vid anläggning och mellanlagring i fält.

I tabell 3 specificeras de maskiner som ingick i beräkningarna samt de kapaciteter och körhastigheter som beräkningarna baserades på.

Tabell 3. Specifikationer för beräkningar av maskinkapaciteter och -kostnader.

Maskin	Arbetsbredd/ storlek	Körhastighet	Praktisk kapacitet
Slåtterkross, tredelad	9 m	9 km/h	6,0 ha/ h
Rotorsträngläggare	13 m vid exakt-hackning, 8 m vid rundbalning	8 km/h	8,0 ha/ h exakt-hackning, 4,9 ha/h vid rundbalning
Rundbalspress	Strängar från 8 m arbetsbredd	2,5 km/h	1,7 ha/h
Självgående exakthack	Strängar från 13 m arbetsbredd	6 km/h	5,5 ha/h
Självgående tubläggare			5,5 ha/h
Tippvagnar, 12 ton	40 m <sup>3</sup>	30 km/h lastad, 35 km/h tom	
Lastbilstransport	90 m <sup>3</sup>	55 km/h lastad, 65 km/h tom	52 balar/ekipage
Baltransport traktor, 3-axlad	15 ton	30 km/h lastad, 35 km/h tom	28 balar/ekipage

Tabell 4 visar indata som användes i beräkningarna. Bränsleförbrukningen hämtades från Maskinkalkylgruppen (2014) och angivna värden är medelförbrukningen för valda traktorer. Kostnaderna för lastbil med släp sattes till 950 kr/ h inklusive förare och drivmedel, enligt uppgifter från fraktföretag. Bränsleförbrukningen för transporter med lastbil och släp beräknades till 0,28 l/km och 0,52 l/km för tom respektive full last, med data från NTM (2010).

Tabell 4. Indata som användes i beräkningarna.

Specifikation	Värde	Kommentar
Plast och nät rundbalar grönskörd	230 kr/ton ts	Prisuppgift från Lantmännen aug 2015
Nät rundbalar ströskörd	26 kr/ton ts	Prisuppgift från Lantmännen aug 2015
Tubplast, 12 fot, 150 m	50 kr/ton ts	Prisuppgift från Lantmännen aug 2015
Densitet rörflen i slang	200 kg ts/m <sup>3</sup>	Sundberg, 2007
Lastdensitet färsk rörflen	90 kg ts/m <sup>3</sup>	Gunnarsson m fl. 2007
Lastdensitet lagrad rörflen	150 kg ts/m <sup>3</sup>	Antagande
Vikt grönskördad rörflensbal	245 kg ts/ bal (45 % ts)	Antagande
Vikt rörflensbal till strö	215 kg ts/ bal (85 % ts)	Antagande
Tid lassning eller lossning rundbalar	1 min/bal	Antagande
Tid att tömma från vagn till tubläggare	8 min för 40 m <sup>3</sup>	Antagande

### Kostnader för sönderdelning

För att få en jämförbar strållängd mellan balad och hackad rörflen till biogas antogs en extra sönderdelning av den balade rörflen till biogas med en mobil kross. Krossning gjordes 5 gånger per vecka, vilket för 500 ha rörflen innebar 55 balar

per sönderdelningstillfälle. Arbetsgången var att först ta av plast och nät på alla balar med en avplastare som är monterad på traktorns frontlyft, och därefter läggs rörflenet på marken vid krossen. Rörflenet matades till krossen med traktor.

Underlag för att beräkna kostnaden för krossning av rörflen saknas, såsom bränsleförbrukning, kapacitet och tidsåtgång, varför antaganden gjorts (tabell 5). För avplastare och kross beräknades den årliga kostnaden för avskrivning (A) enligt annuitetsmetoden:

$$A=af (Inv-Rv)$$

där af är annuitetsfaktor, Inv är investeringskostnad och Rv är restvärde.

Annuitetsfaktorn beräknas enligt:

$$af= p / (1-(1+p)^{-t})$$

Där p är kalkylränta (%) och t är avskrivningstid (år).

Annuitetsmetoden ger en årlig kostnad för investeringen som funktion av kalkylränta och den tid som investeringen skrivs av. Hänsyn tas även till eventuellt restvärde. Med specifikationer enligt tabell 5 blev annuitetsfaktorn 0,1233 för krossen och 0,2246 för avplastaren.

Tabell 5. Specifikationer för beräkningarna.

Specifikation	Avplastare	Kross	Kommentar
Inköpspris, kr	60 000	2 750 000	Antagande
Avskrivningstid, år	5	10	Antagande
Restvärde, % av inköpspris	0	20	Antagande
Ränta, %	4	4	
Bränsleförbrukning, l/ h	a)	35	Antagande
Kostnad traktor till avplastning och lastning, kr/ h	625	-	110 kW, inklusive frontlastare, förare och bränsle
Tid för avplastning, min/ bal	2,5	-	Inkluderar hämtning av bal vid lager samt avläggning vid kross
Tid för att lägga balen i krossen, min/ bal	1	-	Antagande
Underhållskostnad, kr/ ton	a)	5	Antagande

a) är inkluderad i kostnaden för traktorn

## Intäkter

Priset på grödor för framställning av biogas varierar beroende på faktorer såsom tillgång, efterfrågan och grödans kvalitet. Jordbruksverket (2015) använder i sina kostnadskalkyler för energigrödor till biogas ett pris på 460 kr/MWh baserat på vall. Utifrån detta värde samt metanutbyten från de satsvisa utrötningar som gjordes i projektet beräknades ett pris på rörflen till biogas från första och andra skörd. Metanutbytet reducerades med 10 % för att efterlikna förhållande i fullskaleanläggningar. Priset reducerades med 5 % för att ta hänsyn till förluster under lagring och uttagning. För beräkning av intäkten från försäljning av rörflenet till strö sattes priset till 1,40 kr/kg ts baserat på uppgifter från Forslundagymnasiet i Umeå (Rönnlund, 2015).

## Resultat

### Avkastning

Rörflenet på demoodlingen skördades 3 juli och 2 september 2014 samt 28-29 april 2015. Vid första skördetillfället var fältet ojämnt och vänstra bilden i figur 6 är från den sämsta sidan av fältet. Fältet såg visuellt ut att vara jämnare vid andra skördetillfället, bilden till höger i figur 6.



Figur 6. Demoodlingen vid första skörden den 3 juli 2014 (t.v.) och andra skörden den 2 september 2014 (t.h.)

Avkastning och ts-halt för varje ruta och skörd framgår av tabell 6. Medelavkastningen vid första skörden var 2 900 kg ts/ha i system Biogas, fältruta A, och 3 500 kg ts/ha för system Biogas+Strö, fältruta B. Genomsnittsavkastningen för alla fyra rutorna var 3 201 kg ts/ha.

Tabell 6. Avkastning och ts-halt från skördarna i demoodling.

Fältruta	Vikt skördat material, kg	Avkastning, kg/ ha	ts-halt, %	Avkastning, kg ts/ ha
Första skörden				
A1	93	7 383	27,5	2 030
A2	158	12 482	29,8	3 720
B1	124	9 771	30	2 931
B2	191	15 099	27,3	4 122
Andra skörden				
A1	179	14 150	26,5	3 750
A2	189	14 941	26,5	3 959
B1	34	2 688	85	2 285
B2	40,5	3 202	85	2 721

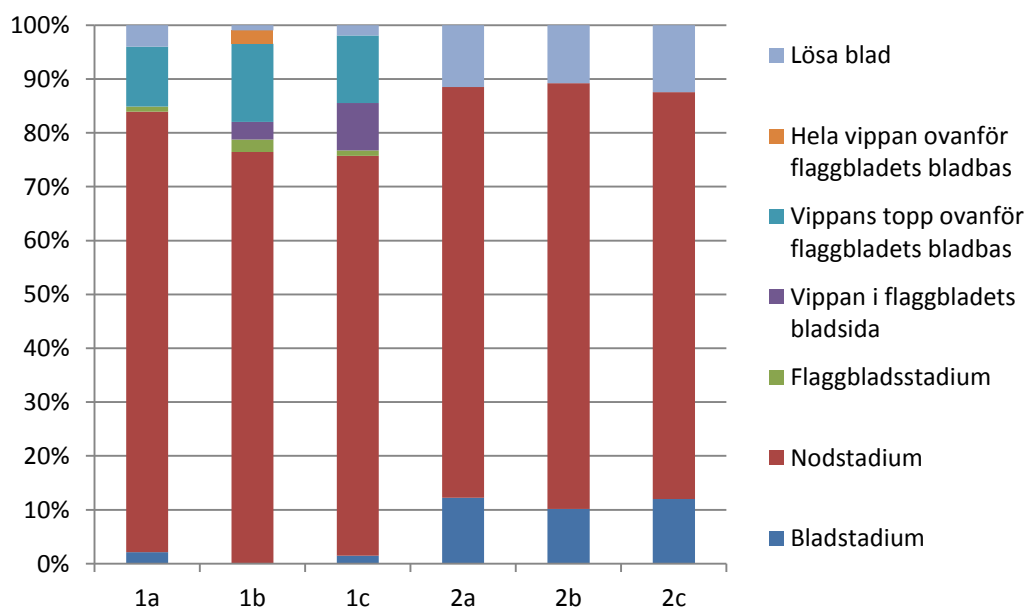
Vid den andra skörden till biogas avkastade ruta A1 och A2 i genomsnitt 3 855 kg ts/ ha. Den totala avkastningen för två skördar i system Biogas blev som medelvärde 7 055 kg ts/ha. Rörflenet som skördades torrt på våren (figur 7) avkastade 2 503 kg ts/ha som genomsnitt för de två rutorna B1 och B2. Den totala skörden för systemen Biogas+Strö blev 5 704 kg ts/ ha.



Figur 7. Skörd av torr rörflen den 29 april 2015. På bilden syns Stellan Strand vid provtagning för analys.

## Botanisk och kemisk sammansättning

Resultatet av den botaniska analysen av rörfenet skördat grönt på sommaren framgår av figur 8. En skillnad mellan rörfenet från första och andra skörden är att rörfenet inte gått i ax vid andra skörden. Viktsandelen blad var högre i andra skörden, se figur 8, dessutom var andelen lösa blad ovanligt hög. En förklaring kan vara att provmaterialet var vått och hoptrasslat, vilket gjorde att blad lossnade när skotten plockades isär. Andelen ogräs var högre i andra skörden jämfört med den första. Ogräsandelen var mellan 0 och 6 % i första skörden jämfört med 10-21 % i proven från andra skörden.



Figur 8. Utvecklingsstadium för det grönskördade rörfenet från demoodlingen, där staplarna 1a-c representerar de tre proverna från första skörden och 2a-c motsvarande prover från andra skörden.

I tabell 7 visas resultatet av den foderanalys som gjordes på rörflen från demoodlingens tre skördetillfällen samt från rörflenet från SLU Röbbäcksdalen. För det vårskördade rörflenet till strö analyserades även den hygieniska kvaliteten. Rörflenet bedömdes vara dugligt som djurfoder. Dominerande mögelflora var *Cladosporium* spp, *Mucor* spp och *Fusarium* spp. Vattenaktiviteten, som beskriver hur kraftigt vattnet är bundet till materialet, indikerar att rörflenet är lagringsstabil. För att kraftigt begränsa mögelsvamparnas tillväxt bör vattenaktiviteten ligga under 0,7 (Sundberg m.fl., 2008).

Tabell 7. Kemisk analys av rörflenet skördat från första skörd (1a sk) och andra skörd (2a sk) på demoodlingen och på SLU Röbbäcksdalen.

	1a skörd biogas Demo	2a skörd biogas Demo	2a skörd strö Demo	1a skörd tidig SLU	2a skörd SLU	Enhet
Skördedatum	3 juni- 2014	2 sept- 2014	28 april- 2015	1 juli- 2014	2 okt- 2014	
Råprotein	139	126	64	120	117	g/ kg ts
Smältbart råprotein ts	99	87	29	81	78	g/ kg
Omsättningsbar energi	9,8	9,4	5,6	9,5	9,6	MJ/ kg ts
Aska	52	86	44,8	99	90	g/ kg ts
NDF	510	571	824	558	524	g/ kg ts
AAT	70	67	44	68	69	g/ kg ts
PBV	18,8	10,2	-11	3,4	-0,8	g/ kg ts
Kalcium	2,5	3,1	2,1	4,1	4,4	g/ kg ts
Fosfor	2,1	2,7	1,2	3,6	2,6	g/ kg ts
Magnesium	2,1	2,8	0,7	2,4	2,4	g/ kg ts
Kalium	19,9	23,6	1,7	43,8	30,0	g/ kg ts
Svavel	2,2	3,5		3,3	4,8	g/ kg ts
Vattenaktivitet			0,59			
Mögelsvamp*			5,7			log cfu/ g
Jästsvamp*			5,6			log cfu/ g

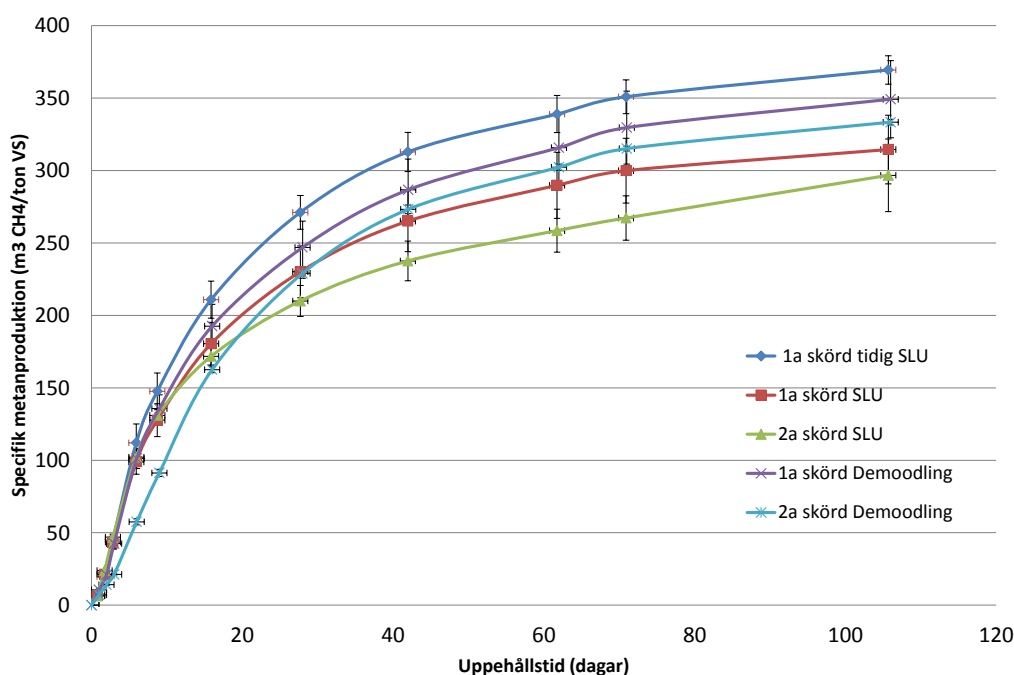
\*kvantifiering vid 25°C

## Metanpotential

Resultatet av de satsvisa utrötningarna efter 100 dagars utrötningstid framgår av tabell 8 och figur 9. Av standardavvikelsen i tabell 8 och felstaplar i figur 9 framgår att variationen var stor mellan de tre upprepningarna som gjordes för varje prov. För rörflen från såväl demoodlingen som från SLU var metanproduktionen högre för rörflen från första skörden jämfört med andra skörden. Den tidiga första skörden från SLU och den andra skörden från demoodlingen var dock de enda proven där metanproduktionen skiljde sig åt signifikant. Gasvolymen anges vid 101 kPa och 0°C, och under de förhållandena har metan ett effektivt värmevärde på 9,95 kWh/m<sup>3</sup>.

Tabell 8. Specifik metanproduktion ( $m^3 CH_4$  per ton VS och ton ts) framtagna i satsvisa utrotningsförsök efter 100 dagars uppehållstid för rörflen odlat på demoodlingen och på SLU i Röbbäcksdalen. Alla metanutbyten anges som torr gas vid 101 kPa och 0°C.

Prov	Första skörd			Andra skörd		
	$m^3 CH_4$ / ton VS	$m^3 CH_4$ / ton ts	Stdav	$m^3 CH_4$ / ton VS	$m^3 CH_4$ / ton ts	Stdav
Demoodling	349	327	26,4	333	305	1,9
SLU Tidig	369	332	9,8			
SLU	314	292	23,7	297	276	25,1



Figur 9. Specifik metanproduktion ( $m^3 CH_4$ / ton VS) från satsvisa utrotningsförsök för första och andra skörd på demoodlingen samt vid två skördetidpunkter i första skörden och en andra skörd på Röbbäcksdalen. Alla metanutbyten anges som torr gas vid 101 kPa och 0°C.

## Arealeffektivitet

Metanproduktionen per hektar är ett mått på hur arealeffektiv grödan är och den beräknades genom att kombinera metanutbytet från de satsvisa utrotningarna med rörflens avkastning från odlingsförsöket (tabell 9). Värdena i tabell 9 är anpassade till praktiska förhållanden. Detta innebär att den specifika metanproduktionen från de satsvisa utrotningarna reducerades med 10 % för att efterlikna fullskalig produktion. Avkastningen på rörflenet från försöksodlingen på Röbbäcksdalen reducerades med 20 % (Jansson, 2010) för att efterlikna praktisk odling. Demoodlingen skördades med samma maskiner som används i praktisk odling och den bärgade skörden är mängden efter förluster, därför gjordes ingen reduktion av avkastningen från demoodlingen. Metanproduktionen var 20 MWh/ha för demoodlingen och 27 MWh/ha för försöksodlingen på Röbbäcksdalen. På demoodlingen var metanproduktionen per ha större från andra skörden än från första skörden då den högre avkastningen vägde upp den något lägre specifika metanproduktionen. Rörflenet



från Röbbäcksdalen hade såväl högre avkastning som metanproduktion i första skörden jämfört med andra skörden.

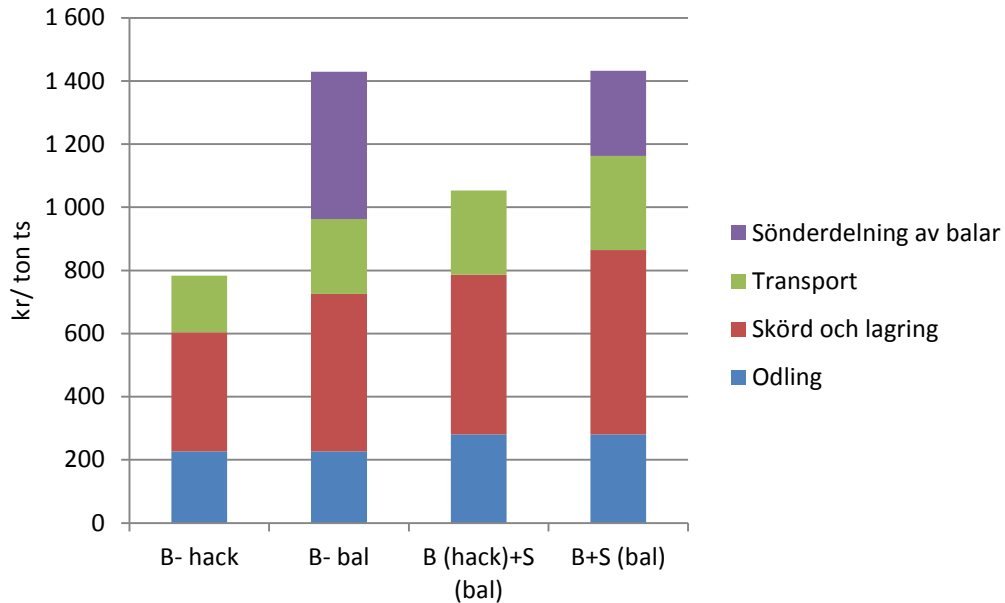
Tabell 9. Anpassad beräkning av ts-avkastning per ha, förväntad metanproduktion per ton ts samt beräknad arealeffektivitet uttryckt som m<sup>3</sup> metan och MWh per hektar för rörflen skördat på demoodlingen samt på Röbbäcksdalen (SLU). Avkastningen på Röbbäcksdalen är reducerad med 20 % och samtliga metanutbyten från labförsöken är reducerade med 10 %.

	Första skörd		Andra Skörd		Totalt		Enhet
	Demo-odling	SLU	Demo-odling	SLU	Demo-odling	SLU	
Avkastning	3 201	6 236	3 855	4 153	7 055	10 389	kg ts/ ha
Specifik metanproduktion	294	263	274	249			m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / ton ts
Metanproduktion	942	1 638	1 056	1 033	1 998	2 671	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / ha
Metanproduktion	9,4	16,3	10,5	10,3	19,9	26,6	MWh/ ha

Den provtagning som gjordes på Röbbäcksdalen vid en tidpunkt två veckor innan första skörd gör det möjligt att undersöka optimal tidpunkt för första skörd. Den specifika metanproduktionen var högst vid den tidigare tidpunkten, se figur 9. De provklippningar som gjordes indikerar en stor ökning av avkastningen mellan de två tidpunkterna. Detta gav att den lägre specifika metanproduktionen vid den senare första skördetidpunkten vägdes upp av högre avkastning. Räknat per hektar var metanproduktionen högre vid den senare tidpunkten i första skörden.

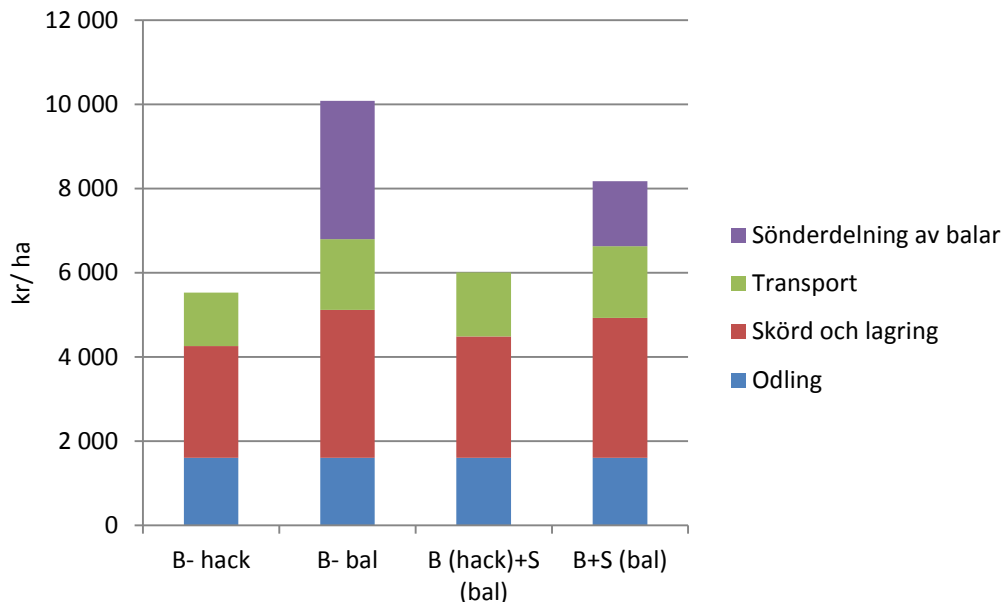
## Kostnader och intäkter

Tillförselsystemet med exakthackad grönskördad rörflen hade lägre kostnad än systemet med rundbalar, se figur 10 och 11 samt tabell 1.1 och 1.2 i bilaga 1. Den främsta orsaken till skillnaden var den sönderdelning som behövdes för att det rundbalsskördade rörflenet ska få en kvalitet (strållängd) jämförbar med rörflen exakthackat vid skörd. Kostnaderna för plast och nät till balar och plast till slangensilering är inkluderade i kostnaderna för skörd och lagring, och är en förklaring till att balsystemet hade högre kostnader än systemet med exakthackat. Kostnaderna för plast och nät för rundbalar beräknades till 230 kr/ton ts jämfört med 50 kr/ton ts för tubplasten.



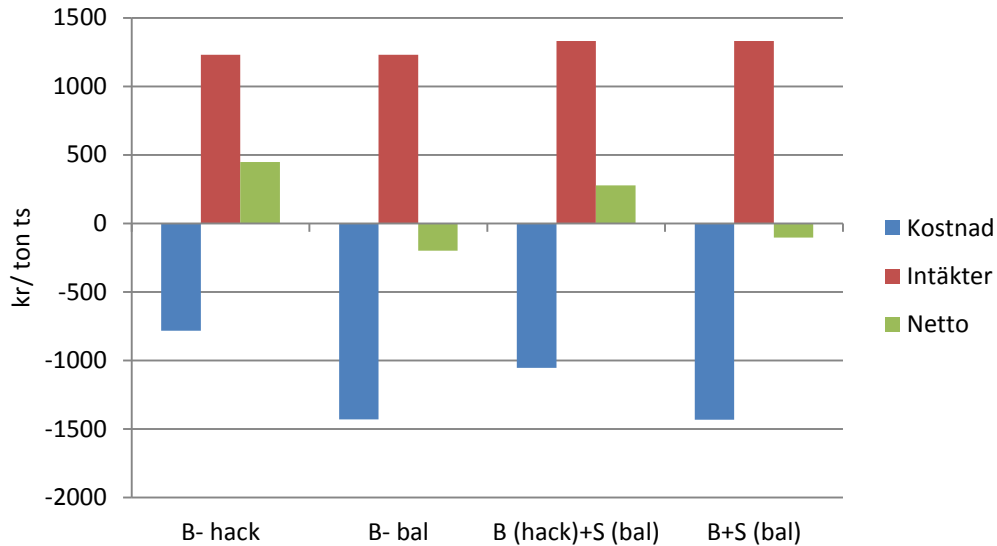
Figur 10. Kostnader i kr/ ton ts för odling, skörd och lagring, transport samt sönderdelning för tillförselsystemen för rörfilen enligt systemen Biogas (B) och Biogas+Strö (B+S) med skörd med exakthack (hack) och rundbalar (bal).

När kostnaderna uttrycks per hektar har balsystemet B+S (bal) lägre kostnader per hektar än systemet med två balade skördar till biogas. När kostnaderna slås ut per kg ts (figur 10) blir strösystemen dyrare pga. att avkastningen vid andra skörden till strö var lägre än den andra skörden till biogas.



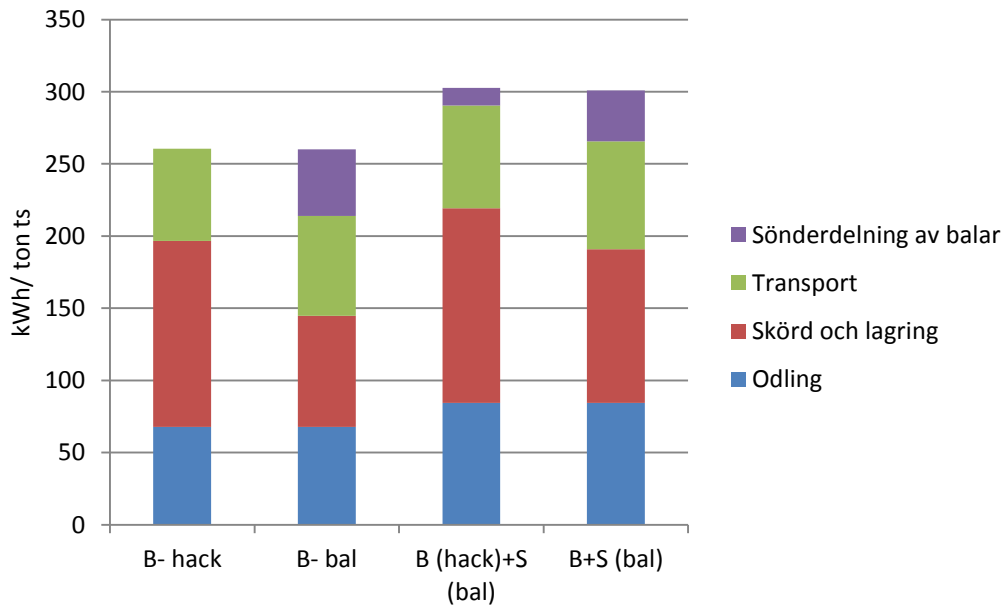
Figur 11. Kostnader i kr/ ha för odling, skörd och lagring, transport samt sönderdelning för tillförselsystemen för rörfilen enligt systemen Biogas (B) och Biogas+Strö (B+S) med skörd med exakthack (hack) och rundbalar (bal).

Om kostnaderna relateras till intäkter från försäljning av grödan är nettot positivt för de exakthackade systemen och negativt för rundbalssystemen (figur 12). Detta gäller även för systemet när andra skörden används till strö.



Figur 12. Kostnader, intäkter och netto för tillförselsystemen för rörlan enligt systemen Biogas (B) och Biogas+Strö (B+S) med skörd med exakthack (hack) och rundbalar (bal).

## Energi



Figur 13. Använd energi i kWh/ ton ts för odling, skörd och lagring, transport samt sönderdelning för tillförselsystemen för rörlan enligt systemen Biogas (B) och Biogas+Strö (B+S) med skörd med exakthack (hack) och rundbalar (bal).

Energi för de olika systemen utgörs enbart av diesel som använts av traktorer, lastbilar etc. I scenariot med hackad rörlan utgör skörd och odling den största förbrukaren. Sönderdelningen av balarna gör att totalt sett blir energianvändningen i stort sett lika mellan scenarierna. Totalt sett ökar energiförbrukningen per ton ts levererad när andra skörden används till strö.

## Studieresa Karlskoga och Västerås

Den 27 november 2014 genomfördes en studieresa till Biogasbolaget i Karlskoga och SBI Västerås Biogas. LRFs GAFE-projekt medfinansierade resan för deltagande lantbrukare. Det huvudsakliga syftet med resan var att representanter för de planerade biogasanläggningarna i Vännäs och Hammerdal skulle få möjlighet att se biogasanläggningar som rötar grödor samt ges möjlighet att diskutera för och nackdelar med olika systemval med fokus på hantering av substrat från jordbruket. Generellt sätt är SBIs anläggning enklare byggd, exempelvis sker gödselmottagning utomhus jämfört med i en mottagningshall på Karlskogaanläggningen. Karlskogaanläggningen har också en mer avancerad förbehandlingsanläggning för att kunna ta emot olika fasta substrat.

### Biogasbolaget, Karlskoga

Biogasanläggningen drivs av Biogasbolaget som ägs till 50 % av Karlskoga Energi och Miljö, till 40 % av Örebro kommun samt till 10 % av Kumla kommun. Anläggningen togs i drift hösten 2013 och ska vid full drift röta 40 000 ton gödsel, 20 000 ton vallensilage, 18 000 ton matavfall samt 3 000 ton andra substrat per år. Röt-kammarvolymen är totalt 10 000 m<sup>3</sup> och uppehållstiden i röt-kammaren är 33 dygn. Ensilaget lagras i slangar. För förbehandling av ensilaget har de installerat en extruder från tyska Lehmann för vilket de har fått investeringsstöd från Energi-myndigheten. Affärsupplägget är att lantbrukarna som levererar grödor odlar och skördar dessa i egen regi samt levererar till anläggningen för lagring. En del ensilage lagras också hos lantbrukarna. Biogasbolaget har satt en gräns på 40 mm strållängd på det gräs som levereras in till anläggningen. När de har kontrakterat lantbrukare har de satt 3,5 mil transportavstånd som maximal gräns för gräs och 5 mil för gödsel. I kontraktet ingår att lantbrukarna tar tillbaka biogödsel. För de som levererar flytgödsel görs ett byte som innebär att lantbrukarna får tillbaka samma mängd biogödsel som den levererade gödseln. Biogasanläggningen står för transportererna.

Inmatningen av ensilage har inte fungerat som tänkt under året pga. problem med extrudern som haft mycket mer underhåll och slitage än förväntat. Dessutom har det varit problem med matningssystemet till extrudern. Extrudern ska enligt leverantören ha en kapacitet på 52 ton/dygn, men hittills har de inte kommit upp i den kapaciteten. De har ännu inga siffror på energiförbrukningen.

### SBI Västerås

SBIs biogasanläggning i Västerås togs i drift 2013 och ägs till 51 % av SBI tillsammans med lokala lantbrukare (49 %). Anläggningen är lokaliserad i direkt anslutning till den biogasanläggning som Svensk Växtkraft driver. I dagsläget levererar 14 lantbrukare gödsel till anläggningen. Huvudsubstratet är flytande svin- och nötgödsel, dessutom rötas en del kycklinggödsel, avrenspellet samt helsäd och vallensilage. De fasta substraten lagras utomhus under tak och matas in i röt-kammaren via en mixervagn. Den producerade gasen säljs till Svensk Växtkraft.

### Demonstrationsdag

Den 7 maj 2015 genomfördes en demonstrationsdag hos Maud och Stellan Strand i Västra Spöland, Vännäs. Där presenterades projektets resultat tillsammans med

andra aktuella projekt om rörflen. Hans Arvidsson, Sveriges maskinprovningar, Umeå berättade om möjligheterna att förädla och använda förnybara drivmedel på gården. Dessutom deltog Glommers Miljöenergi med en visning av deras mobila anläggning för brikettering av rörflen, figur 14. I visningen ingick rivning av rörflenet, brikettering samt rivning av briketten till strö. Totalt deltog 29 personer som representerade både lantbruk, industri och forskning.



Figur 14. Glommers Miljöenergis briketteringsanläggning under visningen på demonstrationsdagen den 7 maj i Västra Spöland.

## Diskussion

### Avkastning och metanproduktion

Vid första skörden var rörflenet på demoodlingen mycket ojämnt, vilket tydligt ses på att avkastningen varierade mycket mellan de fyra rutorna. Rörflenets övervintring var dålig och likaså tillväxten inför första skörd. Avkastningen vid första skörden var låg. Trots att andra skörden var högre än den första skörden var totala avkastningen relativt låg, drygt 7 ton ts/ha. Rörflenet skördat på Röbbäcksdalen med liknande klimatförutsättningar avkastade 12 ton ts/ha och indikerar att rörflen har potential att avkasta högre än vad demoodlingen gjorde. Även Svensson (2012) rapporterar 12 ton ts/ha från försök i Västergötland vid två skördar och 100 kg N/ha gödsling. För att se hur avkastningen påverkas av årsvariationer skulle demoodlingen behöva upprepas under fler år.

I detta projekt skördades rörflenet till biogas två gånger. Kandel m.fl. (2013) har i en dansk studie odlat rörflen på kultiverad torvmark och jämfört en och två rörflensskördar till biogas, och kommit till resultatet att ca 45 % mer metan producerades per hektar med två skördar jämfört med en skörd. I en svensk studie om grönskördad rörflen (Geber, 2002) var såväl den totala avkastningen (9,42 ton/ha) som metanpotentialen högst med två skördar per år. Ett system med två skördar kräver dock mer gödsling, vilket måste tas med i beräkningarna av kostnader och energiåtgång.

Den specifika metanproduktionen var i vår studie högre för första skörden jämfört med andra skörden, både för rörflenet skördat på demoodling och på Röbbäcksdalen. I andra studier varierar resultatet huruvida metanutbytet hos rörflen är högre i första eller andra skörd. Till exempel hade Kandel m.fl. (2013) jämförbar specifik metanproduktion från första och andra skörden. Seppälä (2009) redovisar en signifikant högre specifik metanproduktion från första skörden jämfört med andra skörden av rörflen. Lehtomäki (2008) å andra sidan redovisar från satsvisa

utrötningsförsök högre metanproduktion från andra skörden (430 m<sup>3</sup> metan/ton VS) jämfört med första skörden (340 m<sup>3</sup> metan/ton VS).

Metanproduktionen per ha beräknades till ca 2000 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha eller 20 MWh/ha för demoodlingen och 2700 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha eller 27 MWh/ha för odlingen på Röbbäcksdalen när avkastning och metanutbyte anpassats till fullskalig biogasproduktion. Detta kan jämföras med 22 MWh/ha som beräknats för vall till biogas i projektet Crops4biogas (Björnsson, 2012). Även Björnsson (2012) beräknade metanproduktionen baserat på förväntade metanutbyten utifrån experimentella utrötningsförsök. Seppälä (2009) säger att metanutbytet per hektar är av samma storleksordning för rörflen som för andra gräsarter. Kandel m.fl. (2013) redovisar en metanskörd på 5430 m<sup>3</sup>/ha vid två skördar. Seppälä (2009) har i försök med rörflen i tvåskördesystem fått 3500 m<sup>3</sup> metan/ha. Vilket metanutbyte som fås i fullskalig drift är svårt att uppskatta utifrån experimentella försök eftersom den är beroende av parametrar specifika för varje anläggning, såsom uppehållstid och vilka andra substrat som rötas.

Om ströskörden jämförs med den andra skörden till biogas är avkastningen för ströskörden mycket mindre. En trolig orsak till detta är att andelen blad är högre i återväxten, vilket gör förlusterna av torrs substans höga när rörflenet får stå kvar över vintern och skördas torr på våren då bladen ramlat av. Den botaniska analysen som gjordes av de gröna skördarna visar också att bladandelen var högre i andra skörd jämfört med första.

Rörflenet gick inte i ax i återväxten. Detta är en fördel om rörflenet ska användas till strö eftersom man då undviker eventuella risker med fröspridning från gödseln. Genom att byta ut spån mot strå som strömedel i stallar och ladugårdar kan många lantbrukare höja värdet på gödseln som substrat för biogasproduktion. Olsson m.fl. (2014) studerade i satsvisa utrötningar metanpotentialen från hästgödsel med olika strömedel, och kom till resultatet att metanpotentialen fördubblades med halm som strömedel istället för spån eller torv. Rörflenets värde, först som strö och i nästa steg som substrat för biogasproduktion, behöver utvärderas vidare.

## Tillförselsystem och ekonomi

Både systemet Biogas och Biogas+Strö uppvisade positivt netto så länge rörflenet till biogasproduktion skördades med exakthack. Priset på rörflen till biogas blev, när det relaterades till priset på vall och det i försöket uppmätta metanutbytet, 1,28 kr/kg ts för rörflen från första skörden och 1,19 kr/kg ts för rörflen från andra skörden. I denna studie antogs ett pris på rörflen till strö på 1,40 kr/kg ts. En minskning av ströpriset till 1,35 kr/kg ts medför att ströhanteringen får ett negativt resultat.

Kostnaden för den extra sönderdelningen av grönskördad balad rörflen som lades till i kalkylen för att få den jämförbar med exakthackad rörflen, gjorde att bal-systemet inte kunde konkurrera med exakthackad rörflen. Osäkra indata för kapaciteter och bränsleförbrukning vid sönderdelning av rörflen med den kross som antagits i denna studie gör att det finns osäkerheter i beräkningarna av kostnaden för sönderdelning. Praktiska sönderdelningstester skulle behöva göras för att få mer tillförlitliga uppgifter. Beroende på hur rörflenet används under året, kan en möjlighet vara att hyra in en maskin för sönderdelning under en kortare period. En biogasanläggning som är tänkt att ta emot en blandning av olika substrat inklusive

grödor och restprodukter från jordbruket bör utformas så att den kan hantera något längre strålängder på substratet. Om anläggningen kan utformas för att hantera strålängder upp till 3-4 cm, ökar möjligheterna att hitta lönsamhet i att använda grödor som biogassubstrat.

I våra beräkningar utgör de totala transportkostnaderna ca 23 % av den totala kostnaden för två skördar hackad rörflen till biogas. Totala kostnaderna påverkas inte så mycket av ändrade transportavstånd. Transporterna för hela systemet beräknades till 180 kr/ton ts. Om all rörflen tillförs inom ett transportavstånd på 8 km från anläggningen sjunker den totala transportkostnaden till 159 kr/ ton ts. I detta fall transporteras all rörflen till anläggningen med traktor och vagn och all lagring sker vid anläggningen. Om i stället all rörflen mellanlagras innan transport till anläggning, ökar transportkostnaden till 227 kr/ton ts vid ett medeltransportavstånd på 24 km. Fördubblas transportavståndet till 48 km ökar transportkostnaderna med 28 % till 314 kr/ton ts.

Använd energi i form av diesel beräknades för de olika scenarierna och visade att disel användningen inte skiljde sig mycket mellan olika scenarier. Energianvändningen blir intressant i det fall tillförseln av rörflen till anläggningen relateras till en framtida biogasanläggnings användning av energi, energi som används till att hantera rötrest, och allt detta i förhållande till genererad energi i biogas och dess användning.

## Slutsatser

- Systemet Biogas hade 23 % högre total avkastning (ts) jämfört med systemet Biogas+Strö. Detta berodde på att andra skörden till strö hade lägre avkastning än andra skörden till biogas. Det tyder på att förlusterna blev stora när rörflenet stod kvar i fält över vintern och skördades torrt på våren.
- Demoodlingen och SLU:s försöksodlingar tillsammans med de satsvisa utrötningarna visade att rörflen är jämförbart med andra vallgrödor till produktion av biogas när det gäller avkastning och metanpotential.
- Skördesystemet med rundbalar hade högre kostnader jämfört med exakt-hackning, än mer om en extra sönderdelning behövdes innan inmatning i biogasanläggningen.
- För att kunna ta fram tillförlitliga kostnader för sönderdelningen av rörflen behövs praktiska försök för att undersöka parametrar som sönderdelningsgrad, energiåtgång och kapacitet.
- Under förutsättning att betalningsviljan för rörflen till biogas är densamma som för vallgröda var det lönsamt med ett odlings- och tillförselsystem med exakthackad rörflen, däremot var system med rundbalar inte lönsamt.
- System med hackad rörflen hade de lägsta kostnaderna och därmed störst utrymme för variationer i pris vid leverans till biogasanläggning.

## Referenser

- Björnsson, L. 2012. Energigrödor för biogasproduktion. Del 1, odling och arealeffektivitet. Rapport nr. 80, Institutionen för teknik och samhälle, Miljö- och energisystem, Lunds Universitet, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Brückner, C. och Sawatzki, T. 2011. Effizienzsteigerung in Biogasanlagen durch Verbesserung des Substratabbaus. Schriftenreihe, Heft 35/2011. Dresden, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen.
- Geber, U. 2002. Cutting frequency and stubble height of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.): influence on quality and quantity of biomass for biogas production. *Grass and Forage Science*, 57, 389-394.
- Gunnarsson, C., Spörndly, R., Rosenqvist, H., Sundberg, M., Hansson, P.-A. 2007. Optimering av maskinsystem för skörd av ensilage med hög kvalitet. Rapport- miljö, teknik och lantbruk 2007:06. Uppsala, Institutionen för biometri och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Gustavsson, L. & Paulrud, S. 2011. Småskalig förbränning av rörflen – inventering och värdering av tillgänglig teknik. SP Rapport 2011:06, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.
- Jansson, J. 2010. Hykor utnyttjar en högre kväveintensitet. Vallguiden 2010, Scandinavian Seed.
- Jordbruksverket, 2015. Kalkyler för energigrödor 2015. Jordbruksverket, Jönköping.
- Kandel T.P., Sutaryo, S., Møller, H.B., Jørgensen, U. and Lærke, P.E. 2013. Chemical composition and methane yield of reed canary grass as influenced by harvesting time and harvest frequency. *Bioresource Technology*, 130, 659-666.
- Larsson, S., Örberg, H., Kalén, G. & Thyrel, M. 2006. Rörflen som energigröda. Erfarenheter från fullskaleförsök vid Biobränsletekniskt Centrum (BTC) i Umeå under åren 2000-2004. BTK-rapport 2006:11, Enheten för Biomassateknologi och Kemi, SLU, Umeå.
- Lehtomäki, A., Viinikainen, T.A. and Rintala, J.A. 2008. Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production. *Biomass and bioenergy*, 32, 541-550.
- Maskinkalkylgruppen, 2014. Maskinkostnader 2014. Maskinkalkylgruppen och HIR Malmöhus, Bjärred.
- Nilsson, D., 1995. Transportation work and Energy requirements for haulage of straw fuels. A comparison between the plants at Såtenäs and Svalöv, Swedish *J. Agric. Res.* 25: 137-141, 1995
- Nordberg, Å., Edström, M., Pettersson, C-M., Thyselius, L. 1997. Samrötning av vallgrödor och källsorterat hushållsavfall. JTI-rapport Kretslopp & Avfall nr 13, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- NTM, 2010, NTM – Environmental data for international cargo transport. Road transport Europe Version 2010-06-17, NTM Nätverket för trafik och miljö, Stockholm
- Olsson, H., Andersson, J., Edström, M., Rogstrand, G., Persson, P.-O., Andersson, L., Bobeck, S., Assarsson, A., Benjaminsson, A., Jansson, A., Alexandersson, L., Thorell, K., 2014. Samrötning av hästgödsel med nötflytgödsel – Fullskaleförsök vid Naturbruksgymnasiet Sötåsen. Rapport 51, Kretslopp & Avfall, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.



- Paulrud, S. 2015. Energigrödor/ restprodukter från jordbruket. Bränsleprogrammet Tillförsel. Presentation på Bränslekonferensen 6 maj 2015., Energimyndigheten.  
<https://www.energimyndigheten.se/Forskning/Bransleforskning/Bransleprogrammen/Avslutningskonferens---Bransleprogrammen/Presentationer-fran-Branslekonferensen-6-maj-2015/>
- Paulrud, S., Holmgren, K., Rosenqvist, H. & Börjesson, P. 2009. Förutsättningar för nya biobränsleråvaror. System för småskalig brikettering och pelletering. IVL Rapport 1825, IVL – Svenska Miljöinstitutet, Göteborg.
- Paulrud, S., Nilsson, C. & Öhman, M. 2001. Reed canary grass ash composition and its melting behavior during combustion. Fuel 80(10) 1391-1398.
- Phakala, K., Partala, A., Suokannas, A., Klemola, E., Kalliomäki, T., Kirkkari, A-M., Sahramaa, M., Isolanti, M., Lindht, T. & Flyktman, M. 2003. Odling och skörd av rörflen för energiproduktion. Tillgänglig: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met1a.pdf> [2012-05-13].
- Prade, T., Svensson, S-E., Hörndahl, T., Kreuger, E. och Mattsson, J.E. 2015. Vall och helsäd som biogassubstrat – Utvärdering av skördetidpunktens och snittlängdens påverkan på energiutbytet och substratkostnaden. Rapport 2015:22, Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, SLU, Alnarp.
- Rönnlund, Stig, personlig kommentar. Forslundagymnasiet, Umeå, april 2015.
- Seppälä, M., Paavola, T., Lehtomäki, A. and Rintala, J. 2009. Biogas production from boreal herbaceous grasses – Specific methane yield and methane yield per hectare, Bioresource Technology, 100. 2952-2958.
- Sundberg, M., 2007. Foderkonservering i slang. JTI informerar nr 116. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Sundberg, M., Lindahl, C., Artursson, K., Lundin, G. 2008. Mögeltillväxt i hö under vinterlagring. JTI-rapport Lantbruk & Industri 363, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Svensson, S-E. 2012. Odlingssystem för produktion av biogassubstrat på marginaljord. Presentation från BioM:s avslutningskonferens, Viborg, 2012-11-27. <http://agrotech.dk/sites/agrotech.dk/files/projekt/biom-projektet/sven-erik-svenssonslu.pdf>
- Weiss, D. och Brückner, C. 2008. Biomasseaufbereitung zur Vergärung. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Heft 19/2008. Dresden, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.



## Bilaga 1 Kalkyler för hantering av rörfilen

Tabell 1.1. Kalkyler för hantering av rörfilen (kr/ ha).

	B- hack	B- bal	B (hack) + S(bal)	B+S (bal)
<u>Odling</u>				
Etablering	594	594	594	594
Gödsling	1 006	1 006	1 006	1 006
<u>Skörd</u>				
Slätter	524	524	524	524
Strängläggning	334	376	167	188
<u>Bärgning</u>				
Exakthackning	784	0	392	0
Rundbalspressning	0	2 618	1 309	2 618
<u>Transporter</u>				
Transport till mellanlager	220	293	217	250
Transport till anläggning	1 046	1 383	1 306	1 451
<u>Lagring</u>				
Inläggning i slang	1 016	0	492	0
Sönderdelning	0	3 290	0	1 540
<b>Totala kostnader</b>	<b>5 524</b>	<b>10 083</b>	<b>6 006</b>	<b>8 171</b>

Tabell 1.2. Kalkyler för hantering av rörfilen (kr/ ton ts).

	B- hack	B- bal	B (hack) + S(bal)	B+S (bal)
<u>Odling</u>				
Etablering	84	84	104	104
Gödsling	143	143	176	176
<u>Skörd</u>				
Slätter	74	74	92	92
Strängläggning	47	53	29	33
<u>Bärgning</u>				
Exakthackning	111	0	69	0
Rundbalspressning	0	371	229	459
<u>Transporter</u>				
Transport till mellanlager	31	42	38	44
Transport till anläggning	148	196	229	254
<u>Lagring</u>				
Inläggning i slang	144	0	86	0
Sönderdelning	0	466	0	270
<b>Totala kostnader</b>	<b>783</b>	<b>1 429</b>	<b>1 053</b>	<b>1 432</b>





## JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Vi är ett tekniskt jordbruksinstitut med tydlig miljö- och energiprofil. Institutets fokus ligger på innovation och utveckling i nära samarbete med företag, organisationer och myndigheter.

På vår webbplats publiceras regelbundet notiser om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Gratis mejlutskick av JTI:s nyhetsnotiser kan beställas på [www.jti.se](http://www.jti.se)

På webbplatsen finns publikationer som kan läsas och laddas hem gratis. Se [www.jti.se](http://www.jti.se) under fliken Publicerat.

Vissa publikationer kan beställas i tryckt form. För trycksaksbeställningar, kontakta oss på tfn 010-516 69 00, e-post: [info@jti.se](mailto:info@jti.se)



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik  
Box 7033, 750 07 Uppsala  
Telefon: 010-516 69 00, Telefax: 018-30 09 56  
E-post: [info@jti.se](mailto:info@jti.se)  
[www.jti.se](http://www.jti.se)