

# Slutrapport

## Småskalig uppgradering av biogas och utvinning av koncentrerat kvävegödselmedel

### Projektnummer:

O-15-22-361

### Projektperiod:

2015-04-01 till 2018-11-30

### Huvudsökande:

Gustav Rogstrand, RISE Jordbruk och livsmedel, Gustav.Rogstrand@ri.se

### Medsökande:

Henrik Olsson<sup>1</sup>, Johan Andersson<sup>1</sup>, Anders Assarsson<sup>2</sup>, Per-Ove Persson<sup>3</sup>, Linus Andersson<sup>3</sup>, Ulf Hävermark<sup>4</sup>, Åke Nordberg<sup>4</sup>

1. RISE Jordbruk och livsmedel. 2. Naturbruksförvaltningen Västragötalandsregionen. 3. Hushållningssällskapet Skaraborg. 4. SLU Sveriges Lantbruksuniversitet

### Del 1: Utförlig sammanfattning

The purpose of the project has been to demonstrate small scale production of biogas with vehicle fuel quality that is suitable to Swedish on-farm anaerobic digestion plants. The trials have been conducted at the Sötåsen agricultural high school biogas plant where they digest the manure from the schools 60 dairy cattle. The produced gas was fueled to the school farms Valtra biogas tractor and biogas car. The technologies that was used to upgrade the biogas to vehicle fuel quality was in-situ methane enrichment (the methane concentration in the digester is increased by aeration of a circulating flow of digestate) and ash filter (absorption of carbon dioxide in ash through carbonization). In-situ methane enrichment resulted in the digester producing a biogas with a methane concentration of 70-80% and Sulphur dioxide concentrations of 0-400 ppm. By applying the ash filter the Swedish standard for vehicle fuel gas quality was achieved. The economic evaluation of the technologies indicated that it is possible to produce vehicle fuel biogas on-farm at a cost that is comparable to the current HVO-prices.

Projekt har fått finansiering genom:



## **Del 2: Rapporten**

### **Inledning**

Den gårdsbaserad biogasproduktion från gödsel och andra organiska restprodukter har under de senaste 10 åren ökat i Sverige. 2017 rötades 311 000 ton gödsel i gårdsbiogasanläggningar och 602 000 ton gödsel i samrötningsanläggningar (Energimyndigheten 2018). Detta är dock en bråkdel av de 8 miljoner ton/år som anses teknoeconomiskt lämplig att röta (Luostarinen, 2013). Den totala biogasproduktionen vid gårdsbiogasanläggningarna 2017 var 55 GWh/år (Energimyndigheten 2018). Gårdsbiogasanläggningar är idag hänvisade till kraftvärme-produktion, men till följd av låga elpriser och svårigheter att hitta avsättning för producerad värme har det varit svårt att nå lönsamhet (Jansson 2014). Det införda gödselgasstödet har delvis hjälpt upp lönsamheten, men i dagsläget finns det inget långsiktigt beslut för detta stöd fortvarande. Därav finns det ett behov av att utveckla lösningar för att långsiktigt öka lönsamheten för gårdsbiogasproduktion.

Att uppgradera gasen till fordonsgas och därmed ersätta dyra fossila energibärare som diesel och bensin är en möjlighet till förbättrad lönsamhet. Den låga biogasproduktionen vid gårdsbiogasanläggningar gör det tyvärr svårt att få ekonomi med konventionella tekniker (Bauer et al 2013). Vid RISE (f.d. JTI) och SLU utvecklas två tekniskt enklare system, som är lämpliga för uppgradering av biogas vid en biogasproduktion < 5 GWh/år. Dessa metoder är *processintern metananrikning* (metanhalt höjs i röt-kammaren genom luftning av ett cirkulerande slamdelflöde) och *askfilter* (upptag av koldioxid genom karbonatisering).

Pilotförsök med 5 m<sup>3</sup> röt-kammare har visat att askfiltertekniken kan rena biogasen ända till svensk fordonsgasstandard (Andersson & Nordberg, 2014). Vidare har det vid olika pilotförsök med processintern metananrikning producerats biogas med metanhalter på 71-87 % (Nordberg et al., 2012, Andersson et al., 2014, Andersson et.al 2016). Resultaten från tidigare laboratorie- och pilotstudier har visat att teknikerna är mogna att demonstreras och utvärderas i liten produktions-skala.

Syftet med detta projekt var att demonstrera, utvärdera och verifiera att uppgradering av biogas med processintern metananrikning och askfilter kan genomföras på gårdsnivå. Vidare skulle detta projekt demonstrera användning av lokalt uppgraderad gas som fordonbränsle och genomföra en ekonomisk utvärdering av systemet. Projektet har finansierats av SLF, Interreg (European Regional Development Fund) via projektet "Biogas 2020" och Västra Götalandsregionen.

### **Materiell och metoder**

#### **Processintern metananrikning**

##### ***Utrustning och konstruktion***

Under sommaren 2015 genomfördes dimensionering och design av prototypsystemet för processintern metananrikning. Under hösten genomfördes inköp av utrustning där materialval baserades på tidigare erfarenheter samt samråd med teknikleverantörer och

partners. Luftningsbehållaren konstruerades i en sjöcontainer. Strax innan årsskiftet 2015-2016 transporterades systemet till Sötåsen för installation. Under våren 2016 designades och installerades styrsystemet. Systemfunktionen för processintern metanisering beskrivs i detalj av Hävermark (2016). Sammanfattningsvis bestod utrustningen av en isolerad 20 fot container med luftare i botten. En frekvensstyrd blåsmaskin genererade luftflödet, som mättes med mätkors och manometer (både in- och utgående flöde). Gassammansättning i luft mättes med IR-sensorer och reagensrör. Slamflödet genererades med skärande och icke-skärande pumpar. Biogasens flöde mättes och sammansättning analyserades.

### **Genomförande av försök**

Under våren 2016 genomfördes inledande orienterande tester av systemet. Därefter genomfördes fyra mätkampanjer (Tabell 1) inom ramen för ett examensarbete (Hävermark 2016), där även en energikartläggning av systemet genomfördes parallellt med undersökning av ammoniakavdrivningen och infångning av ammoniak.

Under hösten 2016 modifierades det tekniska systemet m.a.p. anläggningens värmebalans, minskning av kvävgashalt i röt-kammaren, behov av lägre luft- och slamflöden samt driftsäkerhet vid pumpning av slam mellan röt-kammare och luftningsbehållare. Vidare skedde viss renovering av värmesystemet för biogasanläggningen då det även varit driftstörningar kopplat till biogasprocessen. Under våren 2017 genomfördes driftsförsök med varierande luft- och slamflöden för att kartlägga dynamiken i systemet (Tabell 1).

Tabell 1 Genomförda försök med processintern metananrikning

Försök	Mättillfälle	Total drifttid (dygn)	Aktiv volym luftningsbehållare (m <sup>3</sup> )	Slamflöde (m <sup>3</sup> /h)	Luftflöde (m <sup>3</sup> /h)
0:1	2016-04-12	2	6,6	7,3	180
0:2	2016-04-14	2	6,6	7,3	180
0:3	2016-05-13	4	6,6	7,3	220
0:4	2016-05-18	3	6,6	7,3	260
1:1	2017-02-16	8	8	3,4	83
1:2 a	2017-02-28	5	8	3,4	120
1:2 b	2017-03-02	2	8	2,9	120
1:3 a	2017-03-14	5	8	2,9	160
1:3 b	2017-03-21	5	8	3,2	160
2:1	2017-04-12	8	8	5,3	160
2:2	2017-05-18	7	8	5,3	240

### **Askfilter**

#### **Utrustning och konstruktion**

Under hösten 2016 och våren 2017 designades och konstruerades det första prototypaskfiltret. Filtret konstruerades som en lastmaskinburen behållare (4,45 m<sup>3</sup>) med lock. Parallellt designades och konstruerades två containrar med skruv i botten för

uppsamling och hantering av aska från värmeverket i Töreboda. Båda dessa containrar var också lastmaskinsburna. För blandning av askor användes betongblandare. Inledningsvis en traktordriven tvångsblandare och senare en lastmaskinsburen tombolablandare. Inledningsvis matades askfiltret med gas från Sötåsens egen gasfläkt som vanligtvis matar gaspanna och fackla, men för att matcha tankningsutrustningens behov installerades en separat gasfläkt med högre kapacitet.

Under sommaren 2018 designades och konstruerades ett andra prototypaskfilter (2,47 m<sup>3</sup>) utifrån erfarenheterna från det första för att möjliggöra seriedrift av två askfilter. Detta filter gjordes lite mindre för att bättre matcha kapaciteten på Sötåsens lastmaskin.

### **Genomförande av försök och drift**

I tabell 2 beskrivs driftstillfällena med askfilterssystemet. Totalt blandades aska och uppgraderades gas med askfilter vid sex tillfällen. Försöken bestod av tre till fyra moment. 1) transport av aska 2) blandning av aska 3) drift av askfilter 4) torkning av gasen samt tankning till fordon. Ett försök tog ungefär en vecka att genomföra där transport och blandning tog 1-2 dagar och drift av filtret eller filtren tog mellan 2-5 dagar. Under alla försök övervakades gassammansättning in och ut från filtren samt gasflödet in. Metodiken beskrivs mer ingående i Hävermark (2017) där första försöksperioden redovisas mer i detalj.

Tabell 2 Genomförda askförsök inom projektet

	Drift 1	Drift 2	Drift 3	Drift 4	Drift 5	Drift 6
Askor	TF+TB	TB+TF +MB	TF+TB	TF+TA	TF+TA	TB+TF +MF
Försöksperiod	April-17	Novem-ber-17	Januari-18	Mars-April-18	April-18	Augusti-18
Tankning		X	X	X	X	X
Antal filter	1	1	1	1	1	2
Mätning och beräkning av koldioxidupptag	X					X

TF: Töreboda flygaska, TB: Töreboda bottenaska, MF: Mariestad flygaska,

Tre typer av askor har använts under projektet; botten- och flygaska från det lokala värmeverket i Töreboda (rosterpannor som eldar flis och spån) samt flygaska från kraftvärmeverket i Mariestad (fluidbäddspanna som främst eldar fiberslam från returpapper).

### **Demonstration tankning**

Under första halvåret 2016 inleddes arbetet med att ta fram en lämplig lösning för torkning och långsamtankning av gasen till Sötåsens gasdrivna dual fuel Valtra traktor. Utbudet av utrustning för tankning inventerades av Blom (2016). Vidare inventerades regelverket kopplat till småskalig uppgradering och tankning.

Under 2017 inventerades olika möjligheter för torkning av gasen för att uppnå rekommendationerna kopplat till fordonsgasens dagpunkt. Ett manuellt system med

fasta filter innehållande adsorptionsmaterial samt en förtorkning med hjälp av kylning i värmeväxlare valdes. Vidare köptes en kompressor för långsamtankning (MJ Compact 05 av märket MotorJikov levererad av Nordic Gas Solutions). Hela systemet med tillhörande kompressor testades under askfilterförsök 2. Baserat på erfarenheten från den driften införskaffades en ny gasfläkt med högre kapacitet och torkningssystemet modifierades för att lättare nå önskad daggpunkt. Det nya systemet förevisades under demodag 3 vid Sötåsen. Systemet utvidgades därefter med ytterligare en gasfläkt och ett gaslager för mellanlagring av uppgraderad gas. Med ett gaslager för rågas samt det nya gaslagret för uppgraderad gas kunde tillgång på uppgraderad gas för tankning lättare styras utifrån förbrukarnas behov.

### **Ekonomisk utvärdering**

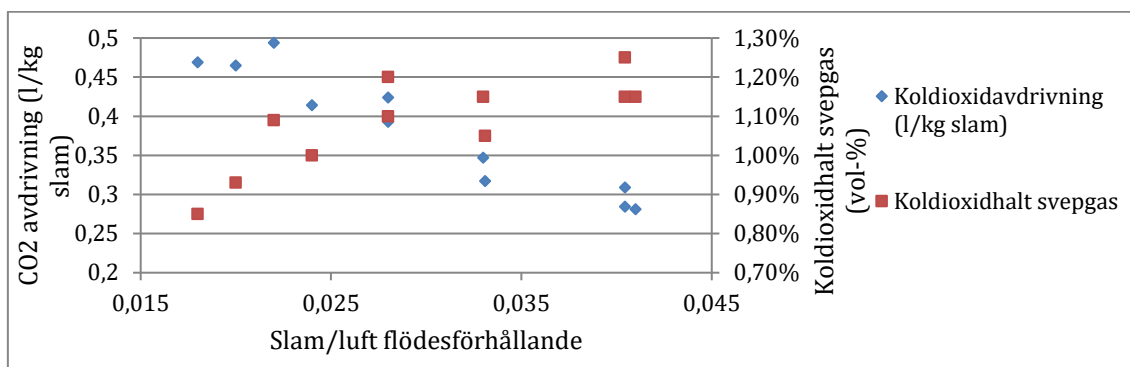
Tre olika system har beaktats. Det första är långsamtankning med askfilter där endast en liten del av biogasanläggningens gasproduktion uppgraderas och används till fordonsgas. I detta fall har kalkylerna genomförts för två olika gasmängder (65 och 150 MWh/år) för att belysa skalfördelar. Det andra systemet är askfilter och utrustning för snabbtankning. I detta fall uppgraderas en gasproduktion motsvarande Sötåsen årsproduktion (300 MWh/år). Det tredje systemet bygger på att processintern metananrikning och askfilter kombineras med ett snabbtankningssystem (300 MWh/år). I det tredje systemet kommer processintern metananrikning att påverka hela gasflödet från den rökammare som systemet är anslutet till vilket innebär att hela gasproduktionen kommer att behöva uppgraderas till fordonsgas. För gårdsanläggningar med två rökammare kan detta system användas för att endast uppgradera den gas som bildas i en av dem.

För att utvärdera de olika fallen har en nominell medelårskalkyl med 4 % ränta använts. Underhållskostnaden är satt till 2 % av bruttoinvesteringen. Elkostnaden är antagen till 60 öre/kWh. Arbetskostnad för arbetstid är 260 kr/h och lastmaskin (inklusive förare) för askblandning 550 kr/h.

## **Resultat och diskussion**

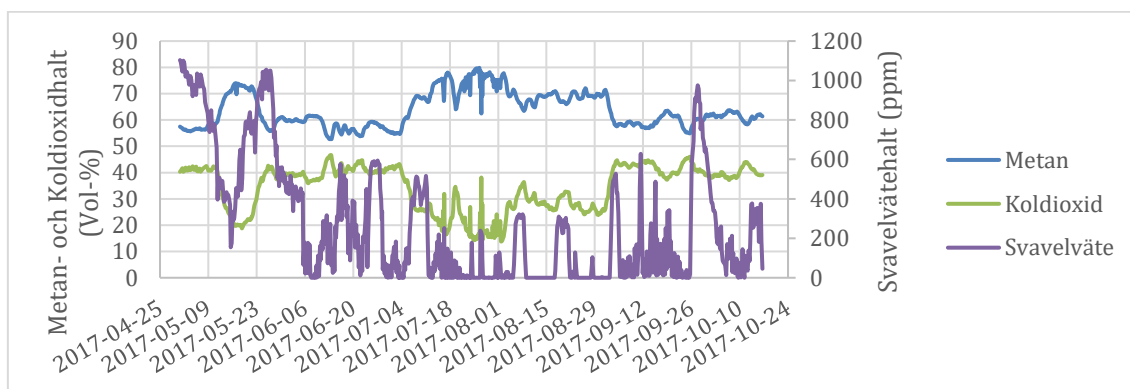
### **Processintern metananrikning**

En avgörande parameter för drift av processintern metananrikning är att optimera slam- och luftflödet eftersom dessa styr koldioxidavdrivningen samt har stor inverkan på energibalans och metanslipp. I figuren nedan har uppmätta värden för koldioxidavdrivningen plottats baserat på de mätkampanjer som genomförts inom projektet. Mängden koldioxid som kan drivas av per kilo slam som pumpas till luftningsbehållaren ökar om luftflödet ökar i förhållande till slamflödet. Koldioxidhalten i utgående luft stiger däremot om luftflödet minskar och tycks ha planat ut vid en nivå på 1,2 %. Därför har vi antagit att ett optimalt förhållande mellan slam- och luftflödet infinner sig vid 0,033 eftersom en ytterligare minskning av luftflödet inte leder till en förhöjd koldioxidhalt i detta system.



Figur 1 Koldioxidavdrivning och koldioxidhalt i utgående luft från processintern metananrikning

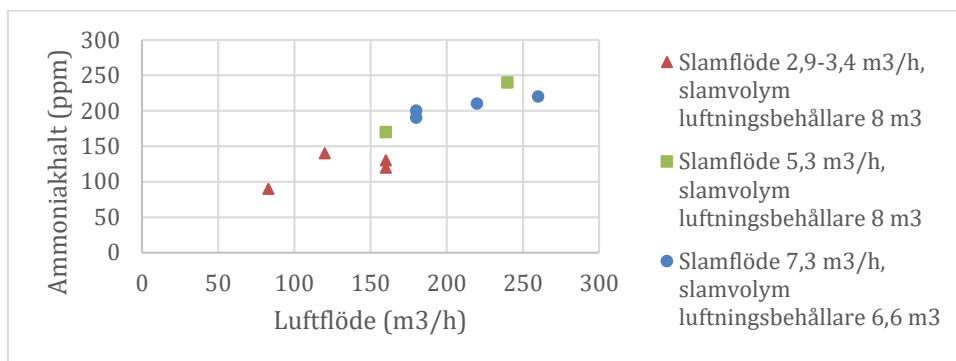
Figur 2 visar metan-, koldioxid- och svavelvätehalten i biogasen under vår och sommar 2017. Efter försökskampanjen i maj följde en period med driftstörningar innan processen kunde startas och drivas under en tvåmånadersperiod (juli-augusti). Under den driften gick svavelvätehalterna ned till låga nivåer, men steg snabbt vid driftstörningar för att åter igen sjunka när dessa åtgärdats. Kan processen drivas utan driftstörningar är det fullt möjligt att hålla svavelvätehalten under 200 ppm i biogasen.



Figur 2 Gassammansättning i producerad biogas vid drift av processintern metananrikning

Projektmålet att nå L-gas standardens (DIN 51624) nivå för metan nåddes inte. Det var ett antal utmaningar kopplat till skalan som försöken bedrevs vid. En viktig faktor var svårigheten att hålla processtemperaturen på grund av värmeförluster i metananrikningssteget. Biogasprocessen har under de två år försöken bedrivits stressats av att temperaturen i röt-kammaren periodvis pressats till låga nivåer. En annan faktor har varit att belastningen på röt-kammaren varierat. Det hade varit önskvärt att ha en återkoppling mellan beskickningen och styrsystemet för processintern metananrikning eftersom för högt slam- och luftflöde i förhållande till biogasproduktionen driver upp pH i röt-kammaren och stressar processen. En tredje viktig faktor till att detta projekt mål ej nåtts är förekomsten av kvävgas i biogasen till följd av luftningen. Denna kvävgas har under perioder utgjort upp mot 5-7 % av biogasen och stiger när processen drivs mot högre metanhalter. Om kvävgasavskiljningen varit optimerad till att generera en kvävgashalt på 2 % hade metanhalten varit ca 2-3 %-enheter högre. Tidigare pilotprojekt (Andersson m.fl 2014) indikerade att ammoniakavdrivningen vid processintern metananrikning kan vara betydande. Hävermark (2016) påvisade förhållandevis låga ammoniakförluster för de inledande försöken som skedde under

våren 2016. Figur 3 visar en stigande trend för ammoniakhalten vid ökat luftflöde. Även Andersson m.fl (2016) påvisade samma trend och redovisade ammoniakhalter i samma storleksordning. Hävermark (2016) beräknade ammoniakavgången till ungefär 60-270 kg/år och bedömde att den går att fånga upp med en enklare skrubber. De fortsatta försöken under 2017 verifierar dessa antaganden.



Figur 3 Ammoniakhalt i utgående luft från luftningsbehållaren

### Askfilter

Askans kapacitet att binda koldioxid har vid två tillfällen studerats noggrannare. Vid det första försöket (Tabell 2) nåddes ett totalt koldioxidupptag på 99,5 kg/ton torr aska (Hävermark, 2016). Vid det andra tillfället (Tabell 2, drift 6) användes två filter i serie. Vid detta tillfälle användes en blandning av förbrukad aska från tidigare försök (ursprung Töreboda värmeverk) blandad med flygaska från Mariestads kraftvärmeverk. Vid detta tillfälle nåddes ett koldioxidupptag på 170 kg/ton torr askblandning.

Gaskvalite´n i utgående gas från askfiltren har genomgående varit mycket god. Filtren har vid alla driftstillfällen genererat en gas där både metan-, koldioxid-, och svavelvätehalten nått kraven för svensk fordonsgas. Med två filter i serie kan även den totala kapaciteten hos askan nyttjas vilket testats under projektet. Vidare har det även under projektet testats att driva filtren intermittent då gasflödet genom filtren stoppats under en period. Den längsta perioden har varit en månads stillestånd men den vanligaste tidsperioden har varit över nätterna. Vid samtliga tillfällen har filtren genererat samma gaskvallitet efter driftspausen som före. Det har inte heller iakttagits några negativa egenskaper hos askan kopplat till dessa driftuppehåll.

Totalt har 20-25 ton aska hanterats under försöken varav 13,6 ton använts i drift av askfilter. Tidigare forskning har visat att olika askors kapacitet att binda koldioxid varierar (Andersson och Nordberg 2014, Andersson och Nordberg 2017) vilket är i linje med resultaten från detta projekt. Variation i askornas struktur och partikelstorlek har påverkat gasflöde och mottryck vilket får konsekvenser för askfilters driftkapacitet.

Vid drift ökar askans massa p.g.a. karbonatisering och vatten avgår p.g.a. temperaturhöjning (exoterm process). Detta leder till att färdig använd aska blir mindre benägen att damma och upplevs mer grovkornig. Över lag har det under projektet genererats behandlade askor med lovande egenskaper för spridning i skog.

## **Ekonomisk utvärdering**

### ***Tekniska antaganden***

Vid de ekonomiska beräkningarna har en koldioxidavdrivning på 0,35 l/kg slam vid ett förhållande mellan slam och luftflödet på 0,033 antagits, vilket baseras på resultaten i figur 1. Målet är att åstadkomma en optimal koldioxidavdrivning med lägsta möjliga luftflöde för att minimera värmeförlusterna genom varm och fuktig luft som lämnar systemet. Luft- och slamflödet ges av dessa antaganden. Vidare antas metanhalten höjas till 70 % i biogasen, vilket är förhållandevis lågt jämfört med tidigare pilotförsök. Känslighetsanalysen innefattar dock att metanhalten höjs till 80 %.

Elbehovet för pumpar och blåsmaskin samt värmeförluster har beräknats baserat på Hävermark (2016). Det har antagits att systemet är väl isolerat och att värmeåtervinning från utgående luft sker med hjälp av en värmepump. Denna värmepump kan även ta värme från biogasanläggningens rötrest för att täcka det totala värmebehovet som skapas av processintern metananrikning. Andersson m.fl. (2016) visade att det med hjälp av att dela upp luftningsprocessen i två steg går det att koncentrera metanemissionern till en separat luftström med högt metainnehåll. Denna luftström kan därefter behandlas genom att den t ex får gå till gasmotor eller gaspannan alternativt till destruktion. Detta system har antagits användas i dessa ekonomiberäkningar.

För alla scenarier har det antagits att askfilterssystemet bygger på de komponenter som testats inom detta projekt, dvs lastmaskinshanterade filter som kopplas i serie. Blandning och hantering av aska vid gården sker med hjälp av en lastmaskinsburen blandare. Arbetsbehovet är baserat på erfarenheter från genomförda försök. Askans koldioxidupptag har antagits vara 100 g/kg torr aska.

Kostnaderna för transport av aska är en viktig del i den totala kalkylen för ett system med askfilter. Eriksson (2018) har genomfört simuleringar av asklogistik kopplat till användning av aska för uppgradering av biogas. Resultaten visar att kostnaderna för askhantering i ett system där askan passerar en biogasanläggning innan den transporteras till skogen för spridning kan vara likvärdig eller lägre jämfört med den alternativa hanteringen via en vanlig askterminal. Dessa beräkningar gäller för biogasanläggningar med en årlig biogasproduktion på 1-2 GWh/år vilket är betydligt mer än för de tre scenarier som detta projekts kostnadsberäkningar baseras på, men antas kunna gälla även med lägre gasproduktion. Därav finns ingen kostnadspost för transport av aska med i kalkylerna utan dessa kostnader antas täckas av den avgift värmeverket betalar för att askan skall transporteras bort och spridas i skog.

För snabbtänkning har antagits ett system anpassat för användning inom företaget där fordonet kopplas till ett gaslager som tidigare fyllts med en kompressor. Detta system ger inte 100 % fyllnadsgrad utan det hade krävt att fordonet sedan efterfylls med kompressorn (Blom 2016).

### ***Utfall ekonomisk utvärdering***

Tabellen nedan visar bedömda kostnader för de tre olika systemen. För askfilter och långsamtänkning har investeringen antagits vara lika för de två årskapaciteterna.



Däremot beror driftskostnaderna direkt av gasmängden. Utfallet är att detta system vid en årlig förbrukning av 150 MWh/år av fordonsgas har en uppgraderings- och tankningskostnad på 0,72 kr/kWh. Jämförs detta med ett HVO pris på ca 1,2 kr/kWh blir betalningsutrymmet för biogasproduktionen 0,48 kr/kWh vilket är på den nivå Jansson (2014) konstaterat att dagens gårdsbiogasanläggningar kan producera rågas. Vid en årlig förbrukning på 65 MWh/år tar uppgradering och tankning upp hela betalningsutrymmet vid jämförelse med HVO-priset. För att det skall vara försvarbart med en produktion på denna nivå krävs att andra mervärden och intäkter finns att beakta. Detta skulle kunna vara gödselgasstöd samt att produktionen kan vara på marginalen för en existerande anläggning vilket gör att t ex biogasanläggningens kapitalkostnader inte behöver belasta rågaspriset vid en marginell produktionsökning.

Tabell 3 Utafl för den ekonomiska utvärderingen av systemet

	Askfilter*	Askfilter*	Askfilter**	Process int. Askfilter**
Årskapacitet (MWh/år)	65	150	300	300
Investeringskostnad (kk)	632	632	1 345	1 658
Avskrivningstid (år)	9,7	9,7	11,1	11,3
Kapitalkostnad (kr/kWh)	1,23	0,53	0,51	0,62
Drift och underhåll (kr/kWh)	0,51	0,40	0,42	0,43
Investeringsstöd (kr/kWh)	-0,49	-0,21	-0,20	-0,25
<b>Kostnader efter investeringsstöd (kr/kWh)</b>	<b>1,25</b>	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>0,81</b>
<b>Betalningsutrymme rågas***</b>	<b>-0,05</b>	<b>0,48</b>	<b>0,48</b>	<b>0,39</b>
Askmängd (ton/år)	86	198	448	255

\* Långsamtankning, \*\* Snabbtankning men utan bosterkompressor vilket gör att inte riktigt full tank nås, \*\*\* Antaget en betalningsvilja på 1,2 kr/kWh för fordonsgasen. Detta ligger i nivå med dagens HVO-pris

För det fall där askfilter och snabbtankning används för att uppgradera 300 MWh/år nås ett betalningsutrymme för biogasen på 0,48 kr/kWh. När askfilter och processintern metananrikning kombineras sjunker betalningsutrymmet ner mot 0,39 kr/kWh. I detta fall är ekonomin förhållandevis beroende av vilken metanhalt processintern metananrikning kan generera. I grundantagandet har en metanhalt på 70 % antagits, om denna höjs till 80 % blir betalningsförmågan för rågasen 0,45 kr/kWh. Detta beror av att askbehovet minskar drastiskt när metanhalten i biogasen stiger. En annan faktor som också påverkar kalkylen är askans koldioxidupptag. Ökas upptaget från antagna 100 g CO<sub>2</sub>/kg aska till 150 g CO<sub>2</sub>/kg aska förbättras betalningsförmågan med 0,10 kr/kWh för de tre första fallen och 0,06 kr/kWh för fallet med processintern metananrikning i kombination med askfilter.

Det finns goda förutsättningar att med analyserade system nå en produktionskostnad för fordonsgas som är ekonomiskt försvarbar. Utmaningarna som identifierats är dels att finna avsättning för gasen samt tillgång och logistiklösningar för askan. Den årliga askproduktionen vid värmeverket i Töreboda är ungefär 45 ton. Detta är för lite för det

minsta systemet som studerats. Askproduktionen vid kraftvärmeverket i Mariestad är däremot betydligt större än vad som krävs i dessa scenarier. Nationellt är tillgången på aska stor då det totalt produceras ca 250 000 ton/år aska från fasta biobränslen i Sverige (Svenska EnergiAskor. 2013).

På förbrukningssidan är idag utbudet av traktorer och anläggningsmaskiner ganska dåligt. Dock tycks det pågå en utveckling där allt fler tillverkare utvecklar koncept för gasdrift. Bedömningen är att det krävs ungefär 1-2 traktorer 2-5 bilar för att förbruka 65-150 MWh/år av fordonsgas.

## Slutsatser

Syftet med projektet var att demonstrera, utvärdera och verifiera uppgradering med processintern metananrikning och askfilter på gårdsnivå. Projektet har tagit tekniken för askfilter från TRL-nivå 4 (verifierad i labbmiljö) genom TRL nivå 5 och 6 vilket betyder att den validerats och demonstrerats i relevant miljö där målet att producera fordonsgas enligt svensk fordonsgasstandard nåtts. Nästa steg är TRL-nivå 7 där hela systemet behöver kopplas samman för att fungera utanför ett testsammanhang.

Även processintern metananrikning har demonstrerats och utvärderats i relevant miljö. Processen nådde svavelvätehalter under 300 ppm i biogasen och demonstrerade drift med metanhalter mellan 70-80 %. Målet att producera gas vid L-gasstandard (DIN 51624) avseende metan, koldioxid och kvävgasinnehåll nåddes ej. Den ekonomiska utvärderingen visar dock att produktion vid lägre metanhalter ändå kan ge stora fördelar i form av minskat askbehov. Vidare har projektet visat på metoder för att ta tillvara ammoniak från luftningen samt kvantifierat mängden kvävegödselmedel som skulle gå att producera från processen. Vår bedömning är att det under projektet identifierats utmaningar kopplat till värmebalans, driftsstrategi/systemintegrering och metanemissioner som gör att det skulle vara önskvärt att konstruera och testa en generation två av detta system innan TRL-nivå 6 kan sägas vara fullt uppnådd.

Vidare har det varit möjligt att inom projektet demonstrera koncept för torkning och tankning av den uppgraderade gasen. Resultaten är lovande för att ta fram ett komplett system för kommersiell produktion och användning av fordonsgas vid svenska gårdsbiogasanläggningar. De ekonomiska beräkningarna för systemen visar att det finns goda förutsättningar att systemen skulle vara ekonomiskt försvarbara. Utmaningen idag bedöms ligga i att hitta avsättning för gasen samt logistiklösningar och tillgång till aska.

## Nytta för näringen och rekommendationer

Genom att möjliggöra fordonsgasproduktion vid mindre gårdsbiogasanläggningar finns det möjlighet att förbättra ekonomin för gårdsbiogasproduktion och samtidigt förbättra försörjningstryggheten. Genom förbättrad ekonomi för gårdsbiogasproduktion förbättras även förutsättningar för t ex ekologiska gårdar att utveckla sin verksamhet kopplat till växtnäringförsörjning och fossilfrihet som en del av den framväxande cirkulära ekonomin. Gårdarna har även möjlighet att till att diversifiera sin affärsverksamhet kopplat till askhantering. Förutom ovanstående finns det även en intressant

beredskapsaspekt på möjligheten till en livsmedelsproduktion med högre självförsörjningsgrad av energi och växtnäring.

För att tekniken skall bli kommersiellt intressant för svenska lantbrukare behövs fortsatt arbete inom tre områden. Dels behöver det tekniska systemet utvecklas till en färdig produkt som tillåter rationell industriell produktion med en för skalan lämplig nivå av automation. Vidare är det viktigt att fortsätta jobba med askklogestiken för att säkerställa kostnadseffektiv hantering och återföring av askan till skogsmark. Slutligen är det av stor vikt att jobba med affärsmodeller kopplat till småskalig användning och försäljning av biogas. Under 2019 kommer RISE, SLU och Västragötalandsregionen att arbeta med just askklogistik i ett projekt finansierat av Vinnova.

## Referenser

- Andersson J. m.fl.** 2016. Processintern metananrikning vid samröttningsanläggningar – samtidig reduktion av koldioxid, svavelväte och ammonium vid rötning av matavfall. Avfall Sveriges Utvecklingssatsning. Rapport 2016:26
- Andersson, J. & Nordberg, Å.** (2014). Optimerat upptag av koldioxid från biogas med kalciumrik aska. Slutrapport SLF V1340023
- Andersson, J., Nordberg, Å.** (2017). Biogas Upgrading Using Ash from Combustion of Wood Fuels: Laboratory Experiments. *Energy and Environment research*, 7 (1), 38-47. doi:10.5539/eer.v7n1p38.
- Andersson, J. m.fl.** (2014). Processintern metananrikning vid gödselrötning – Försök i pilotskala. Rapport 50, Kretslopp & Avfall. In Swedish . JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Uppsala, Sweden. ISSN-1401-4955.
- Bauer, F. m.fl.** (2013). Biogas upgrading – Review of commercial technologies. SGC 2013:270. Malmö 2013.
- Blom M.** 2016. Förutsättningar och affärsmodeller för avsättning av småskaligt producerad fordonsgas. Examensarbete 2016:02. ISSN 1654-9392. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Energimyndigheten.** 2018. Produktion och användning av biogas och rötresten år 2017. ES 2018:01.
- Hävermark U.** 2016. Processintern metananrikning – energikartläggning och efterbehandling av svepgas. Examensarbete 2016:04. ISSN 1654-9392. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala
- Hävermark U.** 2017. Gårdsbaserad uppgradering av biogas med askfilter. Projektarbete i energisystem 2017:2. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Jansson, L.-E.** (2014). Ekonomisk utvärdering av biogasproduktion på gårdsnivå. Rapport i projektet "Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå". H. Förbund.
- Luostarinen m.fl.** 2013. Energy Potential of Manure in the Baltic Sea Region: Biogas Potential & Incentives and Barriers for Implementation. *Baltic Manure*.
- Nordberg, Å., m.fl.** (2012). Selective desorption of carbon dioxide from sewage sludge for in-situ methane enrichment: Enrichment experiments in pilot scale. *Biomass and Bioenergy* 37 (February 2012), 196-204. doi:10.1016/j.biombioe.2011.12.012
- Svenska EnergiAskor.** 2013. Askor i Sverige 2012. Statistik utförd av SCB på uppdrag av Svenska EnergiAskor.

### **Del 3: Resultatförmedling**

<b>Vetenskapliga publiceringar</b>	
<b>Övriga publiceringar</b>	<p>Lantmannen, Nr 11, 2017, s 32-33: Ny teknik på gång för fordonsgas</p> <p>Lantbrukets affärer, Nr 4, 2018, s 42-43: Småskalig biogas utmanar – främst för husbehovstankning</p> <p>Jordbruksaktuellt, 2018-04-20: Småskalig uppgradering av biogas  <a href="http://www.ja.se/artikel/56870/smskalig-uppgradering---av-biogas.html">http://www.ja.se/artikel/56870/smskalig-uppgradering---av-biogas.html</a></p> <p>ATL, 2018-02-18: Småskalig gasproduktion ska öka lönsamheten</p> <p>ATL TV, 2018-04-10: De tankar gas från gården</p> <p>ATL TV, 2018-03-27: Traktortanken fylld med egen biogas</p>
<b>Muntlig kommunikation</b>	<p>Demonstrationsdag Sötåsen, 2016-03-10: Småskalig uppgradering – processintern metananrikning och askfilter, Åke Nordberg, SLU och Henrik Olsson, JTI.  Småskalig fordonsgasproduktion och utvinning av koncentrerat ammoniumbaserat kvävegödsel, Henrik Olsson JTI.</p> <p>Demonstrationsdag Sötåsen, 2017-06-01: Småskalig uppgradering av askfilter – erfarenheter från försök på Sötåsen, Ulf Hävermatk, SLU</p> <p>Demonstrationsdag Sötåsen, 2018-03-22: Askfilter som system, Åke Nordberg, SLU</p> <p>Demonstrationsdag Sötåsen, 2018-03-22: Ekomomi småskalig uppgradering med askfilter, Linus Andersson, HS och Henrik Olsson, RISE</p> <p>Biogas Science 2016, 24 Aug, Szeged, Ungern: Upgrading of biogas with in-situ methane enrichment and wood ash filter – laboratory, pilot and demonstration studies. Åke Nordberg, SLU</p> <p>Biogas Science 2018, 17 Sep, Turin, Italien: Demonstration scale studies of biogas upgrading with wood ash. Åke Nordberg, SLU</p> <p>Skandinaviens Biogaskonferens 2017. 8 November. Skive. Danmark. Småskalig uppgradering av biogas med askfilter och processintern metananrikning. Henrik Olsson, RISE</p>

	Skandinaviens Biogaskonferens 2016. 26 Oktober. Trollhättan. Sverige. Småskalig uppgradering. Henrik Olsson, JTI
<b>Studentarbete</b>	Hävermark, Ulf. 2016. Processintern metananrikning – energikartläggning och efterbehandling av svepgas. Examensarbetet 2016:04, Civilingenjörsprogrammet i energisystem, SLU, Uppsala. <a href="https://stud.epsilon.slu.se/9583/1/havermark_u_160907.pdf">https://stud.epsilon.slu.se/9583/1/havermark_u_160907.pdf</a>
	Blom, Mikaela. 2016. Förutsättningar och affärsmodeller för avsättning av småskaligt producerad fordonsgas. Examensarbetet 2016:04, Civilingenjörsprogrammet i energisystem, SLU, Uppsala. <a href="https://stud.epsilon.slu.se/9234/1/blom_m_160621.pdf">https://stud.epsilon.slu.se/9234/1/blom_m_160621.pdf</a>
	Hävermark, U. 2017. Gårdsbaserad uppgradering av biogas med askfilter. Projektarbete i energisystem 2017:2, Civilingenjörsprogrammet i energisystem, SLU, Uppsala. <a href="https://stud.epsilon.slu.se/13022/1/havermark_u_171121.pdf">https://stud.epsilon.slu.se/13022/1/havermark_u_171121.pdf</a>
<b>Övrigt</b>	Informations och seminariedag vid Sötåsens Naturbruksgymnasium. 2016-03-10. Tema ” Småskalig uppgradering och fordonsgasproduktion”. 42 deltagare.
	Informations och seminariedag vid Sötåsens Naturbruksgymnasium. 2017-06-01. Tema ” Småskaliga tankställen & biogasdrivna arbetsfordon”. 31 deltagare.
	Informations och seminariedag vid Sötåsens Naturbruksgymnasium. 2018-03-22. Tema ”Småskalig uppgradering & tankställen med europeisk utblick”. 59 deltagare.