



Biogas med kolmembranuppgradering för optimerad biogasanvändning på lantbruk (Biogas with carbon-membrane upgrading for optimised biogas utilisation on farms)

**Stefan Liljemark, Gøril Forbord, Tapio Riipinen, Jonas Andersen, Kjell Christensson,
Thor Andersson**

*"Catalyzing energygas development
for sustainable solutions"*

Biogas med kolmembranuppgradering för optimerad biogasanvändning på lantbruk (Biogas with carbon-membrane upgrading for optimised biogas utilisation on farms)

Stefan Liljemark, Gøril Forbord, Tapio Riipinen, Jonas Andersen, Kjell Christenson, Thor Andersson

Denna studie har finansierats av:
Energimyndigheten
AGCO Suomi Oy (Valtra)
Biofuel Region AB
Biogas Syd
LRF
MemfoACT AS
Rotage Agri AB (Götene Gårdsgas)
Sintef Materials and Chemistry

© Svenskt Gastekniskt Center AB

Postadress och Besöksadress
Scheelegatan 3
212 28 MALMÖ

Telefonväxel
040-680 07 60

Telefax
0735-279104

E-post
info@sgc.se

Hemsida
www.sgc.se



Svenskt Gastekniskt Center AB, SGC

SGC är ett spjutspetsföretag inom hållbar utveckling med ett nationellt uppdrag. Vi arbetar under devisen "*Catalyzing energygas development for sustainable solutions*". Vi samordnar branschgemensam utveckling kring framställning, distribution och användning av energigas och sprider kunskap om energigas. Fokus ligger på förnybara gaser från rötning och förgasning. Tillsammans med företag och med Energimyndigheten och dess kollektivforskningsprogram *Energigastekniskt utvecklingsprogram* utvecklar vi nya möjligheter för energigaserna att bidra till ett hållbart samhälle. Tillsammans med våra fokusgrupper inom *Rötning, Förgasning och bränslesyntes, Distribution och lagring, Industri och hushåll* och *Gasformiga drivmedel* identifierar vi frågeställningar av branschgemensamt intresse att genomföra forsknings-, utvecklings och/eller demonstrationsprojekt kring. Som medlem i den europeiska gasforskningsorganisationen GERG fångar SGC också upp internationella perspektiv på utvecklingen inom energigasområdet.

Resultaten från projekt drivna av SGC publiceras i en särskild rapportserie – *SGC Rapport*. Rapporterna kan laddas ned från hemsidan – www.sgc.se. Det är också möjligt att prenumerera på de tryckta rapporterna. SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll.

SGC ger också ut faktabroschyrer kring olika aspekter av energigasens framställning, distribution och användning. Broschyrer kan köpas via SGC:s kansli.

SGC har sedan starten 1990 sitt säte i Malmö. Vi ägs av E.ON Gas Sverige AB, Energigas Sverige, Swedegas AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Malmö 2013

Martin Ragnar
Verkställande direktör



Swedish Gas Technology Centre, SGC

SGC is a leading-edge company within the field of sustainable development having a national Swedish assignment. We work under the vision of “*Catalyzing energygas development for sustainable solutions*”. We co-ordinate industry-wide technical development on the production, distribution and utilization of energygases and disseminate knowledge concerning energygases. Focus is on renewable gases from anaerobic digestion and gasification. Together with private companies and with the Swedish Energy Agency and its frame program *Development program for energygas technology* we develop new solutions where energygases could provide benefits for a sustainable society. Together with our focus groups on *Anaerobic digestion, Gasification and fuel synthesis, Distribution and storage, Industry and household* and *Gaseous fuels* we identify issues of common interest in the industry to conduct joint research, development and/or demonstrations projects on. As a member of the European gas research organization GERG, SGC provides an international perspective to the development within the Swedish energygas sector.

Results from the SGC projects are published in a report series – *SGC Rapport*. The reports can be downloaded free of charge from our website – www.sgc.se. It is also possible to subscribe to the printed reports. SGC is responsible for the publishing of the reports, whereas the authors of the report are responsible for the content of the reports.

SGC also publishes fact brochures and the results from our research projects in the report series *SGC Rapport*. Brochures can be purchased via the website.

SGC is since the start in 1990 located in Malmö. We are owned by E.ON Gas Sverige AB, Energigas Sverige, Swedegas AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) and Öresundskraft AB.

Malmö, Sweden 2013

Martin Ragnar
Chief Executive Officer



Författarnas förord

Detta projekt, Biogas med kolmembranuppgradering för optimerad biogasanvändning på lantbruk, har utförts under perioden maj till november 2012. Huvudutförare har varit Pöyry Swedpower AB, tillsammans med projektpartners nedan. Det har bedrivits dels genom litteraturstudier, dels genom att projektparter har bidragit med kunskap och information från sitt eget verksamhetsområde. Under projektarbetet har en workshop/referensgruppmötesdag arrangerats.

Projektpartners tillika finansiärer har varit:

AGCO Suomi Oy (Valtra), Finland

MemfoACT AS, Norge

Sintef Materials and Chemistry, Norge

Rotage Agri AB (Götene Gårdsgas), Sverige

Biogas Syd, Sverige

Ytterligare medfinansiärer har varit:

LRF, Sverige

Biofuel Region AB, Sverige

Energimyndigheten via SGC, Sverige

Till projektet har en referensgrupp funnits knuten bestående av följande personer:

Mattias Svensson, SGC (programansvarig)

Stefan Liljemark, Pöyry SwedPower AB (projektledare)

Mikko Lehtikainen, AGCO Suomi Oy/Valtra Oy AB

Tapio Riipinen, Afcon Oy, konsult för Valtra Oy AB

Thor Andersson, Lantmännen Maskin AB (för AGCO Suomi Oy/Valtra)

Håvard Fjeldvær och Gøril Forbord, MemfoACT AS

Michael McCann, Sintef Materials and Chemistry

Adam Jansson och Jonas Andersen, Rotage Agri AB (Götene Gårdsgas)

Kjell Christensson, Biogas Syd

Daniel Ingman, LRF

Anna Säfvestad Albinsson, BioFuel Region AB

Projektrapporten har författats av Stefan Liljemark (huvudförfattare), Gøril Forbord, Tapio Riipinen, Jonas Andersen, Kjell Christensson och Thor Andersson.

Göteborg i November 2012

Stefan Liljemark, Pöyry SwedPower AB



Extended summary

The scope of this techno-economic study is farm-scale upgrading of biogas with membrane upgrading technology, combined with heat and power generation (CHP), for local energy needs on a farm. The sources to digest are waste and production residues from the farm. The biogas could partly be upgraded to vehicle fuel quality for use in tractors and cars, and partly used for CHP where gas quality requirements are lower, and thus not all of the raw gas should need upgrading.

The hypothesis is that this system approach for biogas with membrane upgrading should enable techno-economic optimization, beneficial for the farm and the environment, and give flexibility over the year.

The work is performed through literature studies and contributions of knowledge and information from the project partners's areas of business and development.

As scenarios farms for milk production have been chosen, with different sizes and where plausible biogas production amounts from manure are estimated. Specific calculations for economy of the biogas production scenarios are made. Based on the estimated biogas amounts and on a variety of possible scenarios (such as different methane contents in the product gas and different rates of methane recovery) for upgrading with a new carbon-membrane technology, specific calculations of the resulting upgrading costs were made. *Table i* below shows the calculated upgrading costs (remark: all other costs not included) at 99 % methane recovery and 96 % methane purity (methane rate) in the product gas, for different scenarios of capacity (flow of biogas to be upgraded).

Table i. Costs for upgrading with above 99 % methane recovery and 96 % methane purity.

Capacity	6	9,5	16	19	27	46	Nm3/h
Methane purity	96 %	96 %	96 %	96 %	96 %	96 %	Per cent
Investment cost	710 000	890 000	1 550 000	1 730 000	2 300 000	3 180 000	NOK
Methane loss	0,90 %	0,90 %	0,90 %	0,90 %	0,90 %	0,90 %	Per cent
Total Biomethane production	33 415	52 908	89 107	105 815	150 369	256 184	Nm3/yr
Energy consumption	3	4	6	7	9	14	kW
Total upgrading cost	155 624	189 108	303 716	341 235	452 487	632 386	NOK/yr
Operating & maintenance cost	59 826	67 729	82 410	89 185	107 250	150 155	NOK/yr
Total capital cost	95 798	121 379	221 306	252 050	345 237	482 231	NOK/yr
Total upgrading cost	0,48	0,37	0,35	0,33	0,31	0,25	NOK/kWh
" in SEK	0,57	0,44	0,41	0,39	0,37	0,30	SEK/kWh

Economic consequences on the upgrading costs of a scenario with upgrading to lower methane content in the product gas, 80 % methane, were one of the alternatives made. Results are shown in the *table ii* below.



Table ii. Costs for upgrading to 80 % methane.

Capacity	6	16	27	46	Nm3/h
Methane purity	80 %	80 %	80 %	80 %	Per cent
Investment cost	460 000	670 000	850 000	1 360 000	NOK
Methane loss	1,20 %	1,20 %	1,20 %	1,20 %	Per cent
Total Biomethane production	39 977	106 605	179 896	306 490	Nm3/yr
Energy consumption	3	5	8	12	kW
Total upgrading cost	106 388	152 953	194 550	298 530	NOK/yr
Operating & maintenance cost	57 521	76 255	96 863	132 459	NOK/yr
Total capital cost	48 867	76 698	97 687	166 072	NOK/yr
Total upgrading cost	0,33	0,18	0,13	0,12	NOK/kWh
" in SEK	0,39	0,21	0,15	0,14	SEK/kWh

Performances of realistic pilot tests of methane/diesel tractor use in southern Sweden are also described in the report, and show good results and acceptance. Discussed are consequences of different fuel qualities (methane content), on tractor performance and tractor design as well as requirements and development in legal framework for vehicle registration and emissions.

Other parts of a possible system for biogas production and biogas use for tractors and local CHP¹ on a farm are commented from literature studies, and specific references and recommendations on further reading in other literature are made.

The conclusions are summarized as follows:

- The available energy produced in the chosen scenarios (manure from cattle in milk production), are similar to the combined local energy needs on a farm (electricity, heat and tractor fuel).
- The resulting biogas amounts for the studied scenarios are regarded as small-scale for biogas production plants. Adding another substrate with high methane potential could have large importance for the overall economy.
- The studied carbon-membrane upgrading technology show good opportunities for flexibility in a variety of aspects, including intermittent operation, variations of methane rate in the resulting product gas, adaptation to different gas flow capacities, possibilities to split the gas stream between one upgrading stream for vehicle fuel methane and one stream direct to a CHP engine.
- With chosen prerequisites, up to 70 % of the raw gas flow could be upgraded to biogas with 96 % methane content, and the remaining gas flow to CHP still have a methane content of >40 %.
- Upgrading with a membrane plant is easily started and stopped, without extra costs. This might be the most important advantage in the operation.
- The studied carbon-membrane upgrading technology is judged as potentially competitive and shows in the cost calculations less sensitivity for increased costs when the plant size decreases, when compared to figures

¹ CHP: Combined heat and electric power production



presented in earlier studies (year 2012) for different upgrading technologies.

- If a farm can manage the economics of biogas production as such, it is thus concluded that it could be possible to economically manage also upgrading to tractor fuel methane by using carbon-membrane upgrading technology. This conclusion is based on the facts that vehicle fuel has a higher value than electricity or heat for local use and that the carbon-membrane technology shows good opportunities for flexibility in the choices of performance and plant adaptation due to local needs.
- Depending on the flexible opportunities we cannot within the extent of this study conclude on single recommendation for an optimal system outline for biogas production and upgrading with membrane technology on a farm. We recommend that this study is complemented with studies in direct cooperation with a specific farm or a number of farms.
- A methane/diesel fuelled tractor has been tested in different use in a pilot project in southern Sweden. Interest from users is shown, but still (2012) development is going on for the tractor technology and for the legal framework for methane/diesel fuelled tractors to create the market for these tractors.



Sammanfattning

Projektidén är att från gårdsproducerad biogas, baserad på gårdens restprodukter och avfall, uppgradera gasen med hjälp av membranteknik så att en del av biogasen kan användas till drivmedel för fordon (traktorer, bilar) samt ytterligare en del användas till kraftvärmeproduktion då all rågas inte uppgraderas till fordonskvalitet.

Hypotesen är att detta systemupplägg för biogas med membranuppgradering skall ge möjlighet till teknisk och ekonomisk optimering av nyttan för gården och miljön, och samtidigt ge flexibilitet över året.

Vi sammanfattar här slutsatserna i punktform:

- Storleksordningar för tillgängliga energiråvaror för valda scenarios (biogas från gödsel på mjölkgårdar) visar intressant överensstämmelse med storleksordningar för gårdens lokala energibehov för el, värme och traktordrivmedel.
- De resulterande biogasmängderna i studerade scenarios (gödsel från mjölkgårdar) är att betrakta som småskala när det gäller biogasanläggningar. Samrötning med en annan substratström med högt metanutbyte skulle kunna ha stor betydelse.
- Den studerade kolmembrantekniken för uppgradering visar goda möjligheter till flexibilitet, när det gäller intermittent drift, variation av uppgraderingsgrad (metanhalt), möjligheter att anpassas till olika stora flöden och att dela upp rågasströmmen i dels uppgraderad gas för drivmedel, dels rågas direkt till lokal kraftvärmeproduktion.
- Med valda förutsättningar skulle upp till 70 % av rågasen kunna uppgraderas till 96 % metanhalt, och samtidigt kunna ge >40 % metanhalt i det resterande gasflödet till kraftvärme.
- Uppgradering med membranläggning är enkel att starta och stoppa, utan extra kostnader. Detta är kanske den allra viktigaste fördelen i användningen.
- Den studerade kolmembrantekniken för uppgradering bedöms kunna vara konkurrenskraftig och visar mindre känslighet för kostnadsökning per enhet uppgraderad gas när man går mot mindre anläggningsstorlek, jämfört med vad tidigare studier (2012) angett för olika uppgraderingstekniker.
- Om en gård ekonomiskt kan klara biogasproduktion i sig, kan det finnas möjligheter att även klara uppgradering till traktordrivmedel med kolmembranteknik, genom att drivmedel har högre värde än el och värme för eget bruk, och att kolmembrantekniken har flexibla möjligheter att välja prestanda och utformning för en anläggning.
- De flexibla möjligheterna gör att vi inte kan ge en entydig rekommendation om bästa systemupplägg inom detta projekts ram. Vi rekommenderar att fördjupande studier görs i samarbete med konkret utvald gård(-ar).
- Metan/dieseltraktordrift har visat sig fungera väl i pilotprojekt i Skåne, och intresse har visats, men utveckling pågår fortfarande (2012) av såväl traktorteknik som regelverk för registrering av metan/dieseltraktorer för att en marknad för sådana traktorer ska växa fram.



Innehåll

1. Bakgrund.....	12
Bakgrund	12
Projektidé.....	12
Hypotes.....	12
Mål	13
2. Metodbeskrivning	14
Genomförande.....	14
Fas 1 (=denna studie).....	14
Preliminär Fas 2.....	15
3. Särskilt väsentliga litteraturreferenser	16
4. Lantbruk och gård samt biogasproduktion	17
Typgård - Inriktning och storlek.....	17
Biogasproduktion och ekonomi.....	19
5. Tidigare jämförelse av uppgraderingstekniker.....	21
6. Biogasuppgradering med ny kolmembranteknik – möjlig flexibilitet och ekonomi.....	23
Karbonmembraner (kolmembran).....	23
Småskala oppgradering til drivstoffkvalitet med karbonmembraner.....	25
7. Biogasdriven traktor	30
Generella egenskaper för Valtras dual fuel-traktorer	30
Särskilda egenskaper	31
Praktiska tester och ekonomi som en del av ett projekt i Sverige 2010-2011...	32
Gaskvalitet för biogas för dual fuel-traktorer	35
Fordonstankning	38
8. Biogasdrift i stationära gasmotorer för kraftvärmeproduktion.....	40
9. Resultat och diskussion.....	42
Kort tillbakablick på närmast föregående projekt och studier om biogastraktormöjligheter i Sverige.....	42
Projekthypotesen i innevarande SGC-projekt.....	42
Ekonomi för kolmembranuppgradering	43
Flexibilitet med kolmembranuppgradering	44
Energiförhållanden för lantbruk.....	44
Systemkonceptet	46



Kvarstående möjligheter och utmaningar.....	47
10. Slutsatser.....	49
11. Tack.....	50
12. Referenser samt litteratur för vidare läsning.....	51
13. BILAGA 1. Energianalys för lantbruk, enkel första skiss, 80 kor.....	53
14. BILAGA 2. Förberedande biogaskalkyler (biogasproduktion och kraftvärme) 54	
15. BILAGA 3. Egenskaper för koldioxid	67
16. Bilaga 4. Förklaring av OEM och A-OEM	69



1. Bakgrund

Bakgrund

Biogasproduktion på gårdsnivå är högaktuellt då många lantbrukare investerar i och bygger nya biogasanläggningar. Dock används gasen i dag vanligtvis till att enbart producera el och värme vilket kan ge dålig lönsamhet.

Ett alternativ är att uppgradera gasen till fordonsbränsle och öka möjligheten till avsättning. Detta kräver i dagsläget en stor gasproduktion för att vara lönsamt, varför många lantbrukare tittar på möjligheten att uppgradera gasen gemensamt i en centralanläggning dit rågasen transporteras i tänkta gasnät. Detta är en dyr infrastrukturinvestering och än så länge är det få lantbrukare som har genomfört planerna.

Att uppgradera gasen i liten skala på gården är lockande men tekniskt utmanande. Utmaningen är att få tillräckligt god kvalitet på gasen, motsvarande 97 % metan, samt att ha jämn avsättning för den och därmed undvika lagring av gas vilket är dyrt.

Optimalt vore kombinationen att kunna producera både fordonsbränsle och ha avsättning för gasen i övrigt med hjälp av kraftvärmeproduktion som kan gå kontinuerligt. Genom membranteknik kan möjligen detta uppnås – både att producera fordonsbränsle av hög kvalitet samt el och värme med hjälp av en stationär gasmotor. Hur detta system ska se ut och vad som kan nås tekniskt och ekonomiskt är ännu inte klarlagt. Med membranteknik kan uppgraderingsnivå väljas genom utformning av membran och antal steg, vilket också påverkar kostnaderna, och tekniken förmodas kunna möjliggöra en teknoekonomiskt god lösning även för småskalig drivmedelsproduktion (biogas) för användning i lantbruk.

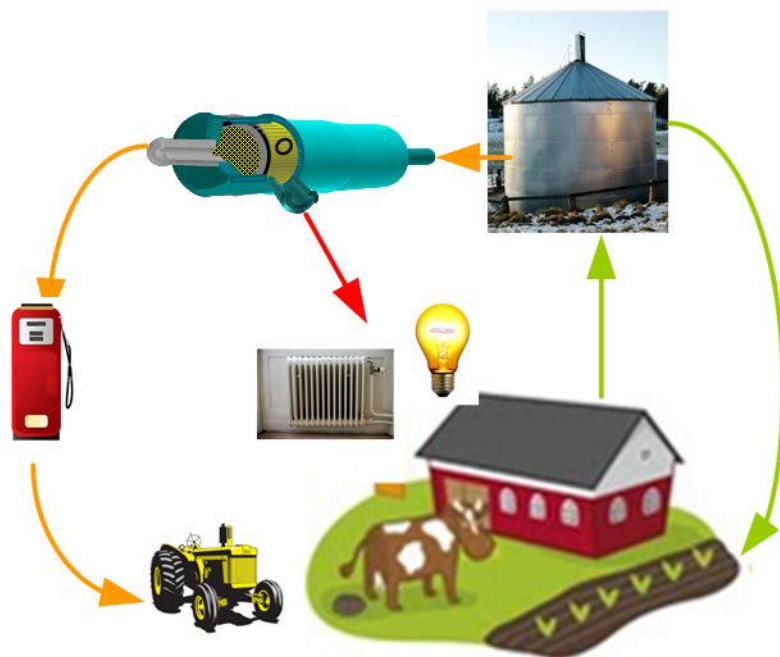
Projektidé

Projektidén är att från gårdsproducerad biogas, baserad på gårdens restprodukter och avfall, uppgradera gasen med hjälp av membranteknik så att en del av biogasen kan användas till drivmedel för fordon (traktorer, bilar) samt ytterligare en del användas till kraftvärmeproduktion då all rågas inte uppgraderas till fordonskvalitet.

Hypotes

Hypotesen är att detta systemupplägg för biogas med membranuppgradering skall ge möjlighet till teknisk och ekonomisk optimering av nyttan för gården och miljön, och samtidigt ge flexibilitet över året.





Figur 1. Biogaskretslopp på lantbruk

Mål

Projektet skall

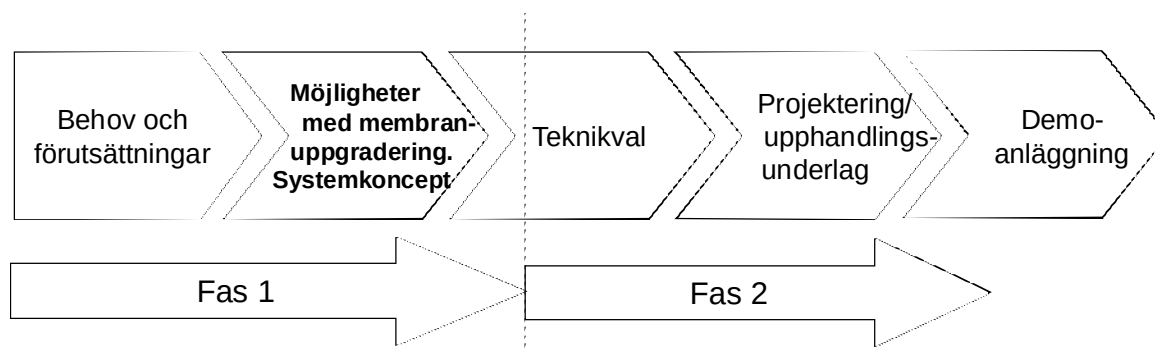
- visa om teknisk lösning och möjlig ekonomi kan bekräfta hypotesen ovan ("proof of concept").
- bilda grund för upphandlingsunderlag för en möjlig demonstrationsgård.
- bidra till att förbättra lönsamheten för 40 st gårdar till år 2016.



2. Metodbeskrivning

Genomförande

Projektets faser beskrivs med följande figur:



Figur 2. Schematisk projektskiss. (Denna rapport avser Fas 1).

Fas 1 (=denna studie)

Fas 1 är en förstudiefas för en utformning av ett systemkoncept för fossilfri gård med membranuppgradering av gårdsproducerad biogas. Fokus är på uppgradering, användning av biogasen för traktorer/bilar och andra ändamål, "proof of concept" och tekno-ekonomiska möjligheter. I denna fas tas fram en konceptstudie och innehåller följande steg:

Behov och förutsättningar.

- Identifiering av en lämplig typgård; (storlek, preliminär möjlighet till biogasproduktion).
- Behovsanalys för typgården avseende el och värme för gårdens drift samt drivmedel för fordon (traktorer, bilar).
- Möjlig biogasproduktion, uppgradering och ekonomi. Systemkoncept.
- Sökning och listning av förekommande litteratur om konceptet
- Bedömning av möjlig biogasproduktion baserat på gårdens restprodukter och avfall.
- Beskrivning av tekniska möjligheter med biogasuppgradering med membrantechnik av den gårdsproducerade biogasen.
- Analys av ekonomiska förutsättningar samt systembeskrivning för gasproduktion, membranuppgradering och gasanvändning, inkluderande avsättning för både biogas till traktor och övriga fordon, och biogas till kraftvärme. Hur mycket av gårdens behov klarar biogassystemet att försörja över året, vilket tillskott krävs och i vilken form? Tekno-ekonomisk analys av biogasanvändningen.
- Preliminärt teknikval.
- Bedömning av vilka möjliga fördelar som membrantechniken kan ha för uppgradering



- Preliminärt konceptförslag för lämplig teknisk lösning, ekonomisk investering, lämplig storlek och applikation, förslag till användning.

Fordon – avsättning för biogas: En särskild frågeställning där viss fördjupning avses göras, är om det är möjligt att ha en egen traktor som drivs av fordonsgas från lokal produktion, och om man kan få en bättre tekno-ekonomisk kompromiss för gården genom att nöja sig med att rena rågasen till en något lägre metanhalt än den som anges i den standardiserade fordonsgasspecifikationen (som är metanhalt 97 % +/- 2 % för biogas B enligt SS 15 54 38), och om denna biogas enkelt tankas på gården? En metangasdriven traktor finns idag (Valtra) men utgångspunkten för den är att tankas på kommersiella tankstationer där 97 % metan fås. Kan den köras på lägre metanhalt? Vad händer då med koldioxiden i biogasen om man komprimerar biogasen till 200 bars tryck? Koldioxid förvätskas vid ca 70-75 bars tryck beroende på temperatur och hur påverkar detta gastanken? Hur skulle detta fungera i system för långsam respektive snabb tankning?

Projektarbetet har bedrivits dels med litteraturstudier, dels genom att projektparter har bidragit med kunskap och information från sina respektive verksamhetsområden. Då det visade sig att det översteg projektets resurser att få fram visst underlag har vissa avgränsningar gjorts.

Leverabel från Fas 1: Resultaten redovisas i en rapport.

Preliminär Fas 2

(OBS! Fas 2 ingår inte i denna studie.)

Detaljstudie för att ta fram ett upphandlingsunderlag för en möjlig demonstrationsgård.

Ta fram lämpliga partners – lämplig gård, storlek på anläggning samt precisera hur och vad som ska demonstreras (uppgrädering, motorteknik, systemkoncept).



3. Särskilt väsentliga litteraturreferenser

Följande litteraturreferenser har varit särskilt viktiga som underlag för denna studie om biogasproduktion och biogasanvändning på gård. Ytterligare referenser och litteratur för vidare läsning finns angivna i den särskilda referenslistan i slutet av rapporten (före bilagorna).

- Carlsson M., Uldal M. Substrathandbok för biogasproduktion. SGC-rapport 200. Malmö 2009.
<http://www.sgc.se/display.asp?ID=1242&Typ=Rapport&Menu=Rapporter>
En gedigen genomgång av egenskaperna för olika substrat för biogasproduktion.
- Biogas på gården - en introduktion. LRF 2008.
http://www.lrf.se/PageFiles/5703/Biogas_pa_garden_LR.pdf
En rapport som ger exempel på hur man skulle kunna etablera biogasanläggning i lantbruk och producera el och värme för eget bruk och vissa externa brukare.
- Blom H., McCann M., Westman J. Småskalig uppgradering och förädling av biogas. Pöyry SwedPower AB, för AgroVäst och Energigården. Göteborg 2012. http://www.biogasvast.se/upload/Biogas_%20V_%C3%A4st/Slutrapport_%20Sm_%C3%A5skalig_%20Biogasuppgradering_2012-02-20.pdf
Rapporten går igenom olika möjliga tekniker för att småskaligt uppgradera biogas till fordonsgaskavlitet, och gör ekonomiska jämförelser².
- Greppa näringen.
Projektet Greppa är ett samarbete mellan Jordbruksverket, LRF, länsstyrelserna och flera [andra rådgivningsorganisationer](#) i Sverige. Det innehåller rådgivning för lantbruk och miljö. Information finns på www.greppa.nu där också ett stort antal olika skrifter kan beställas.
- Biogasdrivna dual fuel-traktorer i lantbruk, entreprenad och kommuner – en förstudie. Slutrapport. Biogas Syd, Malmö 2011.
Är en utförlig studie om test av konceptversion av biogastraktor i olika användningar i Skåne. Går också igenom förutsättningarna för biogasdrift, genom att beskriva biogasproduktion, uppgradering och tankningsmöjligheter.
- Eder, Barbara, et al. Biogas Praxis – Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit, Umwelt. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg 2012.
En nyutkommen och gedigen bok (på tyska) om det mesta om biogasproduktion, dess förutsättningar och biogasanvändning. Beskriver kraftvärmemöjligheter utförligt. Boken beställs i pappersupplaga.
- Neuman, L. Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008. LRF KONSULT AB, 2009.
Rapporten är en noggrann genomgång av energianvändning för framför allt mjölkproduktion på lantgård.

² Efter att denna rapport gjorts klar har en annan rapport om uppgradering publicerats som kan vara av intresse för läsaren: SGC Rapport 270 - SVENSK SAMMANFATTNING - Biogas uppgärning - Review of commercial technologies. Fredric Bauer, Christian Hultberg, Tobias Persson, Daniel Tamm 2013 http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC270_SWE.pdf



4. Lantbruk och gård samt biogasproduktion

Typgård - Inriktning och storlek

Typgård för denna studie väljs som en avvägning mellan vad som bedöms vara bra bassubstrat, små kända problem vid biogasrötning från substratet, samt tillgång på publika data för såväl möjliga energiråvaror som olika slags energiförbrukning för en gård.

Enligt substrathandboken (Carlsson et al, [1], kap 3.5) är gödsel ett bra bassubstrat, och nötgödsel bedöms vara minst problematisk gödseltyp när det gäller hanteringen, t ex mindre risk för sedimentering eller svämtäcke än det kan vara med flera andra gödseltyper. Vi har därför valt att söka data för mjölkgårdar.

En bra översikt över möjligheter och förutsättningar för biogas på lantbruk ges i LRF:s skrift "Biogas på gården" [2]. Där finns även exempel på två typgårdars möjliga biogasproduktion och användning för lokal elkraft och värme, där man dock exemplifierar tänkbara el- och värmebehov även utanför den egna gården. Biogas för traktorer ingår dock inte i exemplen där.

En översikt av en typisk mjölkgård som innehåller även energiförbrukning för traktorer (dieselförbrukning i förhållande till odlingsareal samt inomgårds) har tagits fram i projektet Greppa Näringen (Jordbruksverket et al, [4]). Denna typgårdsbeskrivning avser en mjölkgård med 80 kor, växtodling 80 ha och ger flytgödselmängd 2 000 ton/år. Vi väljer denna referens som en initial utgångspunkt för nyckeltal för nu aktuell studie.

Vi konstaterar att 80 kor ligger i det intervall för mjölkgårdsstorlek som enligt tabellen nedan för de senaste åren 2006-2010 är brytpunkt i utvecklingen för besättningsstorlekar för svenska mjölkgårdar. Antalet kor i mindre besättningar minskar i antal, antalet kor i större besättningar ökar i antal. Det totala antalet mjölkkor är dock svagt minskande under perioden.

Tabell 1. Svenska mjölkgårdars storlek, kontrollåren 2006/07-2010/11.

Antal kor per besättning	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11
1-24,9	18 011	15 101	13 226	11 771	10 253
25-49,9	85 129	74 644	64 400	58 402	51 872
50-74,9	71 217	69 227	65 064	60 349	59 343
75-99,9	35 540	35 558	35 923	36 274	34 048
100-149,9	45 950	49 391	52 143	51 699	51 817
150-199,9	19 196	20 722	23 464	23 043	24 685
200-299,9	14 456	17 225	19 472	19 609	22 630
300-	8 643	10 465	11 554	14 565	20 339
Summa	298 142	292 333	285 246	275 713	274 987

Avser helårsanslutna kor. Källa: Svensk Mjolk, tabellen uppdaterad 2012-03-08.
www.svenskmjolk.se/Statistik/Mjolkforetaget/Besattningsstorlekar-i-Kokontrollen/



Inledande kalkyl för biogasproduktion och lokal kraftvärme, gjord med projektpartnern Rotage Agris (Götene Gårdsgas) kalkylmodell, för typgården med 80 kor indikerade dock att den ekonomiska utmaningen för denna gårdsstorlek är mycket tuff, vilket visas senare i texten. Större gårdsstorlekar lades därför till.

I en första iteration valdes då även storlekarna 240 mjölkkor respektive 400 mjölkkor för kalkylering av biogasproduktion.

Nedanstående tabell sammanfattar denna första beräkning av indikativ biogasmängd från flytgödsel för tre gårdsstorlekar.

Tabell 2 Typgårdsstorlekar och indikativ mängd biogas (rågas) från flytgödsel (första beräkning).

Antal mjölkkor	Biogas Nm3/dag	Biogas Nm3/tim
80	129	6
240	388	16
400	646	27

I en andra iteration med ny information justerar vi mellanstorleken till 160 kor. Enligt Rotage Agri motsvarar en mjölkobesättning på 160-170 kor kapaciteten för två stycken mjölkkningsrobotar på en modern gård, och denna blir en alltmer vanlig gårdsstorlek. Vi räknar då här på de tre alternativen 80 kor, 160 kor och 400 kor, och använder nya erfarenhetsuppgifter från projektpartnern Rotage Agri om typiska mängder flytgödsel per ko (större än i första iterationen). Se i Bilaga 2.

Sammanfattning av vald gårdstyp och storlekar i andra iterationen samt indikativa biogasmängder från uppjusterade flytgödselmängder ges i följande tabell.

Tabell 3 Typgårdsstorlekar och indikativ mängd biogas (rågas) från flytgödsel (uppjusterade mängder).

Antal mjölkkor	Biogas Nm3/dag	Biogas Nm3/tim
80	226	9,5
160	452	19
400	1099	46



Biogasproduktion och ekonomi

Kalkyler har gjorts för ovan nämnda scenarios, totalt 6 stycken (2x3) kalkyler. Kalkylernas viktigaste data som ger storleksordningar redovisas sammanställda i de båda tabellerna nedan. Kalkylerna kan ses utförligare i Bilaga 2.

I kalkylerna för biogasproduktionen ingår rötchammare, lokalt kraftvärmeverk, gasutrustning, rördragning, styr- och reglerutrustning, maskincontainer, gaslager, omrörare, fackla m.m.

Uppgradering och utrustning för fordonstankning är inte inräknad här. Framdragning av el och vatten, nätanslutning, markarbeten samt eventuell kulvert, gasledning och gödselledning är inte heller inräknad.

Tabell 4 Biogaskalkyler, iteration 1

	80 kor (utgångskalkyl)	240 kor (iteration 1)	400 kor (iteration 1)
Flytgödsel, nöt (ton/år)	2 000	6 000	10 000
Biogas (rågas) Nm3/dag	129	388	646
motsvarar Nm3/tim	6	16	27
Gasens energiinnehåll kWh/dag	487	1 418	2 363
Intäkter, SEK/år. (Värde av el, värme, bättre gödsel)	136 618	364 633	607 722
Kostnader, SEK år 1. (Amortering, ränta, service, arbetstid, avgifter)	404 011	469 460	614 239
Kassaflöde, medel över 20 år, SEK/år	-107 747	13 267	108 715
Återbetalningstid	105 år	18 år	13 år

Tabell 5 Biogaskalkyler, iteration 2, utökade gödselmängder

<i>Med utökade gödselmängder</i>	80 kor (iteration 2)	160 kor (iteration 2)	400 kor (iteration 2)
Flytgödsel, nöt (ton/år)	3 500	7 000	17 000
Biogas (rågas) Nm3/dag	226	452	1 099
motsvarar Nm3/tim	9,5	19	46
Gasens energiinnehåll kWh/dag	827	1 654	4 016
Intäkter, SEK/år . (Värde av el, värme, bättre gödsel)	198 101	396 201	962 203
Kostnader, SEK år 1. (Amortering, ränta, service, arbetstid, avgifter)	420 140	483 988	705 602
Kassaflöde, medel över 20 år, SEK/år	-73 836	28 891	304 930
Återbetalningstid	44 år	17 år	8 år



För denna studie använder vi ovanstående scenarios som exempel. Den som vill fördjupa sig mer om gårdsbaserad biogasproduktion kan med fördel läsa mer i Eder, Barbara et al 2012 [6], Edström et al 2008 [12] och Nordberg et al 2009 [13].

I scenarios för denna studie betraktas här energianvändningen (el, värme och drivmedel) som lokal för gårdens eget bruk. Den som vill fördjupa sig om elnätanslutning och försäljning av el från småskalig kraftvärme rekommenderas läsa vidare i Andersson et al 2010 [8], och Neuman 2009 [7].

Utökning med andra substrat än gödsel, (t ex skörderester eller returprodukt från mejeri), har för förenkling inte gjorts i våra valda scenarier, men kan naturligtvis göras i ett verkligt fall för att öka gasproduktionen och förbättra ekonomin [1]. Ett exempel på substrat för ökat gasutbyte beskrivs med följande citat ur tidskriften Energigas nr 4, 2012, s. 25-27: "Det här är kasserat snask från en godisfabrik inne i Habo. Jag får det gratis om jag står för frakten. När jag blandar det med gödseln ökar min gasproduktion med 40-50 % säger bonden Dan Waldemarsson"³.

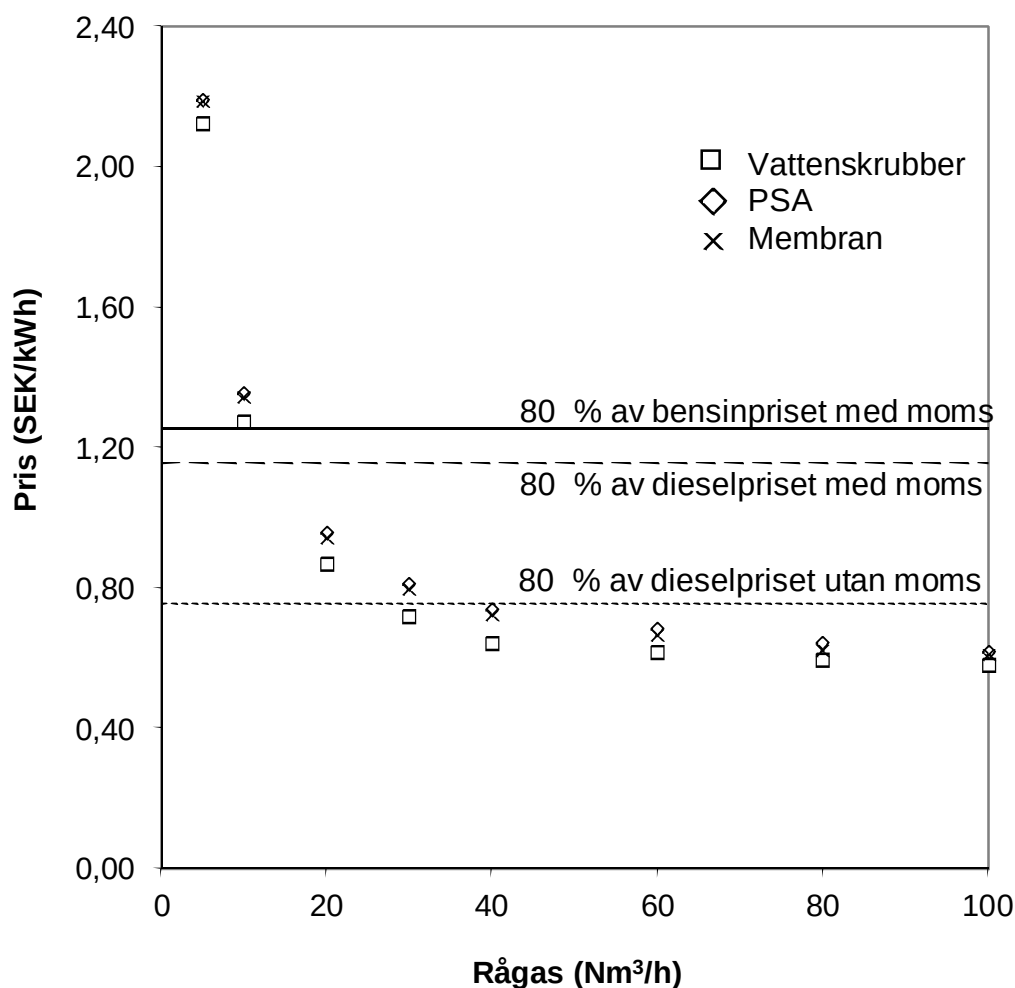
³ <http://www.energigas.se/Publikationer/TidningenEnergigas/SenasteNumret/Nr42012>



5. Tidigare jämförelse av uppgraderingstekniker

I en tidigare studie under 2012 (Blom et al, [3] om metoder för småskalig uppgradering för biogas jämfördes olika uppgraderingstekniker. De jämförda typerna var vattenskrubber, PSA och membran. För vardera typen hade flera leverantörer lämnat data.

En ekonomisk jämförelse gjordes för olika fall med olika stora rågasflöden. Där ingår rågasproduktion, uppgraderingsanläggnings investering och drift, kompressor och energiåtgång för långsamtankning (dvs ingen publik tankstation), samt ett litet lastväxlarflak för lagring av ca 2000 Nm³ metangas. Kostnad för extern torkning och extern svavelrening ingår inte i produktionskostnaden. Resultatet av den jämförelsen visas i diagrammet nedan⁴.



Figur 3. Produktionskostnad för uppgraderad biogas för olika rågasflöden jämfört med snittpriser på fossila drivmedel för perioden januari till september 2011. (Blom et al, 2012. [3].

⁴ Den inräknade kostnaden för rågasproduktion är 0,40 SEK/kWh och för tryckhöjning och långsamtankning 0,08 SEK/kWh.



I jämförelsen ovan ingick dock inte den membranteknik som är under utveckling och beskrivs närmare i nästa kapitel i denna rapport⁵. I denna studie är en del av dess fokus på kolmembranteknikens möjligheter till flexibilitet i upplägg och drift av biogasuppgradering, och bland annat de ekonomiska konsekvenserna därifrån.

Vi kan konstatera att gödsel från de mjölkgårdsstorlekar som diskuteras i nu aktuell studie ger biogasmängder som ligger i den vänstra halvan av diagrammet ovan.

⁵ I den med att undersöka möjligheterna med (kol-)membranuppgradering mer detaljerat kom efter en kontakt mellan Pöyry och MemfoAct och SINTEF materials and chemistry. SINTEFs intresse och bidrag inom detta projekt reflekterar ett fortsatt intresse att utvärdera och utveckla gasteknologier.



6. Biogassupppgradering med ny kolmembranteknik – mulig flexibilitet og økonomi⁶

Detta kapitel behandlar en spesiell ny membranteknik og undersøker dess muligheter for anvendning vid biogassupppgradering med forholdanden som kan forekomme på ett lantbruk. For den som vill läsa mer om jämförelse av olika uppgraderingstekniker inklusive andra membrantekniker rekommenderas t ex rapporten Blom et al 2012 [3], som också refererades kort i kapitel 5.

Karbonmembraner (kolmembran)

Gasseparasjon med membraner er naturens egen separasjonsmetode. Menneskekroppen består av mange ulike typer membraner som lar et stoff gå igjennom membranveggen, mens et annet stoff forblir igjen på utsiden. En membran fungerer altså som en selektiv barriere for å separere ulike typer gasser og væsker. Syntetiske membraner søker å etterligne naturens egen separasjonsmetode. Det finnes en rekke ulike typer membranmaterialer på markedet og fler er under utvikling, som kan separere mange ulike type gassblandinger. Når det gjelder oppgradering av biogass, vil et membranmateriale som holder tilbake metan, men som slipper igjennom CO₂ være av stor interesse.

Dette prosjektet fokuserer på en ny type membraner, kalt karbonmembraner, som opprinnelig ble utviklet på Norges Teknisk-naturvitenskapelige Universitet, (NTNU), på Institutt for kjemisk prosesssteknologi⁷. Denne nye membrantypen er basert på et cellulosemateriale som er varmebehandlet under en inert atmosfære, kalt karbonisering. Dette gir et materiale hvor bare karbonskjelettet gjenstår, en karbonmembran. Karbonmembranene består av tynne rør med porøse vegger. Porestørrelsen til disse porøse veggene er så liten at man kan separere mellom CO₂ og metan på grunn av forskjellen i gassenes molekylære størrelse og form. Karbonmembranen fungerer altså som en molekylsil som skiller de ulike gassene på molekylnivå og ut i fra størrelse/form på gassmolekylet.

Den drivende kraften (energikostnaden) i gasseparasjonsprosessen er partialtrykkforskjellen for en gitt komponent mellom oversiden og undersiden av molekylsilen/membranveggen. En volumeffektiv metode for å pakke et stort membranareal inn på et lite volum er å produsere hule fiber⁸ med en ytre diameter så lav som mulig⁹. Derneft bunter man mange hule fiber sammen i moduler. Den ene enden

⁶ Dette kapitel är författat av Gøril Forbord, MemfoACT AS. Vi har valt att behålla originalspråket norska, och i parentes förklarat vissa ord som avviker från den svenska motsvarigheten.

⁷ NTNU:s forskningsgrupp Memfo, som er ledet av professor May-Britt Hägg, hadde forsket på karbonmembraner siden årtusenskiftet, og i 2005 disputerte Dr. Ing. Jon Arvid Lie med sin doktorgradsavhandling: " Synthesis, performance and regeneration of carbon membranes for biogas upgrading – a future energy carrier. ". Referanse: Lie J.A, 2005, [20]. Denne doktorgradsavhandlingen dannet utgangspunktet for flere patentsøknader, som i dag er IPR-basisen for selskapet, MemfoACT AS. MemfoACT AS ble etablert i 2008, og ble til gjennom et samarbeid mellom NTNU og forskerne bak teknologien, Dr. Ing. Jon Arvid Lie, Dr. Ing. Arne Lindbråthen og Professor May-Britt Hägg. Selskapet arbeider med å kommersialisere og utvikle den patenterte karbonmembranteknologien.

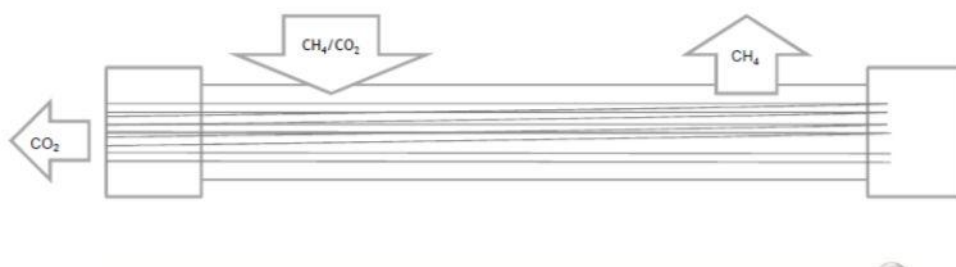
⁸ Svenska: Hålfiber.

⁹ MemfoACT produserer hule karbonfiber og produksjonsteknologen baserer seg i tillegg til dr. Gradsavhandlingen til Lie, på arbeid utført på NTNU og oppsummert i følgende publikasjon: X. He, J.A. Lie, E. Sheridan, M-B. Hägg, 2011. Preparation and Characterization of Hollow Fiber Carbon Membranes from Cellulose Acetate Precursors, Ind. Eng. Chem. Res. 50 (2011) 2080-2087 [21].



er åpen slik at gass som har gått igjennom membranveggen kan komme ut, mens den andre enden er lukket. Dette kalles en membranmodul, se Figur 4.

Rensekapasiteten til en modul avgjøres av membranmaterialets egenskaper, hvor mange fiber som er buntet sammen, sammensetningen på gassen som skal renses, kravet til produktgassen og trykkforskjellen. Hvor mange moduler man installerer i et oppgraderingsanlegg avgjøres av hvor stor renskapasitet man ønsker for anlegget. Følgelig er det ingen teoretisk nedre grense for hvor små oppgraderingsanlegg det er mulig å lage. Generelt kan man si at membraner i sin natur er en meget godt egnet teknologi for småskala separasjon av ulike typer gasser på grunn av at det er modulbasert. Man benytter ingen kjemikalier, da membraner er en mekanisk trykkdrevet separasjonsmetode.



Figur 4. Illustrasjon av en membranmodul hvor metan og CO₂ slippes inn på membranoverflaten med et gitt trykk. CO₂ permeerer gjennom membranveggen og tas ut i den åpne enden av membranmodulen, mens metan forblir igjen på utsiden av membranveggen og tas ut i den andre enden av modulen.

Når det gjelder oppgradering av biogass med membraner er det i hovedsak fem faktorer som hver på sin måte påvirker økonomien. Disse er kort forklart i punktlisten under.

1. Egenskapene til membranmaterialet

Selektiviteten til et membranmateriale sier noe om hvor godt materialet skiller mellom CO₂ og metan. Jo høyere selektivitet, jo bedre skilleevne¹⁰ har membranen, som igjen betyr lavere driftskostnader og bedre metangjenvinning. Permeansen¹¹ til et membranmateriale er fluksen¹² normalisert for trykket, og sier noe om hvor fort en gitt gass går igjennom membranveggen. Høy permeans gir rask separasjon som gir bedre produktivitet, og ergo¹³ behøver man mindre membranareal for å separere en gitt mengde gass. Høy permeans gir følgelig lavere investeringskostnader.

2. Sammensetningen på rågassen

Membranseparasjon er en konsentrasjonsdrevet separasjon. Det vil si at det er forskjellen i de ulike partialtrykkene på over- og undersiden av membranveggen som gir den drivende kraften som gassmolekylene permeerer

¹⁰ Svenska: Separationsförmåga.

¹¹ Svenska: Permeans, genomtränglighet.

¹² Svenska: Flödet.

¹³ Svenska: Alltså.



membranveggen med. Dette betyr at en membran separerer CO₂ mye mer effektivt når gassblandingen er 60 % metan og 40 % CO₂, enn når gassblandingen er 80 % metan og 20 % CO₂. Relativt sett vil man trenge mindre membranareal per rensset enhet CO₂ for førstnevnte blanding i forhold til sistnevnte.

3. Kravet til produktgassen

Det koster mer å oppgradere biogassen fra 96 % til 98 % metan, enn fra 94 % til 96 % metan. Hvor mye mer avhenger av selektiviteten til membranmaterialet og hvilket prosessdesign man benytter seg av.

4. Kravet til metangjenvinning¹⁴

Dette punktet henger sammen med kravet til produktgassen. Desto høyere renhet man krever på det oppgraderte biometanet, desto mer metan vil følge med CO₂-strømmen og gi en lavere metangjenvinning og høyere metantap. For å kompensere for dette, kan man velge ulike typer prosessdesign som gjør det mulig å få en renhet på metanen på over 98 % og samtidig et metantap under 1 %. Naturligvis gir mer kompliserte prosessdesign økte investerings- og driftskostnader.

5. Ved hvilket operasjonstrykk separasjonen foregår

Dette har innvirkning både på investeringskostnaden og på driftskostnaden. Ved høyt operasjonstrykk har man behov for mindre membranareal for å rense en gitt mengde gass til spesifikasjon enn ved lavere operasjonstrykk. Høyt operasjonstrykk gir dermed lavere investeringskostnader i membranmaterialet, men krever større og bedre kompressor som gir høyere investeringskostnader for kompressoren og utstyret rundt. For enhver membranprosess vil det derfor eksistere et kostnadsoptimum mellom installert membranareal og kompressor. Høyt operasjonstrykk gir også høyere driftskostnader. Dersom metangassen til slutt skal høytrykkskomprimeres har dette mindre betydning, enn om gassen skal fødes inn på et naturgassnett ved lave trykk.

Disse punktene sier også noe om fleksibiliteten til en separasjonsprosess med membraner. Dersom man ønsker seg en fullstendig oppgradering med 99,99 % ren metan og 99,99 % metangjenvinning, er ikke membraner riktig oppgraderingsprosess. Men dersom man kan leve med noe slakkere krav, kan membraner være et meget fornuftig valg for biogassoppgradering. Særlig gjelder dette for småskala biogassoppgradering hvor økonomi er en begrensende faktor. Med membraner er det en rekke valg man kan foreta som forenkler separasjonsprosessen og forbedrer økonomien.

Småskala oppgradering til drivstoffkvalitet med karbonmembraner

Det som skiller karbonmembraner fra konvensjonelle polymere membraner er selektiviteten. Karbonmembraner har vesentlig høyere selektivitet enn polymere membraner, noe som gjør at det er mulig å få høy renhet i ett separasjonstrinn. I

¹⁴ Svenska: Andel utvunnen metan. (Engelsk term: Methane recovery).

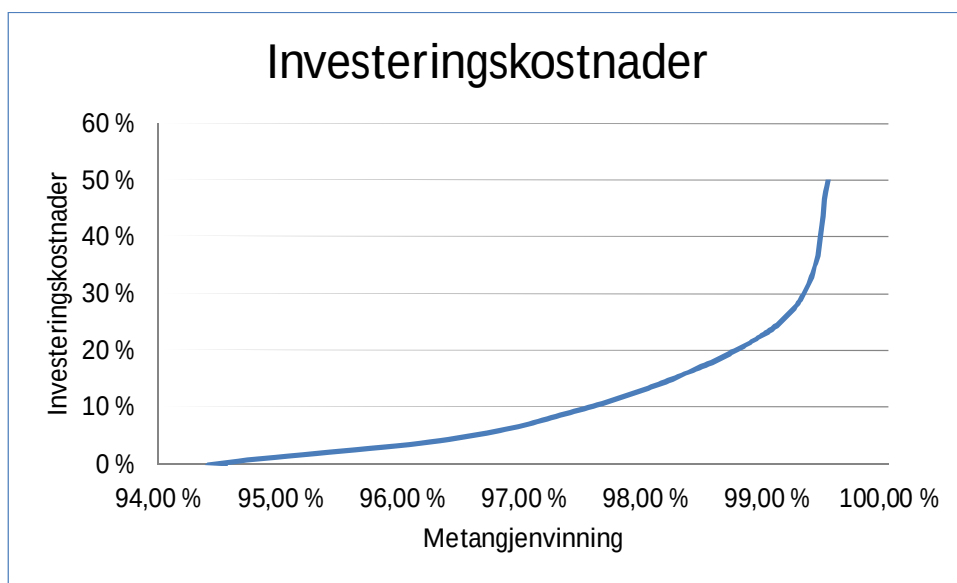


tillegg tåler karbonmembranene høyere temperatur, enligt Koresh & Soffer 1983 [22], Steel & Koros 2003 [23], och Park et al 2004 [24].

Ved å bruke karbonmembraner som separasjonsteknologi har man en rekke valgmuligheter og fleksibiliteten i teknologien er stor. Mulighetsrommet er skissert i punktene under:

- 70-98 % metaninnhold i produktgassen
- Kan operere fra 5-50 bars trykk (og det er ved dette trykket produktgassen, biometanen, kommer ut fra prosessanlegget.
- Metantap ned till <1 %
- Ikke-kontinuerlig drift er mulig fordi membranlegg er enkle og starte og stoppe uten ekstra kostnader

Sammenhengen mellom metangjenvinning og investeringskostnaden er vist i Figur 5. Som man kan se av grafen er sammenhengen eksponensiell og det er mye dyrere å gå fra 99 % til 99,5 % gjenvinning enn å gå fra 98 % til 99 % gjenvinning. (Basfallet i diagrammet är utvinning av 94 % av metanet i rågasen. Med högre utvinning av metaninnehållet ökar investeringskostnaderna med procenttal enligt y-axeln i diagrammet).



Figur 5. Illustrasjon av sammenhengen mellom metangjenvinning og investeringskostnader

I det følgende vil vi presentere ulike kostnadscenarier for de seks ulike gårdsstørrelsene 6-9.5-16-19-27-46 Nm³/h. Vi har fokusert på et forenklet gårdsbasert system, hvor kontainer for installasjon ikke er inkludert men som åpner for muligheten for at man kan finne et annet egnet sted for installasjon av anlegget som oppfyller krav til ATEX-område og etc. Kontrollpanelet må installeres i et sikkert område.



Øvrige antagelser er:

- Prosess:
- Rensing av H₂S og vann er ikke inkludert
- Rågassinnholdet er: 1 % N₂, 34 % CO₂, 65 % CH₄
- Høykomprimering av gassen er ikke inkludert, men metan kommer ut ved ca 20 bar.
- Periodisk vedlikehold
 - o 5 dager/år
 - o 3000 NOK/dag¹⁵
- Daglig vedlikehold
 - o 0,25 timer/dag
 - o 200 NOK/time
- Membranens levetid 5 år
- Anleggets levetid 15 år
- 95 % oppetid på anlegget = 8300 timer/år

Finansielle antagelser:

- Rente 5 %
- Kostnader el = 0,75 NOK/kWh

Kostnader for oppgradering med over 99 % metangjenvinning

Tabell 6 viser kostnadsscenario for de seks anleggstørrelsene med et totalt metan-tap fra prosessen på under 1 %, og under de forutsetninger som skissert over.

Tabell 6. Kostnader for oppgradering med over 99 % metangjenvinning¹⁶

Capacity	6	9,5	16	19	27	46	Nm ³ /h
Methane purity	96 %	96 %	96 %	96 %	96 %	96 %	Per cent
Investment cost	710 000	890 000	1 550 000	1 730 000	2 300 000	3 180 000	NOK
Methane loss	0,90 %	0,90 %	0,90 %	0,90 %	0,90 %	0,90 %	Per cent
Total Biomethane production	33 415	52 908	89 107	105 815	150 369	256 184	Nm ³ /yr
Energy consumption	3	4	6	7	9	14	kW
Total upgrading cost	155 624	189 108	303 716	341 235	452 487	632 386	NOK/yr
Operating & maintenance cost	59 826	67 729	82 410	89 185	107 250	150 155	NOK/yr
Total capital cost	95 798	121 379	221 306	252 050	345 237	482 231	NOK/yr
Total upgrading cost	0,48	0,37	0,35	0,33	0,31	0,25	NOK/kWh
" in SEK	0,57	0,44	0,41	0,39	0,37	0,30	SEK/kWh

¹⁵ Växelkurs 1 NOK= 1,18 SEK, 13 nov 2012.

¹⁶ I kostnadsberäkningarna i tabellerna 6, 7 och 8 ingår enbart uppgraderingskostnader, dvs inga andra kringssystem.



Kostnader for ett-trinns oppgradering med karbonmembraner

Man kan redusere kostnadene dersom man kan godta et høyere metantap, eller man ikke trenger å oppgradere biogassen fullstendig til 96 %. Da installerer man den enkleste typen membran design. Det er estimert kostnader for oppgradering av biogass til henholdsvis 96 % biometan, og til 80 % biometan. Dette er for å vise mulighetsrommet, og dersom man ønsker å oppgradere videre for eksempel til 97 % metan er dette fullt mulig, men man må da installere noe mer membranareal. Kostnadene i NOK er vist i Tabell 7 och Tabell 8.

Tabell 7. Kostnader for ett-trinns oppgradering med karbonmembraner

Capacity	6	16	27	46	Nm3/h
Methane purity	96 %	96 %	96 %	96 %	Per cent
Investment cost	650 000	1 200 000	1 840 000	2 740 000	NOK
Methane loss	5,60 %	5,60 %	5,60 %	5,60 %	Per cent
Total Biomethane production	31 831	84 881	143 237	244 034	Nm3/yr
Energy consumption	3	5	8	12	kW
Total upgrading cost	140 876	248 689	369 602	532 585	NOK/yr
Operating & maintenance cost	57 521	76 255	96 863	132 459	NOK/yr
Total capital cost	83 355	172 434	272 739	400 126	NOK/yr
Total upgrading cost	0,46	0,3	0,27	0,23	NOK/kWh
" in SEK	0,54	0,35	0,32	0,27	SEK/kWh

Dersom man kun ønsker å oppgradere til 80 % metan, for eksempel til eget bruk, gir dette et kostnadsscenario som vist i tabellen under. Det resulterende metantapet vil ligge rundt ca 1 %.

Tabell 8. Kostnader for oppgradering til 80 % metan

Capacity	6	16	27	46	Nm3/h
Methane purity	80 %	80 %	80 %	80 %	Per cent
Investment cost	460 000	670 000	850 000	1 360 000	NOK
Methane loss	1,20 %	1,20 %	1,20 %	1,20 %	Per cent
Total Biomethane production	39 977	106 605	179 896	306 490	Nm3/yr
Energy consumption	3	5	8	12	kW
Total upgrading cost	106 388	152 953	194 550	298 530	NOK/yr
Operating & maintenance cost	57 521	76 255	96 863	132 459	NOK/yr
Total capital cost	48 867	76 698	97 687	166 072	NOK/yr
Total upgrading cost	0,33	0,18	0,13	0,12	NOK/kWh
" in SEK	0,39	0,21	0,15	0,14	SEK/kWh

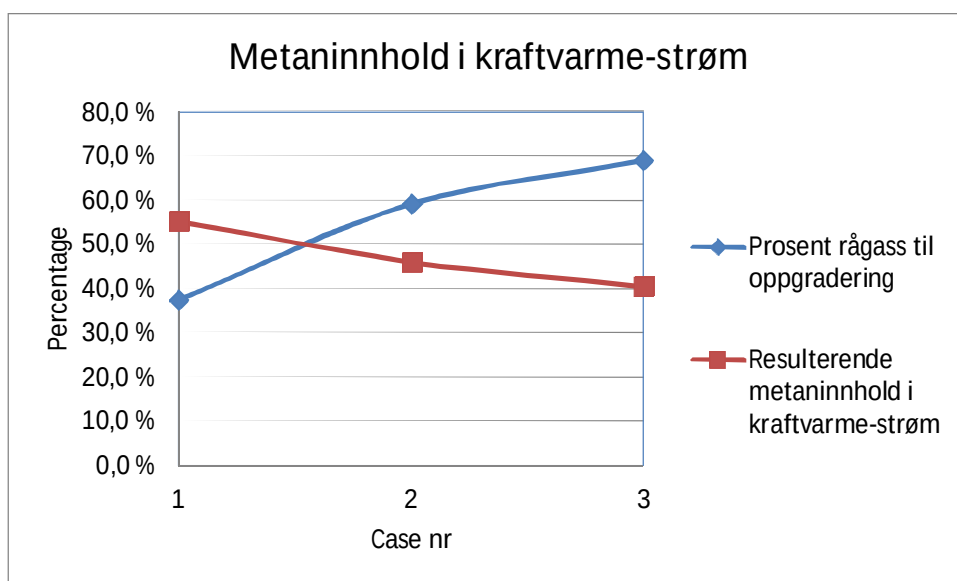


Kombinere kraftvarme- og drivstoffproduksjon

Man kan også kombinere kraftvarme- og drivstoffproduksjon dersom dette er ønskelig. Eksempelvis kan man legge opp til en ikke-kontinuerlig produksjon av disse to. Siden et membranlegg er enkelt å starte og stoppe kan man tenke seg en sesong- eller behovsbasert drivstoffproduksjon. Investeringskostnadene vil da henge sammen med hvilken kapasitet man ønsker installert, og driftskostnadene avhenger naturlig nok i stor grad av antall driftstimer.

En annen mulighet er å ha kontinuerlig produksjon av el, varme og drivstoff, og at man deler den produserte rågassen mellom kraftvarme-enheten og oppgraderingsenheten. I et slikt tilfelle vil man måtte investere i både kraftvarmeenhet og en oppgraderingsenhet. Investeringskostnadene får dermed stor betydning for økonomien. En måte å redusere investeringskostnadene knyttet til oppgradering, og samtidig få så høy metangjenvinning som overhode mulig, er å benytte den CO₂-anrikede strømmen, som inneholder noe metan sammen med deler av rågass-strømmen, for å produsere el og varme.

Beregninger med de gjeldende antagelser viser at man kan oppgradere inntil 70 % av rågass-strømmen til 96 % renhet, og samtidig opprettholde et metaninnhold i kraftvarme-strømmen på over 40 %. Sammenhengen vises i Figur 6, men det er viktig å understreke at dette vil variere fra anlegg til anlegg.



Figur 6. Eksempel på samband mellom andelen av rågasflødet som avdelas till oppgradering, och metaninnehållet i resterande gasflöde som går till kraftvärme.



7. Biogasdriven traktor¹⁷

Dual fuel-drift av traktorer med gas är inte helt nytt, konverteringar har gjorts till exempel i Ryssland och Ukraina. Antalet kända ombyggnader där är dock mindre än tio. Även i Kanada 1993 och Nederländerna 2007 har program genomförts [5].

Den finska traktortillverkaren Valtra har för sin del gjort olika försök med biobaserade drivmedel ända sedan 1970-talet i både Europa och Brasilien:

1970-talet:	Gengastraktorer i Finland och Brasilien
1980-talet	Etanoldrivna traktorer tillverkade i Brasilien, och test av etanol i dieselmotorer i Finland
1990-talet:	Första generationen biodiesel testad i Finland
2010-talet:	Nya generationens lösning för etanol i dieselmotorer i Brasilien och Dual fuel-biogastraktor i Finland

Det nu (2012) pågående projektet inom Valtra med utveckling av dual fuel-biogastraktorer är forskning och utveckling för framtiden. Det ingår i tydliga ambitioner hos den nuvarande ägaren International Agco Group att utveckla högteknologiska och miljöanpassade lösningar för progressiva jordbruk. Huvudmålen för dual fuel-traktorprojektet är:

- Vara pionjär inom avancerade biodrivmedelteknologier för traktorer
- Lära genom tester och återkoppling från användare
- Skapa marknad och testa marknadens respons
- Stödja och delta i projekt för att utveckla biogasteknologi
- Öka hastigheten för myndigheternas processer om lagstiftning och regelverk för offroad dual fuel-fordon

Generella egenskaper för Valtras dual fuel-traktorer

Dual fuel-traktorerna (N101 och T133) ska erbjuda praktiska lösningar för användare som vill ha en traktor med förnyelsebart drivmedel, minska drivmedelskostnader och emissioner av klimatgaser med samma prestanda och användbarhet som en standardtraktor.

Biogas/naturgas-motorn med integrerad elektronisk styrning av diesel/metanblandning och emissioner

I dual fuel-motorn tänds metangasen genom insprutning av en liten mängd dieselbränsle (eller biodiesel) och drivs med dieselmotorprincip för högsta verkningsgrad. Motorn kan automatiskt slå om till dieselbränsledrift om ingen gas är tillgänglig. För precis och effektiv bränsleinsprutning finns insugsrör med integrerade elektroniska common rail gasinjektorer som arbetar parallellt med standard-dieselininsprutningssystemet.

För att möta de aktuella emissionskraven har traktorerna ett modellspecifiserat system för att reducera diesel- och gasemissioner. Motordriften och emissionsreduceringssystemet för diesel/dual fuel är kombinerat med ett gemensamt kontrollsystem med ECU:s för diesel/gas och är kopplat till traktorns kontrollsystem. Detta integrerade kontrollsystem medger optimering av diesel/metan-blandningen och

¹⁷ Detta kapitel är ursprungligen skrivet på engelska av Tapio Riipinen, AGCO Suomi Oy/Valtra och har översatts till svenska och bearbetats något. Det kan i vissa detaljer avspegla finska eller andra europeiska förhållanden.



styr emissionerna över motorns hela arbetsområde, så att metangasen svarar för 60-85 % av den producerade motoreffekten.

Gastankarna har monterats integrerade i chassit och har inte gett några problem med viktbalans eller montering av utrustning, och uppfyller EU:s regler för vägfordon. Bastanken kan utökas med ett externt tankpaket. Traktorn är förberedd för att registreringsbesiktigas¹⁸ (nationellt) och för service backup genom Valtra.

Särskilda egenskaper

Den nuvarande (november 2012) biogastraktorn Valtra T133 Dual Fuel är en andra generationens biogastraktor, som är enkel och praktisk att använda. Utvecklingen baseras på erfarenheter från den första generationens biogastraktor (Valtra N101) som introducerades den 30 juni 2010 och därefter var i utförliga tester i Sverige, baserat på registrering med dispensförfarande. Det har visat sig att användarna av dessa traktorer inte har behövt göra några kompromisser när det gäller driftegenskaper, prestanda eller användning av frontlastare eller annan frontmonterad utrustning. Traktorerna är huvudsakligen avsedda som universaltraktorer för lantbruk, kommuner eller entreprenörer som har möjlighet att tanka biogas med fordonskvalitet (eller naturgas) under arbetet.

Om traktorn skulle förbruka all sin gas eller om det inte finns gastankstation tillgänglig, så kan traktorn köras på dieselbränsle. Omställning sker automatiskt eller manuellt. Med dual fuel-drift reduceras drivmedelskostnaderna med 10-40 %, beroende på prisskillnaden mellan diesel och biometan. Prisskillnaden förväntas öka därför att fossila bränslen troligen blir dyrare.

För (samhälls-)aktörer som är miljömedvetna, ger dual fuel-traktorer flera fördelar. Genom dual fuel-motorns driftprincip kan den använda biogas och naturgas med fordonskvalitet, diesel och biodiesel på ett effektivt sätt. Biogas är det mest lovande förnybara drivmedlet i jordbrukssektorn, allteftersom mer och mer uppgraderad biogas produceras på gårdar. Att använda biogas stöder lokalt lantbruk som skapar nya vägar till energiproduktion och ökar värdet av jordbruksbaserade energiprodukter, samtidigt som beroendet av importerade fossila bränslen minskar. Biogastraktorer bidrar också till att uppfylla EU:s mål för reduktion av klimatgaser, genom att emissionerna av klimatgaser från traktorer kan minskas väsentligt (65-80 %). Genom att inledningsvis uppfylla nationella dispensregler för registreringsgodkännande banas väg för utvecklingen av generell lagstiftning, förutsättningar och infrastruktur för användning av alternativa drivmedel.

¹⁸ Styckevis registrering, eventuellt med dispens. Till skillnad från typbesiktning där en hel modellserie besiktigas och godkänns en gång för alla.



Tabell 9. Biogastraktorernas tekniska data

Valtra T133 Dual Fuel	Diesel	Dual Fuel
Max power, kW/rpm	104 / 2000	104 / 2000
with power boost	112 / 2000	112 / 2000
Max torque, Nm/rpm	580 / 1500	580 / 1500
with power boost	630 / 1500	630 / 1500
Ratio Diesel / Biogas	100 % / 0 %	17 % / 83 %
Valtra N101 Dual Fuel	Diesel	Dual Fuel
Max power, kW/rpm	81 / 2200	81 / 2200
Max torque, Nm/rpm	460 / 1500	480 / 1500
Ratio Diesel / Biogas	100 % / 0 %	17 % / 83 %

Praktiska tester och ekonomi som en del av ett projekt i Sverige 2010-2011

Den första generationens Valtra biogastraktor (N101) introducerades som nämnts i juni 2010, och därefter genomfördes intensiva tester. Huvuddelen av testerna utfördes, kontrollerades och rapporterades som en del av forsknings- och utvecklingsprojektet "Biogasdrivna dual fuel-traktorer i lantbruk, entreprenad och kommuner – en förstudie" under ledning av Biogas Syd (se [5]). Ett av resultaten är att användbarheten och tillförlitligheten gavs goda betyg av användarna.

Under vintern 2011 användes traktorn på två olika platser i Skåne utan problem. Användarna rapporterade att traktorn arbetade som en normal motsvarande traktor. Tankning med gas behövde ske var 4-5 timme och dieselförbrukningen var låg. Vid en av testplatserna var jämförelsen med en vanlig traktor särskilt enkel, eftersom de redan råkade ha en dieseltraktor av precis samma modell som biogasversionen. Vid uppföljningsmötet var även de användarna mycket nöjda med biogastraktorn.

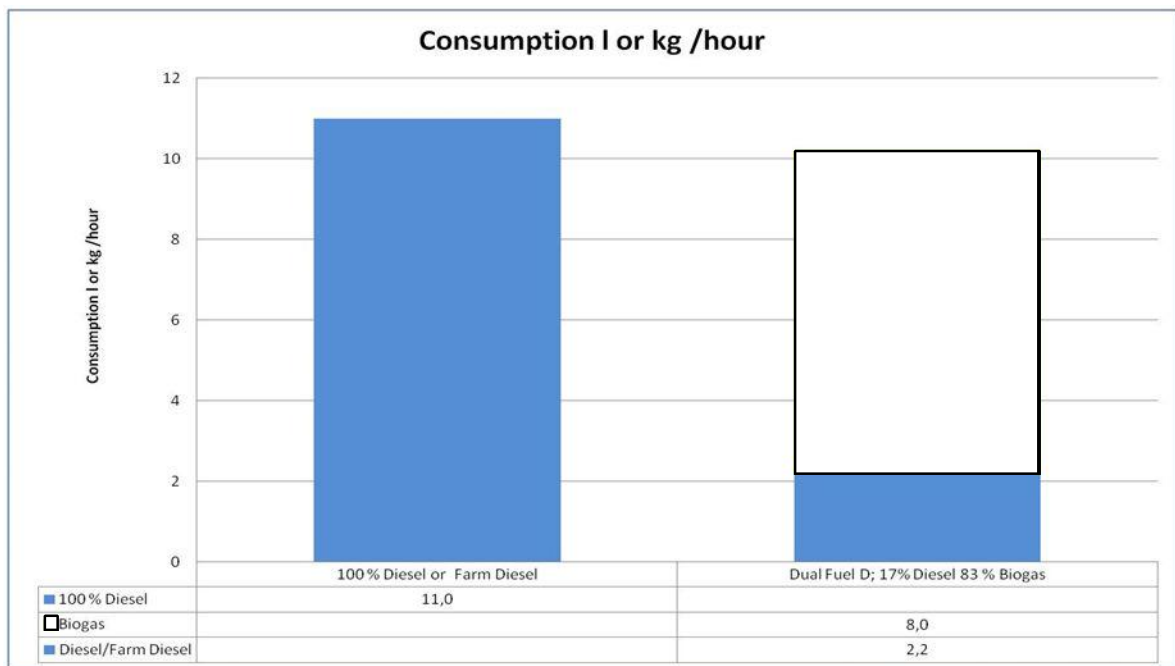
Dock hade de i början av testperioden haft problem med dieselbränslet, som var av sommarkvalitet och det hade blivit hård vinter, men efter byte till dieselbränsle med vinterkvalitet hade traktorn gått mycket bra. Det rapporterades inga problem med gassystemet. Förarna upplevde att dual fuel-motorn gick mjukare och att den svarade bättre på belastning jämfört med den vanliga dieselversionen. Med användning som en servicetraktor och körd med 60-80 % belastning så rapporterades diesel- och gasförbrukningen vara mycket rimlig.

När det gäller drivmedelsekonomi för dual fuel-traktorer så är speciellt frågan "Hur mycket kan en lantbrukare tjäna på detta jämfört med normala traktorer" mycket svår att ge ett heltäckande entydigt svar på. Drivmedelsekonomin är starkt kopplad till skillnaderna i pris för referensbränslena¹⁹, t ex om lantbrukaren använder diesel med normalpris eller så kallad "farm diesel" med lägre pris eller skatterabatt etc.

¹⁹ Observera att den närmast följande texten om ekonomi utgår från finska förhållanden. Detaljer kan skilja mellan Finland och Sverige.



Följande figur visar typisk drivmedelsförbrukning för en dieseltraktor jämförd med motsvarande dual fuel-traktor.

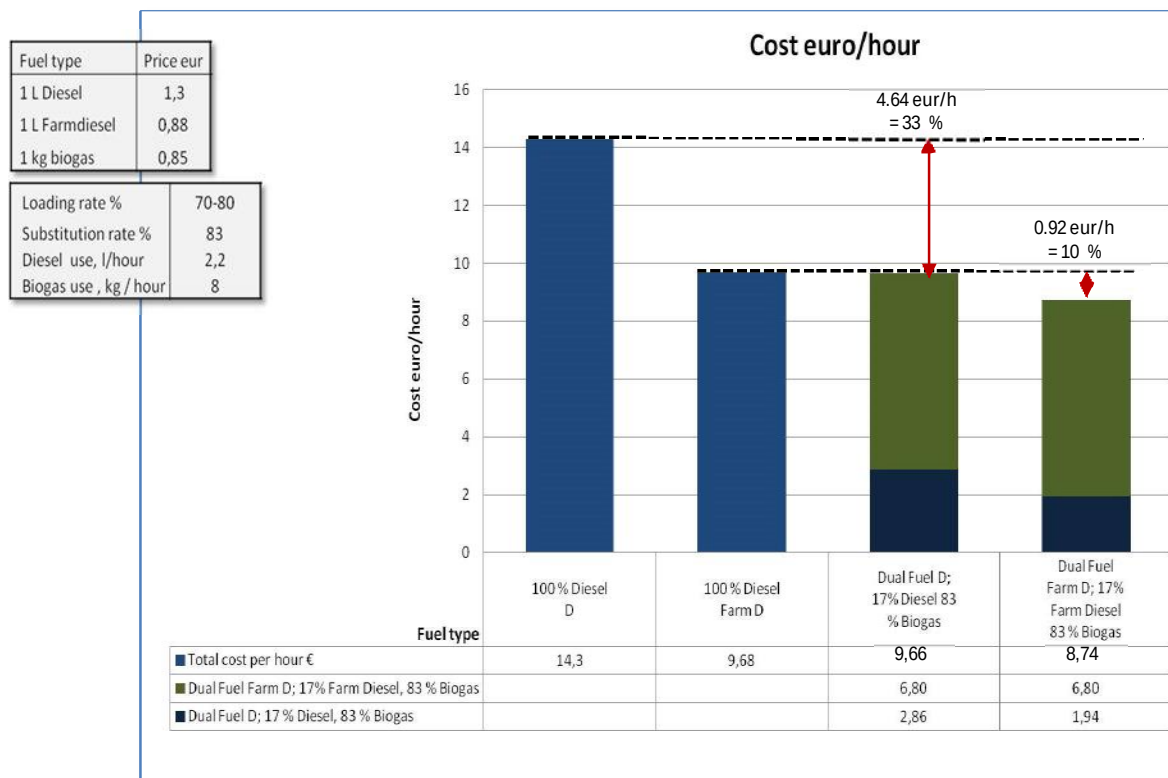


Loading rate %	70-80
Substitution rate %	83
Diesel use, l/hour	2,2
Biogas use, kg / hour	8

Figur 7. Typisk drivmedelsförbrukning för en dieseltraktor jämförd med motsvarande dual fuel-traktor. Källa: Valtra.

I nedanstående figur (nästa sida) görs en illustration av hur relationerna mellan drivmedelskostnaderna kan se ut vid ren dieseldrift respektive vid dual fuel-drift, och beroende på om bränslena har normalpris eller har s k "farm diesel"-pris.



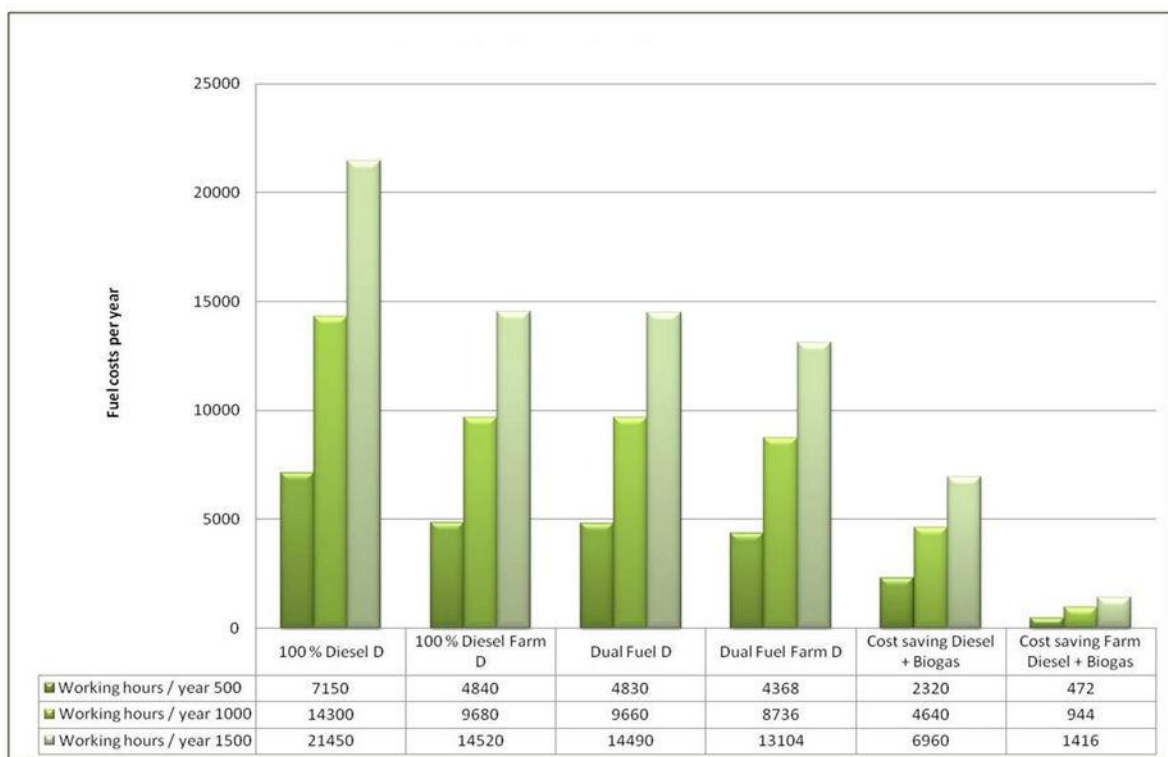


Figur 8. Typiska drivmedelskostnader per timme vid ren dieseldrift respektive vid dual fuel-drift, beroende på om bränslena har normalpris eller har s k "farm diesel"-pris.²⁰ Källa Valtra.

I följande figur (nästa sida) görs en jämförelse av hur drivmedelskostnaderna per år påverkas av antalet drifttimmar per år, av olika prisnivåer och drift på enbart diesel eller dual-fueldrift.

²⁰ Observera att texten om ekonomi utgår från finska förhållanden. Detaljer kan skilja mellan Finland och Sverige.





Fuel type	Price eur
1 L Diesel	1,3
1 L Farmdiesel	0,88
1 kg biogas	0,85

Loading rate %	70-80
Substitution rate %	83
Diesel use, l/hour	2,2
Biogas use, kg / hour	8

Figur 9. Jämförelse av hur drivmedelskostnaderna per år påverkas av antalet drift-timmar per år.

Gaskvalitet för biogas för dual fuel-traktorer

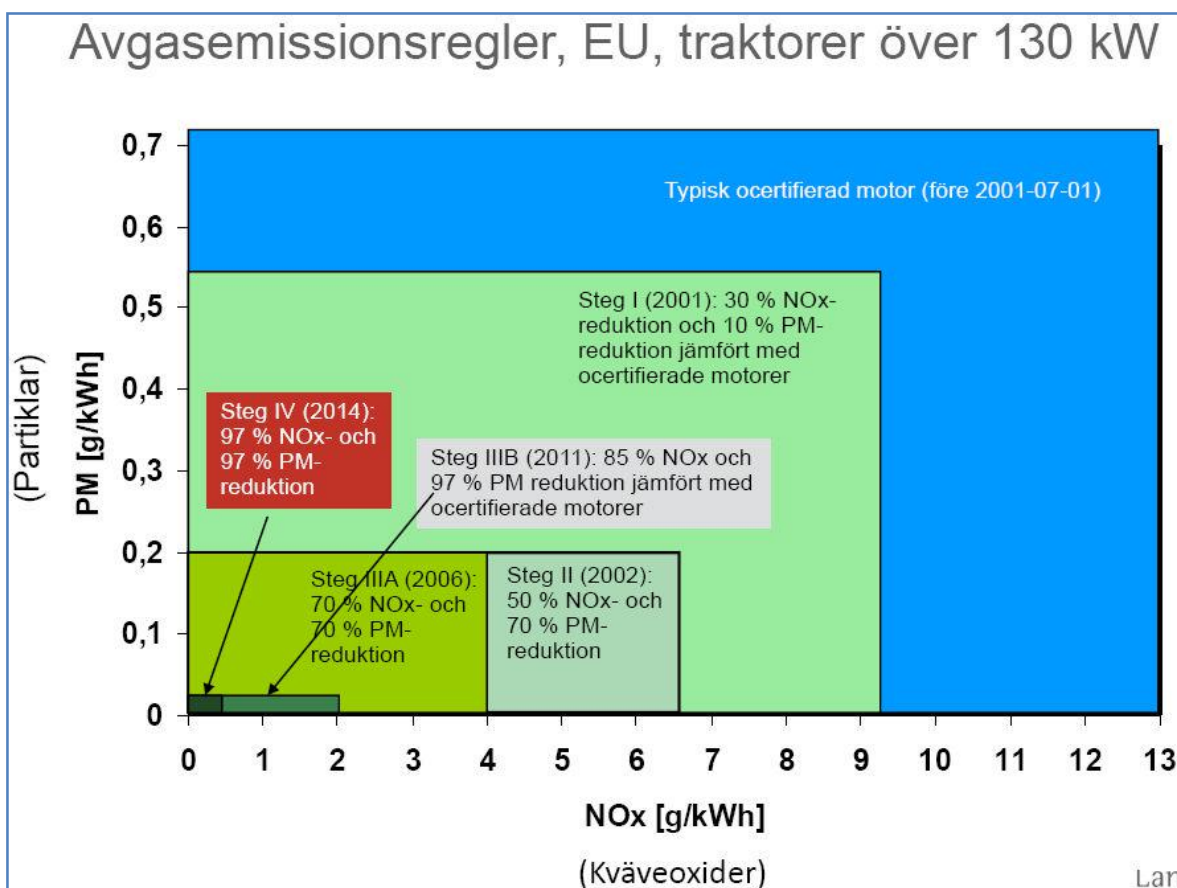
När det gäller gaskvalitet som krävs i dual fuel-fordon, inklusive Valtras traktorer, så måste det nämnas att det inte finns någon gemensam standard (bland annat mellan olika länder) för gaskvalitet för biogas eller naturgas som används i fordon. Parametrarna för gaskvalitet är metanhalt och renhet.

Vanligen anses det bäst att sätta biogaskraven lika med naturgas av "fordons-gaskvalitet"²¹ (trafikkvalitet). Detta gör det möjligt att använda biometan och naturgas som ersättning till varandra och också blanda dem i gasnät etc.

För att uppfylla typbesiktningskrav och certifiering (homologation) erfordras standardiserade bränslekvaliteter. Detsamma kommer att gälla för kommande emissionsregler för dual fuel-motorer. Följande figur visar schematiskt avgasemissionsregler i EU och dessas utveckling, för traktorer över 130 kW.

²¹ I Sverige har tagits fram en Svensk standard SS 155438 för biogas av fordons-gaskvalitet, som anger metanhalt 97+/-2 %. Sådan uppgraderad biogas kallas även biometan.





Figur 10. Illustration av emissionsregler för traktorer och dessas utveckling.

Genom att följa naturgas som referens sätts vanligen kravet på biogas av trafik-kvalitet till metanhalt omkring 95 % (+/- 2 %) ²². Det förekommer mycket diskussion om möjligheter att använda lägre metanhalter för att spara uppgraderingskostnader. I perspektivet av traktorteknologi så skulle lägre metanhalt vara möjlig, men lägre metanhalt innebär direkt lägre motoreffekt. Förbränningsegenskaperna för biogas med trafik-kvalitet är jämförbara med naturgas. Med dual fuel (gas+diesel) så har metanhalten direkt inverkan på motoreffekten och indirekt inverkan på verkningsgraden. Som teoretiskt exempel, om metanhalten sänks från 96 % till 60 % så sänks motorns maxeffekt lika mycket.

För att motverka sådan effektförlust, krävs mer gas och energiminskningen skulle kompenseras med ökad insprutning. För att försäkra sig om fordonets nominella prestanda också med ett "svagare" bränsle, så skulle traktorn behöva ha ett system som känner av metanhalten "on line" och justerar bränsleinsprutningen proportionellt. Dessa typer av sensorer och kontrollsystem är sällsynta i mobila lösningar.

Ett ytterligare problem uppkommer med utrymme för erforderlig extra tankvolym. En större mängd gas skulle behöva lagras vid högt tryck (200 bar) för att ge motsvarande energiuttag. En mer utspädd biogas-mix betyder att mindre energi ryms i en viss tankvolym.

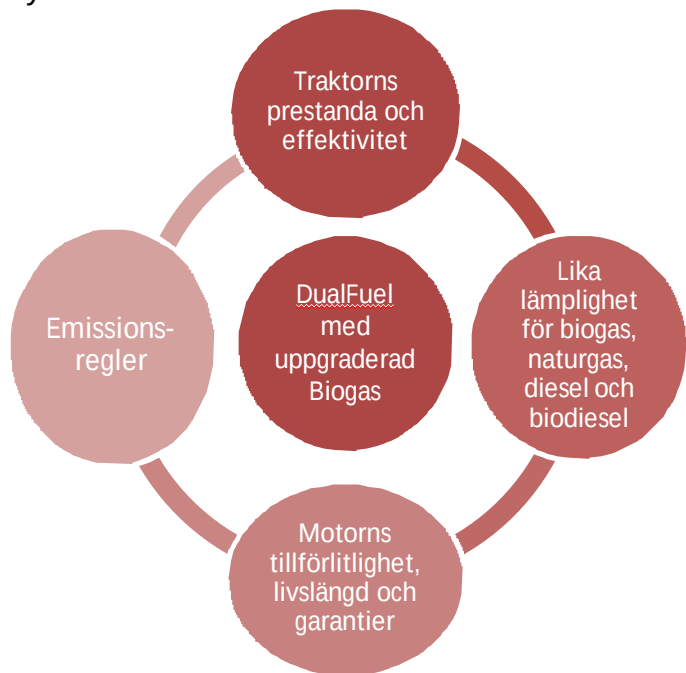
²² Precisering: Enligt Valtra är deras dual fuel-traktorer (metan/dieseltaktorer) designade för metanhalt 95+/-2 %.



Med hänsyn till det lägre metaninnehållet från ekonomisk synpunkt, så skulle besparingar från att sänka metanhalten omkring 5-10 % verkligen behöva vara anmärkningsvärt stora för att kompensera för utmaningarna med större tankvolym och mer komplicerade motorstyrningssystem.

I nuvarande läge (2012) i dual fuel-traktorutvecklingen så har Valtra för att undvika ovannämnda problem beroende på bränslekvalitet, utvecklat sina dual fuel-traktorer, designat och optimerat dem för biogas av trafikskvalitet, en renad gas med hög metanhalt, omkring 95-97 %. När det gäller renhet hos gasen så är, igen, kvaliteten hos komprimerad naturgas av trafikskvalitet (fordonsgaskvalitet) använd som referens.

Eftersom dual fuel-motorer i bus-sar och lastbilar har fungerat utan problem, använder vi också deras erfarenheter. Även Valtras egna erfarenheter är i linje med detta.



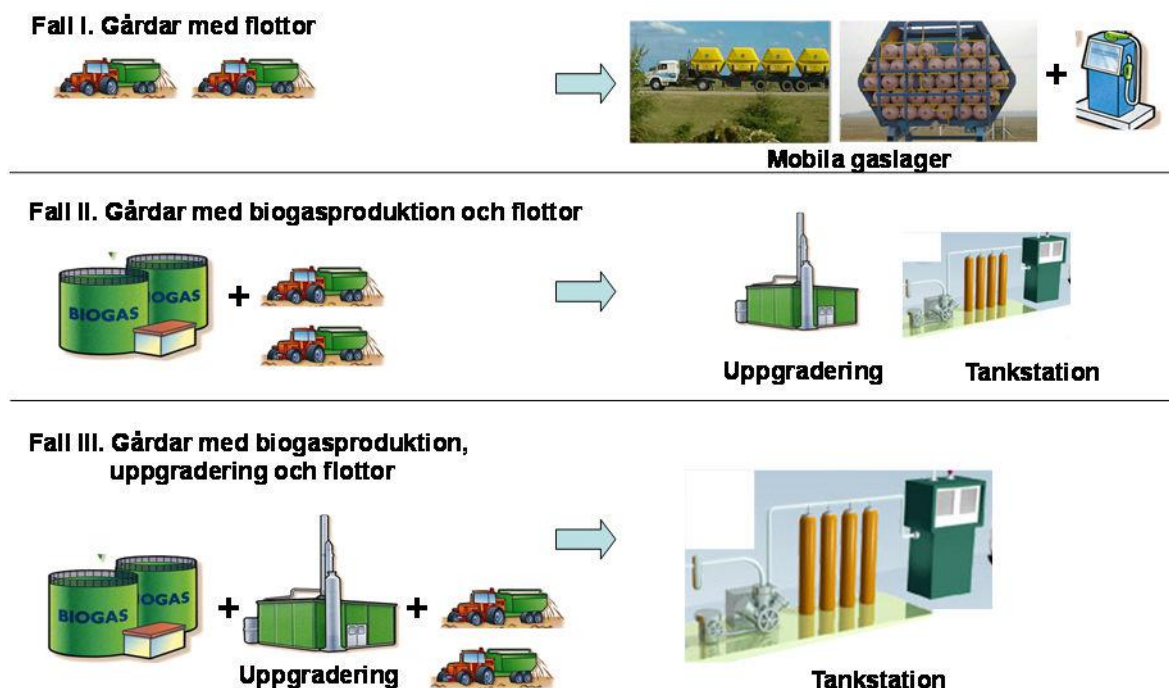
Figur 11. Samband som styr motorutveckling.



Fordonstankning

Fordonstankning och utrustning för långsamtankning har beskrivits väl i Biogas Syds traktorrappport från 2011, som vi rekommenderar för vidare läsning om detta. (se [5], kap 9.4). Här nedan visar vi två bilder om fordonskastankning.

Den första bilden visar olika principiella systemupplägg för gasförsörjning av fordon på lantbruk, beroende på om man har eller inte har egen biogasproduktion respektive egen biogasuppgradering.



Figur 12. Olika systemupplägg för biogasförsörjning inklusive tankning av fordon i lantbruk. Källa: Biogas Syd.

Den andra bilden (nedan) visar skillnaden mellan långsamtankning och snabbtankning.

Vi går inte in på fordonstankning närmare här, annat än att vi för de småskaliga scenarios med biogas på lantbruk som valts i denna studie rekommenderar långsamtankning, på grund av lägre investering.





Tankstation

En gastankstation för metan höjer gastycket upp till 250 bar och fyller fordonets gastank upp till 200 bar. Det finns två tekniker: Långsamtankning och Snabbtankning



Långsamtankning

Låg kapacitet
Möjligt tanka fordon under natten



Compressor

Snabbtankning



Dispenser

Hög kapacitet
Möjligt tanka fordon på 3-5 minuter

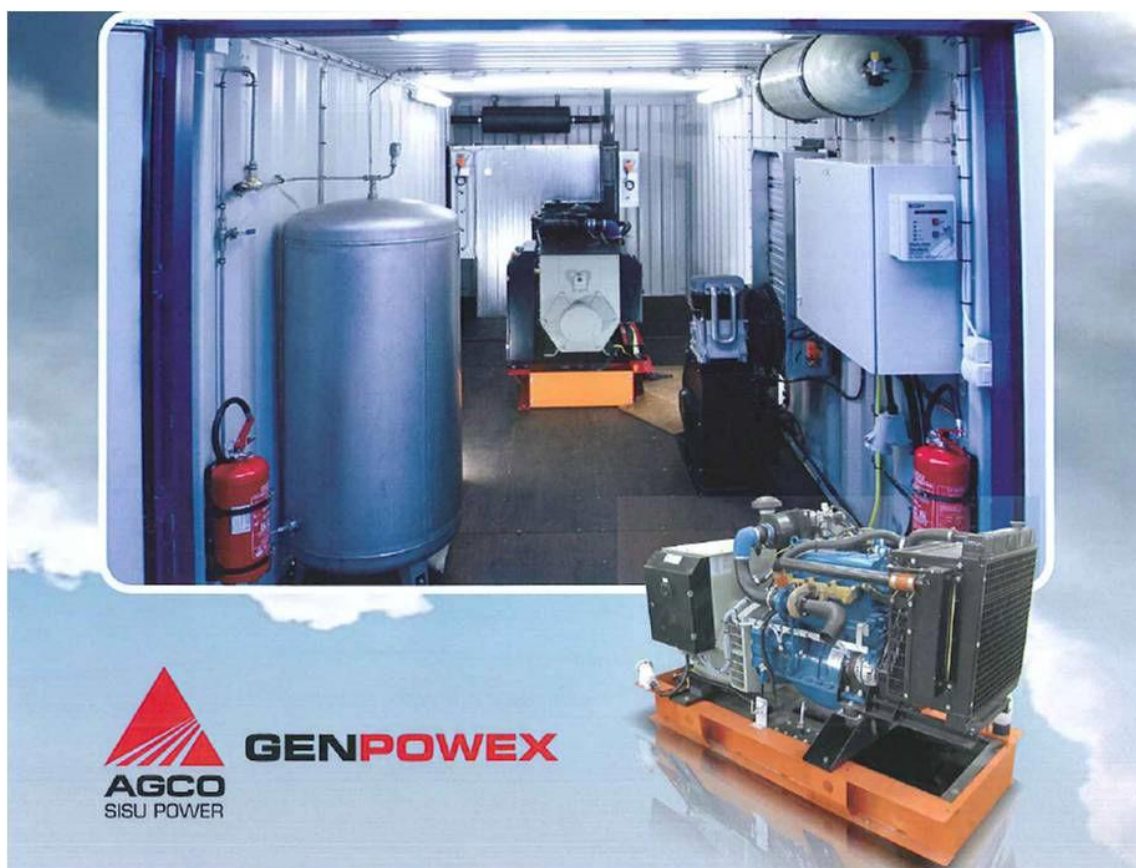
Figur 13. Tankstation för fordonsgas samt skillnaden mellan långsamtankning och snabbtankning.



8. Biogasdrift i stationära gasmotorer för kraftvärmeproduktion

Stationära motorer för lokal kraftvärmeproduktion har enklare förutsättningar än motorer i fordon. De kan t ex ofta gå med konstant varvtal och behöver inte svara på accelerationer och andra belastningsberoende effekttoppar på samma sätt. Stationära motorer kan matas med ett kontinuerligt gasflöde, behöver inte högkomprimera gas i tankar med liten volym och har inte utrymmesproblem i övrigt som vid packning av komponenter i fordon. Därför går det bra och är det vanliga att motorer för stationär kraftvärme körs med icke uppgraderad biogas med lägre metanhalt.

En likadan dual fuel-motor som i Valtras koncepttraktor testas i en elgeneratorapplikation av Agco Sisu Power i Finland, se bilden nedan.



Figur 14. Elgenerator-applikation 120 KVA med dual fuel-motor av samma typ som i Valtras dual fuel-traktor.

I den tyska boken Biogas Praxis (Eder et al, 2012, [6] kapitel 5.4 beskrivs sådan kraftvärmeproduktion tämligen utförligt. Där nämns metanhalter ända ned till 45 % som möjliga i motorer med Otto-princip (med tändstift). Enligt projektpartnern Rottage Agri (Götene Gårdsgas) är dock deras kraftvärmeaggregat för närvarande anpassade för att köras bäst på minst ca 60 % metanhalt.

För gasmotorer med Dieselpincip och "Zündstrahlverfahren" anges de i Biogas Praxis vara i princip oberoende av metanhalten för att kunna köras. "Zündstrahlverfahren" innebär att tändolja sprutas in tillsammans med gasen och blandningen tänds med kompressionen, dvs dual fuel-principen. Om metanhalten är mycket



låg behöver dock en allt större mängd tändolja sprutas in och nyttan med biogasen minskar.

När det gäller nätanslutning av lokal kraftvärme rekommenderar vi även läsning i Andersson et al [8].

I detta sammanhang, även om det kan gälla även andra kapitel, kan vi nämna att det är viktigt att vara observant på eventuella metanförluster från såväl biogasproduktionen, uppgraderingen och gasanvändningen i traktorer eller stationära gasmotorer eftersom metan i sig är en klimatgas med påverkan på växthuseffekten. Restgaser och avgaser kan behöva på lämpliga sätt insamlas, återcirkuleras eller efterbehandlas. Förekommande restmetan (metanslip) ska dock vägas mot det metan som okontrollerat skulle ha uppstått från den aktuella gödseln (eller andra substrat) om denna inte samlats in för kontrollerad rötning till biogas.



9. Resultat och diskussion

Kort tillbakablick på närmast föregående projekt och studier om biogastraktormöjligheter i Sverige

En tidigare utförd förstudie [5] som Biogas Syd utförde 2010-2011 var en möjlighetsstudie (feasibility study) inklusive praktiska traktortest som belyste: "Vilka förutsättningar måste finnas för att det ska uppstå en marknad för metan/diesel-teknik i traktorer?"

Den studiens sammanfattande slutsatser var i huvudsak:

- Teknik för metan/dieselmotorer finns
- Idag (2011) är 110 stycken tankstationer för metan utvecklade, med olika möjligheter för tankning
- Det är ett stort intresse för metan/diesel-traktorer
- Regelverk som är nödvändigt för registrering av metan/diesel-traktorer saknas
- Inget nationellt regelverk
- Inget europeiskt regelverk
- Traktortillverkare kommer inte att utveckla en traktor så länge det saknas regelverk
- Projektet uppskattar att det finns en marknad på 3-4 metan/diesel-traktorer per tankstation. Totalt 330-440 traktorer (med utgångspunkt från 110 tankstationer år 2011) .
- Testförarna var mycket nöjda

Biogas Syds projekt har efterföljts av att Transportstyrelsen och Jordbruksverket har gjort två rapporter för regeringen:

- Biogastraktorer - Marknadsförutsättningar för nya arbetsmaskiner med metandieseldrift, [25].
- Efterkonvertering av arbetsmaskiner - Marknadsförutsättningar och förslag till styrmedel, [26].

De båda rapporterna belyser hur ett nationellt regelverk med dispenser kan stödja en teknisk utveckling av metan/diesel-motorer. Regeringen har startat MEKA-projektet (MetandieselEfterKonvertering av Arbetsmaskiner), drivet av Transportstyrelsen och Jordbruksverket.

Projekthypotesen i innevarande SGC-projekt

"Hypotesen är att ett systemupplägg för biogas med membranuppgradering skall ge möjlighet till teknisk och ekonomisk optimering av nyttan för gården och miljön, och samtidigt ge flexibilitet över året."

Kan vi verifiera hypotesen? Låt oss först citera AGCO/Valtra som i kapitlet om dual fuel biogas-traktorer skriver att speciellt frågan "Hur mycket kan en lantbrukare tjäna på detta jämfört med normala traktorer" är mycket svår att ge ett heläckande entydigt svar på. Vi instämmer i detta som helhet. Det är många faktorer



som påverkar, och ett lantbruk kan ha olika storlek, olika förutsättningar, olika djurbestånd, olika grödor, med mera.

Att besvara samtliga frågor som vi själva ställde upp inför projektet, eller på de sätt vi antog, har inte varit helt möjligt med det källmaterial som vi har haft möjlighet att gå igenom inom projektets ramar. Vår ambition är nu med denna rapport att föra utvecklingen framåt med att sammanfoga befintlig och ny information i en rapport på ett nytt sätt, att besvara sådant vi kan formulera svar på och att identifiera och vidare formulera frågor som kvarstår att finna svar på. Vi har också i vår text gjort ett flertal läshänvisningar till andra tidigare rapporter, för läsare som vill fördjupa sig mer.

Ekonomi för kolmembranuppgradering

Vi gör en betraktelse genom att jämföra värdering av användning av biogas som drivmedel (dieselsättning) kontra för el och värme (CHP):

El för egen förbrukning	0,64 SEK/kWh	(ref Rotage Agri i kalkyler för denna studie)
Värme för egen förbruk.	0,53 SEK/kWh	(ref Rotage Agri ")

Dieselbränsle inkl moms 1,45 SEK/kWh (14,19 SEK/l snitt 2011 enligt Blom et al, [3], omräknat med 9,8 kWh/l)

Dieselbränsle exkl moms 1,16 SEK/kWh (25 % momssats avräknad)²³

För den biogas som producerats är det alltså värt mer per färdig kWh efter omvandlingar att använda den som dieselsättning för traktordrift än att använda den för el- och värmeproduktion. (Då har inte medtagits i värderingen att drivmedlet dessutom blir förnybart och miljöanpassat vid övergång till biogas).

Traktordriften behöver lämplig grad av uppgradering. Räknat på mellanskillnaden för dieselbränsle exklusive moms och el för egen förbrukning finns då med dessa siffror $1,16 - 0,64 \text{ SEK/kWh} = 0,52 \text{ SEK/kWh}$ ekonomiskt utrymme för uppgradering av biogasen för drivmedelsanvändning. Jämfört med värdet på värme är spannet större, 0,63 SEK/kWh.

MemfoACTs uppgivna uppgraderingskostnader för de olika beskrivna alternativen i denna studie ligger i spannet 0,14-0,57 SEK/kWh (0,12-0,48 NOK/kWh). Detta spann visar ett tydligt överlapp med det tillgängliga ekonomiska utrymmet enligt förra stycket vilket alltså kan bedömas som intressant.

En slutsats från detta kan då vara att om det för en viss gård går att göra biogasproduktionen som sådan lönsam för det enklare fallet kraftvärme, så skulle sådan typ av kolmembranteknik som beskrivits i denna studie också kunna göra det intressant för en gård att uppgradera biogasen till drivmedel, och inför detta närmare studera gårdens energiförhållanden och ekonomiförhållanden som ger övriga förutsättningar.

Om vi jämför kostnadsresultaten för kolmembranuppgraderingen i denna studie med de uppgraderingstekniker som studerades och jämfördes sinsemellan i Blom

²³ Hänsyn har här inte tagits till att en del av energi- och koldioxidskatt för diesel återbetalas för arbetsfordon i lantbruk och skogsbruk, men inte för personbilar. Denna återbetalning minskar under de kommande åren. Omräknat till SEK/kWh är återbetalningen 0,19 år 2012, 0,13 år 2013 och sänks till 0,05 år 2015. Källa www.bioenergiportalen.se, som refererar Skatteverket och Jordbruksverket.



et al 2012 [3], se diagram därifrån i kapitel 5 tidigare i denna rapport, så ser vi att kolmembrantekniken är konkurrenskraftig, under förutsättning att uppgiven prestanda kan uppnås när tekniken framöver sätts på prov vid demonstration ute hos kund. Speciellt så kan man se att känsligheten för kostnadsökning när man går mot lägre flöden är mindre än för de tidigare beskrivna teknikerna. (Dock är det även för kolmembrantekniken fördelaktigt med större flöden).

Flexibilitet med kolmembranuppgradering

Membranuppgraderingstekniken ger flera möjligheter till flexibilitet. Den kan utformas för olika metanhalt i produktgasen, kan drivas med olika ingångstryck, ger möjlighet till intermittent drift och gasströmmen kan delas mellan uppgradering och kraftvärmeproduktion.

Sammanvägt bedömer vi att den intressantaste flexibiliteten för ett gårdskoncept troligen är möjligheten till intermittent drift. Den kan göra det möjligt att producera drivmedel när detta behövs och däremellan använda biogasen till kraftvärmeproduktion, genom att man enkelt kan starta och stoppa uppgraderingen utan extra kostnader. Detta ger möjlighet också till säsongsvariationer.

När det gäller att köra egen traktor på eget bränsle med lägre metanhalt än svensk standardiserad fordonskvalitet (97 +/- 2 % metanhalt), så skulle detta vara möjligt rent tekniskt avseende metanhalten. Stationära kraftvärmemotorer körs normalt på icke uppgraderad biogas med ca 50-60 % metanhalt. Här sammanvägt och baserat på projektdiskussioner rekommenderar vi dock att för traktordriften använda metan med ca 96 % metanhalt. Enligt AGCO/Valtra rekommenderas metanhalt på fordonskvalitetsnivå om inte lägre metanhalt remarkabelt sänker kostnaderna för gasen. En sådan kostnadssänkning skulle motverkas av sämre motoreffekt och körprestanda, mindre medförd energi i bränsletankarna (kortare drifttid per tankning) och betydande insatser i motorstyrning och utveckling av denna utöver vad som redan pågår för att möta allt strängare avgasregler för traktorer och certifiering av fordon. Dessutom skulle en hög CO₂-halt i tankarna under det höga trycket och vid låg omgivningstemperatur möjligen kunna komma i närheten av CO₂:s vätskefas, se vidare bilaga 3 (som kapitel 15). Dock ser man att uppgraderingskostnaden ungefär halveras om man uppgraderar till 80 % metanhalt istället för 96 % metanhalt, så frågan bör hållas aktuell.

Möjligheten att dela upp gasströmmen i dels uppgradering, dels till kraftvärme parallellt skulle kunna vara intressant. Enligt MemfoACTs beräkningar kan upp till ca 40 % av den totala rågasströmmen avledas till uppgradering i ett sådant uppdelningskoncept, om nära 60 % metanhalt skall återstå för att driva kraftvärmemotorer anpassade för denna metanhalt. Med kraftvärmemotorer anpassade för drift med ned till ca 40 % metanhalt kan upp till ca 70 % av den totala gasströmmen avledas till uppgradering.

Energiförhållanden för lantbruk

Vi har sökt i litteratur för att bedöma om storleksordningar in och möjlig biogas-mängd (gasutbyte) är i samma härader som storleksordningar ut för de lokala energibehoven i form av drivmedel, elkraft och värme. Vi kunde konstatera att det finns betydligt fler rapporter om biogasproduktion än det finns om energiförbrukningar i lantbruk. Man kan dock läsa ut av uppgifterna i tabellen nedan att energiförhållanden mellan möjligt gasutbyte och energiförbrukningar för mjölkgårdar är



grovt i samma storleksordning jämfört med varandra och är intressanta. Se även inledande översikt i bilaga 1 (infogad som kapitel 13).

Tabell 10. Energiuppskattningar för mjölkgård

Energiuppskattningar för mjölkgård				Informationskälla
Antal mjölkkor per typgård	80	160	400	Valda projektfall
Biogasproduktion				
Flytgödsel, ton/år	3 500	7 000	17 000	Rotage Agri AB (Götene Gårdsgas) 2012-11-02. (Kalkyl för projektet).
Nm3 biogas*/dag	226	452	1 099	Rotage Agri AB (Götene Gårdsgas) 2012-11-02. (Kalkyl för projektet).
Nm3 biogas/h	9	19	46	beräknat från Rotage Agris uppgift
kWh energi/dag	827	1 654	4 016	Rotage Agri AB (Götene Gårdsgas) 2012-11-02. (Kalkyl för projektet).
kWh energi/år	301 855	603 710	1 465 840	beräknat från Rotage Agris uppgift
kWh energi/ko,år	3 773	3 773	3 665	beräknat från Rotage Agris uppgift
* biogas=rågas före uppgradering				
Energibehov för mjölkproduktion på typgård				
(Nyckeltal: 80 kor ger mjölmängd 850 000 kg/år, 10 625 kg/ko)				Neuman L., Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008, rapport LRF Konsult 2009, sid 6.
El inköpt kWh, (ca 0,122 kWh/kg mjölk)	103 700	207 400	518 500	Neuman L., Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008, rapport LRF Konsult 2009, sid 12.
Dieselförbrukning, kWh (ca 0,032 kWh/kg mjölk)	27 200	54 400	136 000	Neuman L., Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008, rapport LRF Konsult 2009, sid 12.
Annan elförbrukning exempelgård 80 kor:				Neuman L., Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008, rapport LRF Konsult 2009, sid 6.
bostäder, kWh/år	29 000			
gårdsverkstad, kWh/år	3 000			
gårdsbelysning, kWh/år	500			
spannmålstork, kWh/år	6 000			
Jämförelse med annan informationskälla avseende el- och dieselförbrukning för typgård 80 kor, 80 ha odling:				
El inköpt, kWh/år	90 000			Greppa Näringen, 2008.
Diesel inomgårds, m3/år	1,8			Greppa Näringen, 2008.
" motsv. energinnehåll kWh, (9 900kWh/m3)	17 820			beräknat
Diesel växtodling, m3/år (90 l/ha) för 80 ha	7,2			Greppa Näringen, 2008.
" motsv. energinnehåll kWh, (9 900kWh/m3)	71 280			beräknat
Värmebehov för rötningsanläggning (vid 10 C omgivningstemp), kWh	35 000	70 000	170 000	Grov uppskattning 10 kWh/ton flytgödsel, baserat på 6-15 kWh/m3 substrat vid 10 C omgivningstemp enligt exempel i kap 4.8.3 i Eder B., Biogas Praxis, Ökobuch Verlag,



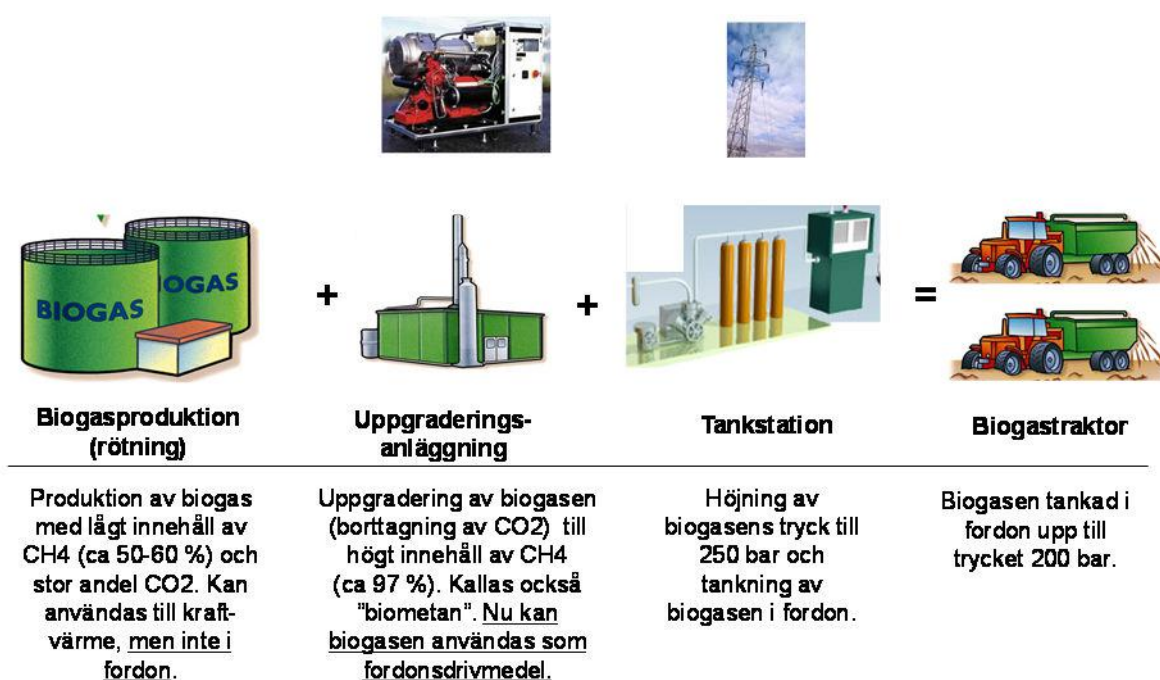
Systemkonceptet

När det gäller systemkoncept för en biogaskedja har denna studie inte inneburit någon revolution, men är ett av flera erforderliga steg för förståelse av komponenter i utveckling och dessas möjliga samverkan i system och användning. En total principiell kedja för biogas för traktordrift och kraftvärme beskrivs på ett bra sätt av Biogas Syds bild nedan.

Kolmembrantekniken som den beskrivits i denna studie har egenskaper som är intressanta för ett kretsloppsperspektiv på lantbruk, om man kan forma gårdens förutsättningar sådana att även ekonomin blir möjlig. Flexibiliteten och bättre möjligheter än tidigare att anpassa tekniken för även mindre flöden är framträdande egenskaper enligt de gjorda kalkylerna.

Tankningssteget i bilden bör här vara långsamtankning av ekonomiska skäl. Detta bör kunna kombineras på ett bra sätt med membranteknikens möjlighet till intermittent drift som beskrivits.

Fortsatta studier av specifika förhållanden på gård är nödvändiga för att kunna utforma ett totalt system närmare.



Figur 15. Schematisk bild av huvudkomponenter i en biogaskedja för traktordrift, parallellt med möjlig kraftvärmeproduktion.



Kvarstående möjligheter och utmaningar

Vi kan konstatera att här ligger både möjligheter och utmaningar, och vi gör här en listning av punkter som projektgruppen har identifierat.

Biogasproduktionen:

Möjligheter

- Det finns betydande mängder rötbart material på gådar
- Investeringsstöd
- Stort intresse
- Ekonomisk ersättning för metanreducering

Utmaningar

- Svag lönsamhet särskilt i liten skala
- Ny bransch för produktion
- Tekniken kan fortfarande utvecklas

Biogasuppgradering för eget bruk kombinerat med kraftvärmeproduktion:

Möjligheter

- Gör det möjligt att använda all producerad biogas över året
- Ger egen produktion av fordonsbränsle, elektricitet och värme

Utmaningar

- Två processutrustningar
- Redan en av dem har låg lönsamhet över året
- I småskalig produktion är det kanske inte möjligt att driva båda utrustningarna parallellt

Småskalig uppgradering:

Möjligheter

- Uppgradering till lägre metanhalt, t ex 80 %, "enkla" än till 97 %
- (Kol-)membrantechnik är möjlig också i "liten" skala
- Teknisksprång

Utmaningar

- Att få traktormotortillverkare att acceptera biometan med t ex 80 % metanhalt
- Vilken standard kommer framtida naturgas att ha (beroende på källa)?

Tankningssystem:

Möjligheter

- Långsamtankningssystem möjliggör tankning från lågtryckssystem

Utmaningar

- Långsamtankningssystem har relativt höga drift- och underhållskostnader för närvarande

Installation av gastankar på traktorer:

Möjligheter



- Testa nya kreativa idéer för att medföra gastankar
- Positiv attityd från myndigheter
- Möjliga test i MEKA-projektet

Utmaningar

- Liten erfarenhet från praktisk drift
- Placering av gastankar på traktorer
- Liten marknad för närvarande
- Få möjligheter att tanka metangas

Regelverk för traktorer med metan-dieseldrift (dual fuel):

Möjligheter

- Nationellt regelverk för konvertering (och A-OEM?)²⁴
- Dispenser
- Positiv attityd från myndigheter

Utmaningar

- Avsaknad av regelverk för registrering
- Regelverk för OEM ska antas av EU

Biogastraktorteknik:

Möjligheter

- Känd teknik i grunden
- Miljöanpassade motorer
- MEKA-projektet

Utmaningar

- Liten erfarenhet av praktisk drift
- Gastankar på traktorer
- Liten marknad för närvarande
- Fåtaliga möjligheter att tanka metangas

²⁴ OEM= Original Equipment Manufacturer. A-OEM=Konvertering via en tredje part, dock med fullt stöd av OEM. Se vidare förklaring i bilaga 4.



10. Slutsatser

Vi sammanfattar här slutsatserna i några punkter.

- Storleksordningar för tillgängliga energiråvaror för valda scenarios (biogas från gödsel på mjölkgårdar) visar intressant överensstämmelse med storleksordningar för gårdens lokala energibehov för el, värme och traktordrivmedel.
- De resulterande biogasmängderna i studerade scenarios (gödsel från mjölkgårdar) är att betrakta som småskala när det gäller biogasanläggningar. Samrötning med en annan substratström med högt metanutbyte skulle kunna ha stor betydelse.
- Den studerade kolmembrantekniken för uppgradering visar goda möjligheter till flexibilitet, när det gäller intermittent drift, variation av uppgraderingsgrad (metanhalt), möjligheter att anpassas till olika stora flöden och att dela upp rågasströmmen i dels uppgraderad gas för drivmedel, dels rågas direkt till lokal kraftvärmeproduktion.
- Med valda förutsättningar skulle upp till 70 % av rågasen kunna uppgraderas till 96 % metanhalt, och samtidigt kunna ge >40 % metanhalt i det resterande gasflödet till kraftvärme.
- Uppgradering med membranläggning är enkel att starta och stoppa, utan extra kostnader. Detta är kanske den allra viktigaste fördelen i användningen.
- Den studerade kolmembrantekniken för uppgradering bedöms kunna vara konkurrenskraftig och visar mindre känslighet för kostnadsökning per enhet uppgraderad gas när man går mot mindre anläggningsstorlek, jämfört med vad tidigare studier (2012) angett för olika uppgraderingstekniker.
- Om en gård ekonomiskt kan klara biogasproduktion i sig, kan det finnas möjligheter att även klara uppgradering till traktordrivmedel med kolmembranteknik, genom att drivmedel har högre värde än el och värme för eget bruk, och att kolmembrantekniken har flexibla möjligheter att välja prestanda och utformning för en anläggning.
- De flexibla möjligheterna gör att vi inte kan ge en entydig rekommendation av systemupplägg inom detta projekts ram. Vi rekommenderar att fördjupande studier görs i samarbete med konkret utvald gård(-ar).
- Metan/dieseltraktordrift har visat sig fungera väl i pilotprojekt i Skåne, och intresse har visats, men utveckling pågår fortfarande (2012) av såväl traktorteknik som regelverk för registrering av metan/dieseltraktorer för att en marknad för sådana traktorer ska växa fram.



11. Tack

Vi vill tacka finansiärer som möjliggjort start av detta projekt, projektpartners som aktivt deltagit i genomförandet och frikostigt delat med sig av sin kunskap och information från sitt område, och alla andra som har gett synpunkter och hjälp.

Stort tack även till familjemedlemmar som tålmodigt har väntat medan rapporten har författats.

När det gäller namn, ingen nämnd, ingen glömd!



12. Referenser samt litteratur för vidare läsning

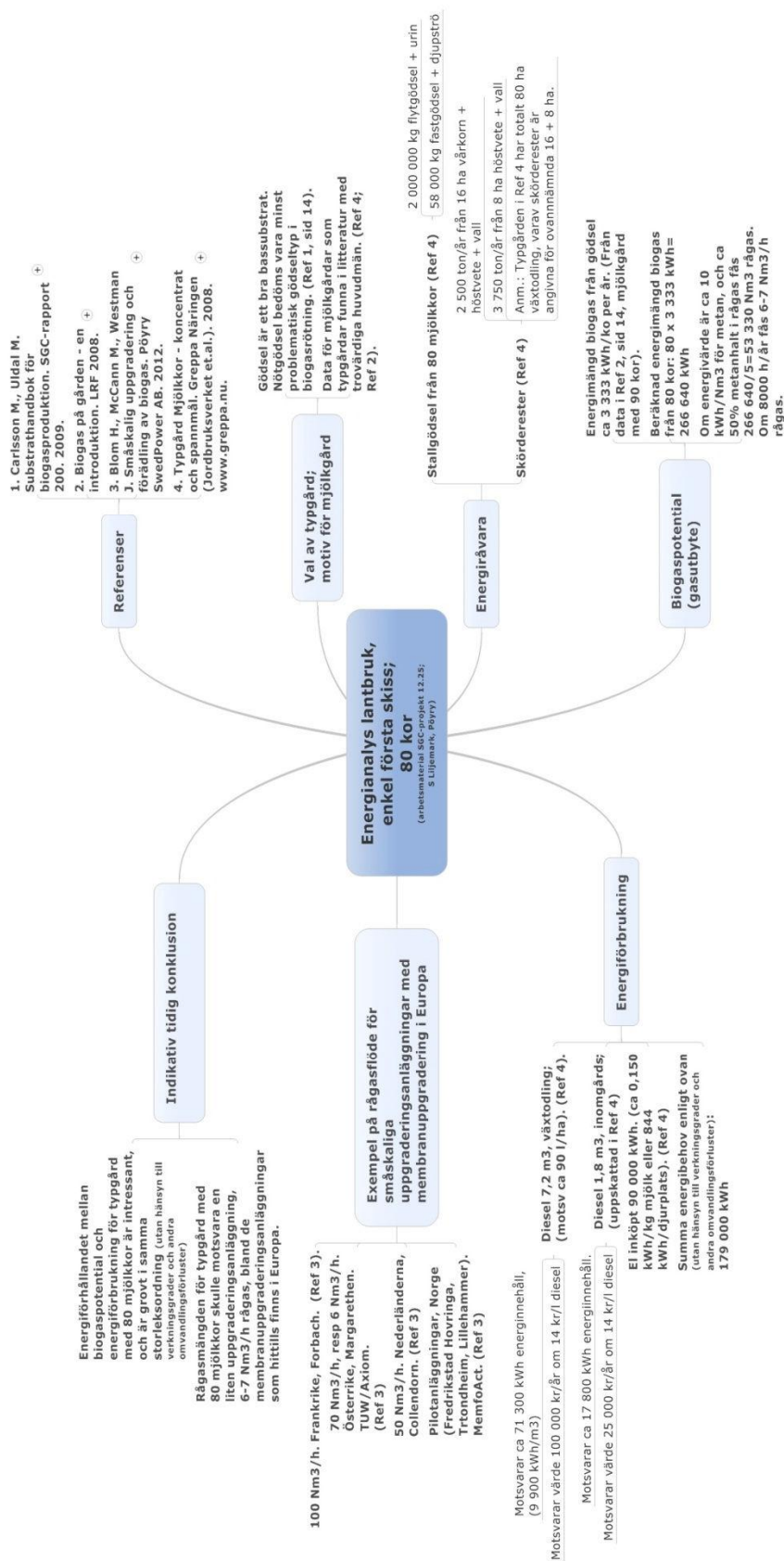
1. Carlsson M., Uldal M. Substrathandbok för biogasproduktion. SGC-rapport 200. Malmö 2009.
<http://www.sgc.se/display.asp?ID=1242&Typ=Rapport&Menu=Rapporter>
2. Biogas på gården - en introduktion. LRF 2008.
http://www.lrf.se/PageFiles/5703/Biogas_pa_garden_LR.pdf
3. Blom H., McCann M., Westman J. Småskalig uppgradering och förädling av biogas. Pöyry SwedPower AB, för AgroVäst och Energigården. Göteborg 2012. [http://www.biogassvast.se/upload/Biogas %20V %C3 %A4st/Slutrapport %20Sm %C3 %A5skalig %20Biogassuppgadering_2012-02-20.pdf](http://www.biogassvast.se/upload/Biogas%20V%C3%A4st/Slutrapport%20Sm%C3%A5skalig%20Biogassuppgadering_2012-02-20.pdf)
4. Typgård Mjölkcor - koncentrat och spannmål. Greppa Näringen (Jordbruksverket et.al.). 2008. [www.greppa.nu](http://www.greppa.nu/download/18.5fe620a913671cf1a6b80001921/Beskrivning+mj%C3%B6lkg%C3%A5rd.pdf).
[http://www.greppa.nu/download/18.5fe620a913671cf1a6b80001921/Beskrivning+mj %C3 %B6lkg %C3 %A5rd.pdf](http://www.greppa.nu/download/18.5fe620a913671cf1a6b80001921/Beskrivning+mj%C3%B6lkg%C3%A5rd.pdf).
5. Biogasdrivna dual fuel-traktorer i lantbruk, entreprenad och kommuner – en förstudie. Slutrapport. Biogas Syd, Malmö 2011.
[http://biogassyd.se/download/18.4c1b31c91325af4dad3800014782/Dual+fuel+traktore r_slutrapport_med+omslag_webb.pdf](http://biogassyd.se/download/18.4c1b31c91325af4dad3800014782/Dual+fuel+traktore_r_slutrapport_med+omslag_webb.pdf)
6. Eder, Barbara, et al. Biogas Praxis – Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit, Umwelt. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg 2012. <http://www.oekobuch.de>
7. Neuman, L. Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008. LRF KONSULT AB, 2009.
<http://www.lrf.se/PageFiles/30460/5.%20Rapport%20Energikart%C3%A4ggning%2008%20LRF%20Konsult.pdf>
8. Andersson, Sara-Linnea; Holmgren, Magnus. Elnätsanslutning av småskalig, gårdsbaserad biogaskraftvärme. För AgroVäst och Stiftelsen Lantbruksforskning. Vattenfall Power Consultant AB, Göteborg, 2010.
<http://www.energigarden.se/?p=10862&m=3140>
9. Güssing Energy Technology. (Richard Zweiler). 2011.
<http://get.ac.at/mobiles-biogas.de.html>
<http://www.biogassost.se/LinkClick.aspx?fileticket=czkgKSCYiCc%3D&tabid=85>
10. Dual Fuel Traktor. Biogas Syd , Malmö 2010.
[http://www.biogassyd.se/download/18.64075cf012c96962a7d800017444/dual_fuel tra ktor.pdf..](http://www.biogassyd.se/download/18.64075cf012c96962a7d800017444/dual_fuel_traktor.pdf..)
11. Valtra presenterar en biogastraktor som drivs med en sexcylindrig SCR-motor. 2011. <http://www.valtra.se/news/5303.asp>.
12. Edström, Mats, et al. Gårdsbaserad biogasproduktion. System, ekonomi och klimatpåverkan. JTI-rapport Kretslopp & Avfall 42. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik. 2008. <http://www.jti.se/uploads/jti/RKA-42-ME.pdf>
13. Nordberg, Åke. Den gröna gården – en ekologisk gård självförsörjande med förnybara energi. För Formas. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik. 2009. <http://www.jti.se/index.php?page=publicering>
14. Brown, Nils et al. Utvärdering av gårdsbiogasanläggning med mikroturbין för kraftvärmeproduktion. JTI-rapport Kretslopp & Avfall 46. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik. 2010. www.jti.se/uploads/jti/r-46%20nb.%20med_lag.pdf
15. Petersson, A., Wellinger, A. Biogas upgrading technologies – developments and innovations. IEA-International Energy Agency, Task 37 - Energy from biogas and landfill gas. 2009. http://www.iea-biogas.net/download/publi-task37/upgrading_rz_low_final.pdf



16. Lantz, Mikael. G Gårdsbaserad produktion av biogas för kraftvärme - ekonomi och teknik. LTH, Avd miljö- och energisystem. Lund, 2004.
http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-fi-ler/G%C3%A5rdsbaserad%20produktion%20av%20biogas%20f%C3%B6r%20kraftv%C3%A4rme.pdf
17. Benjaminsson, Johan. Nya renings- och uppgraderingstekniker för biogas. SGC-rapport 163. Malmö, 2006.
<http://www.sgc.se/display.asp?ID=998&Typ=Rapport&Menu=Rapporter>
18. Carbon Dioxide Temperature - Pressure Diagram. Chemica Logic Corporation, 1999. http://www.chemicallogic.com/download/co2_phase_diagram.pdf
19. Munkejord, S. et al. Thermo- and fluid-dynamical modelling of two-phase multi-component carbon dioxide mixtures. Extended version of a paper presented at GHGT-9 – 9th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Washington DC, USA, November 2008. SINTEF Energy Research, Trondheim, 2008.
http://www.sintef.no/project/CO2%20Dynamics/publications/co2_dynamics_ijggc_accepted.pdf
20. Lie, J.A.: Synthesis, performance and regeneration of carbon membranes for biogas upgrading – a future energy carrier, Doctoral thesis 2005: 152, NTNU, Dep. of Chemical Engineering, Trondheim.
21. He X., Lie J.A., Sheridan E., Hägg M-B.: Preparation and Characterization of Hollow Fiber Carbon Membranes from Cellulose Acetate Precursors, Ind. Eng. Chem. Res. 50 (2011) 2080-2087.
22. Koresh J.E. & Soffer A. : Molecular Sieve Carbon Permselective Membrane. Part 1. Presentation of a new Device for Gas Mixture Separation, Sep. Sci. Tech. 18(8) (1983) 723-734.
23. Steel K.M. & Koros W.J.: Investigation of porosity of carbon materials and related effects on gas separation properties, Carbon 41 (2003) 253-266.
24. Park H.B. et al.: Pyrolytic carbon membranes containing silica derived from poly(imide siloxane), J. Membr. Sci. 235 (2004) 87-98.
25. Jordbruksverket et al. Biogastraktorer - Marknadsförutsättningar för nya arbetsmaskiner med metandieseldrift. Jordbruksverket rapport 2012:5.
http://archive-se.com/page/21758/2012-05-23/http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra12_5.pdf
26. Jordbruksverket et al. Efterkonvertering av arbetsmaskiner - Marknadsförutsättningar och förslag till styrmedel. Jordbruksverket rapport 2011:40.
http://archive-se.com/page/21758/2012-05-23/http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra11_40.pdf



13. BILAGA 1. Energianalys för lantbruk, enkel första skiss, 80 kor



14. BILAGA 2. Förberedande biogaskalkyler (biogasproduktion och kraftvärme)

Denna bilaga innehåller sex stycken kalkyler. De innehåller kalkyler med olika förutsättningar, för biogasproduktion och lokal kraftvärmeproduktion. Kalkylerna är gjorda av projektpartnern Götene Gårdsgas (Rotage Agri) med deras kalkylmodell. Observera att uppgradering av biogasen inte ingår i dessa kalkyler!

Utgångskalkylen gjordes för ett typgårdsfall på 80 mjölkkor med inledande uppgift om gödselmängd från projektet Greppa Näringen (Jordbruksverket et al, [4]. De två följande kalkylerna lades till som en första iteration med samma grundförutsättningar som utgångskalkylen men med ökad gårdsstorlek till 240 kor och 400 kor för att bedöma ekonomisk betydelse av ökad gårdsstorlek (förväntat positiv).

De tre följande kalkylerna gjordes i en andra iteration där mellanalternativet justerades till en alltmer vanlig mjölkgårdsstorlek med 160 kor motsvarande två mjölkkningsrobotar. De båda storleksalternativen 80 kor och 400 kor behölls, men gödselmängderna justerades upp för samtliga tre storleksalternativen i denna andra iteration, baserat på nya erfarenhetsvärden från projektpartnern Götene Gårdsgas (Rotage Agri).

Varje kalkyl består av två sidor.

Lista:

Utgångskalkyl: 80 kor

Iteration 1: 240 kor

Iteration 1: 400 kor

Iteration 2: 80 kor (utökad gödselmängd)

Iteration 2: 160 kor (utökad gödselmängd)

Iteration 2: 400 kor (utökad gödselmängd)



Förberedande Biogaskalkyl (utgångskalkyl) - 80 kor. Sida 1**Substrat**

ton/år	ts-halt		m3 gas/dag	kWh energi/dag
Flytgödsel, gris	-	8 %	-	-
Flytgödsel, nöt	2000	9 %	129	487
Djupströ, nöt	58	30 %	15	55
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Summa	2058	10 %	144	542

Intäkter

El	85 321 kr
Värme	38 949 kr
Gas	- kr
Gödsel	12 348 kr
Övrigt	- kr
Övrigt	
Summa	136 618 kr

Kostnader

Amortering	177 333 kr
Ränta	133 000 kr
Service	32 053 kr
Arbetsid	45 625 kr
Avgifter	16 000 kr
- kr	
Summa	404 011 kr

Sammanställning

Kassaflöde år 1	-192 523 kr
Kassaflöde, medel över 20 år	-107 747 kr
Total vinst över 20 år	-2 154 936 kr
Återbetalningstid	105 år

Anläggning

Rötkammare 220 m3
Kraftvärmeverk 20 kW

Ingår: Gasutrustning, rördragning, styr- och reglerutrustning, maskincontainer, gaslager, omrörare, fackla m.m.

Tillkommer: Framdragning el och vatten, nätanslutning, markarbeten samt eventuell kulvert, gasledning och gödselledning

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-06-19



Förutsättningar (utgångskalkyl) – 80 kor. Sida 2

Intäkter	Antal	Pris	Summa
El, försäljning	0	0,76 kr	- kr
El, förbrukning	100407	0,85 kr	85 321 kr
Värme	97373	0,40 kr	38 949 kr
Gas, försäljning	0	0,50 kr	- kr
Bättre gödsel	2058	6,00 kr	12 348 kr
Övrigt	0	- kr	- kr
Kostnader			
Arbetstid	0,5 h/dag	250 kr/h	45 625 kr
Avgifter		16 000 kr	
Övrigt	0	- kr	- kr
Investering			
Ränta		5 %	
Avskrivning, år		15	
Amortering, år		15	
Anläggningskostnad		3 800 000 kr	
Övriga investeringar		- kr	
Investeringsbidrag		1 140 000 kr	
Summa investering		2 660 000 kr	
Övrigt			
Uppehållstid		37 dagar	
TS-halt, snitt		10 %	
Kg VS/dygn/m3		2,1	
Nyttjandegrad Kraftvärme		57 %	

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-06-19



Förberedande Biogaskalkyl (iteration 1) - 240 kor. Sida 1**Substrat**

ton/år	ts-halt		m3 gas/dag	kWh energi/dag
Flytgödsel, gris	-	8 %	-	-
Flytgödsel, nöt	6000	9 %	388	1418
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Summa	6000	9 %	388	1418

Intäkter

El	229 882 kr
Värme	98 751 kr
Gas	- kr
Gödsel	36 000 kr
Övrigt	- kr
Övrigt	- kr
Summa	364 633 kr

Kostnader

Amortering	200 667 kr
Ränta	150 500 kr
Service	56 669 kr
Arbetsid	45 625 kr
Avgifter	16 000 kr
- kr	-
Summa	469 460 kr

Sammanställning

Kassaflöde år 1	-75 475 kr
Kassaflöde, medel över 20 år	13 267 kr
Total vinst över 20 år	265 337 kr
Återbetalningstid	18 år

Anläggning

Rötkammare 500 m3
Kraftvärmeverk 35 kW

Ingår: Gasutrustning, rördragning, styr- och reglerutrustning, maskincontainer, gaslager, omrörare, fackla m.m.

Tillkommer: Framdragning el och vatten, nätanslutning, markarbeten samt eventuell kulvert, gasledning och gödselledning

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-06-21



Förutsättningar (iteration 1) - 240 kor. Sida 2

Antal	Pris	Summa
El, försäljning	0	0,76 kr - kr
El, förbrukning	270527	0,85 kr 229 882 kr
Värme	246878	0,40 kr 98 751 kr
Gas, försäljning	0	0,50 kr - kr
Bättre gödsel	6000	6,00 kr 36 000 kr
Övrigt	0	- kr - kr
Kostnader		
Arbetstid	0,5 h/dag	250 kr/h 45 625 kr
Avgifter		16 000 kr
Övrigt	0	- kr - kr
Investering		
Ränta		5 %
Avskrivning, år		15
Amortering, år		15
Anläggningskostnad		4 300 000 kr
Övriga investeringar		- kr
Investeringsbidrag		1 290 000 kr
Summa investering		3 010 000 kr
Övrigt		
Uppehållstid		28 dagar
TS-halt, snitt		9 %
Kg VS/dygn/m3		2,5
Nyttjandegrad Kraftvärme		88 %

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-06-21



Förberedande Biogaskalkyl (iteration 1) - 400 kor. Sida 1**Substrat**

ton/år	ts-halt		m3 gas/dag	kWh energi/dag
Flytgödsel, gris	-	8 %	-	-
Flytgödsel, nöt	10000	9 %	646	2363
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Summa	10000	9 %	646	2363

Intäkter

El	383 137 kr
Värme	164 586 kr
Gas	- kr
Gödsel	60 000 kr
Övrigt	- kr
Övrigt	- kr

Summa**607 722 kr****Kostnader**

Amortering	266 000 kr
Ränta	199 500 kr
Service	87 114 kr
Arbetsid	45 625 kr
Avgifter	16 000 kr
- kr	

614 239 kr**Sammanställning**

Kassaflöde år 1	-4 692 kr
Kassaflöde, medel över 20 år	108 715 kr
Total vinst över 20 år	2 174 309 kr
Återbetalningstid	13 år

Anläggning

Rötkammare 2x365 m3

Kraftvärmeverk 2x50 kW

Ingår: Gasutrustning, rördragning, styr- och reglerutrustning, maskincontainer, gaslager, omrörare, fackla m.m.

Tillkommer: Framdragning el och vatten, nätanslutning, markarbeten samt eventuell kulvert, gasledning och gödselledning

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-06-21



Förutsättningar (iteration 1) - 400 kor. Sida 2

Antal	Pris	Summa
El, försäljning	0	0,76 kr - kr
El, förbrukning	450878	0,85 kr 383 137 kr
Värme	411464	0,40 kr 164 586 kr
Gas, försäljning	0	0,50 kr - kr
Bättre gödsel	10000	6,00 kr 60 000 kr
Övrigt	0	- kr - kr
Kostnader		
Arbetstid	0,5 h/dag	250 kr/h 45 625 kr
Avgifter		16 000 kr
Övrigt	0	- kr - kr
Investering		
Ränta		5 %
Avskrivning, år		15
Amortering, år		15
Anläggningskostnad		5 700 000 kr
Övriga investeringar		- kr
Investeringsbidrag		1 710 000 kr
Summa investering		3 990 000 kr
Övrigt		
Uppehållstid		25 dagar
TS-halt, snitt		9 %
Kg VS/dygn/m ³		2,9
Nyttjandegrad Kraftvärme		51 %

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-06-21



Förberedande Biogaskalkyl (iteration 2) – 80 kor. Sida 1

Substrat (utökad gödselmängd)

ton/år	ts-halt		m3 gas/dag	kWh energi/dag
Flytgödsel, gris	-	8 %	-	-
Flytgödsel, nöt	3500	9 %	226	827
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Summa	3500	9 %	226	827

Intäkter

El	100 774 kr
Värme	76 327 kr
Gas	- kr
Gödsel	21 000 kr
Övrigt	- kr
Övrigt	- kr
Summa	198 101 kr

Kostnader

Amortering	182 000 kr
Ränta	136 500 kr
Service	40 015 kr
Arbetsid	45 625 kr
Avgifter	16 000 kr
- kr	-
Summa	420 140 kr

Sammanställning

Kassaflöde år 1	-159 868 kr
Kassaflöde, medel över 20 år	-73 836 kr
Total vinst över 20 år	-1 476 711 kr
Återbetalningstid	44 år

Anläggning

Rötkammare 270 m3
 Kraftvärmeverk 20 kW
 Ingår: Gasutrustning, rördragning, styr- och reglerutrustning, maskincontainer, gaslager, omrörare, fackla m.m.
 Tillkommer: Framdragning el och vatten, nätanslutning, markarbeten samt eventuell kulvert, gasledning och gödselledning

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-11-02



Förutsättningar (iteration 2) – 80 kor. Sida 2

Intäkter	Antal	Pris	Summa
El, försäljning	0	0,56 kr	- kr
El, förbrukning	157807	0,64 kr	100 774 kr
Värme	144012	0,53 kr	76 327 kr
Gas, försäljning	0	0,50 kr	- kr
Bättre gödsel	3500	6,00 kr	21 000 kr
Övrigt	0	- kr	- kr
Kostnader			
Arbetstid	0,5 h/dag	250 kr/h	45 625 kr
Avgifter		16 000 kr	
Övrigt	0	- kr	- kr
Investering			
Ränta		5 %	
Avskrivning, år		15	
Amortering, år		15	
Anläggningskostnad		3 900 000 kr	
Övriga investeringar		- kr	
Investeringsbidrag		1 170 000 kr	
Summa investering		2 730 000 kr	
Övrigt			
Uppehållstid		26 dagar	
TS-halt, snitt		9 %	
Kg VS/dygn/m ³		2,7	
Nyttjandegrad Kraftvärme		90 %	

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-11-02



Förberedande Biogaskalkyl (iteration 2) – 160 kor. Sida 1

Substrat (utökad gödselmängd)

ton/år	ts-halt		m3 gas/dag	kWh energi/dag
Flytgödsel, gris	-	8 %	-	-
Flytgödsel, nöt	7000	9 %	452	1654
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Summa	7000	9 %	452	1654

Intäkter

El	201 548 kr
Värme	152 653 kr
Gas	- kr
Gödsel	42 000 kr
Övrigt	- kr
Övrigt	- kr

Summa

396 201 kr

Kostnader

Amortering	205 333 kr
Ränta	154 000 kr
Service	63 030 kr
Arbetsid	45 625 kr
Avgifter	16 000 kr
- kr	-

483 988 kr

Sammanställning

Kassaflöde år 1	-63 207 kr
Kassaflöde, medel över 20 år	28 891 kr
Total vinst över 20 år	577 818 kr
Återbetalningstid	17 år

Anläggning

Rötkammare 660 m3

Kraftvärmeverk 50 kW

Ingår: Gasutrustning, rördragning, styr- och reglerutrustning, maskincontainer, gaslager, omrörare, fackla m.m.

Tillkommer: Framdragning el och vatten, nätanslutning, markarbeten samt eventuell kulvert, gasledning och gödselledning

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB.



Förutsättningar (iteration 2) – 160 kor. Sida 2

Intäkter	Antal	Pris	Summa
El, försäljning	0	0,56 kr	- kr
El, förbrukning	315615	0,64 kr	201 548 kr
Värme	288025	0,53 kr	152 653 kr
Gas, försäljning	0	0,50 kr	- kr
Bättre gödsel	7000	6,00 kr	42 000 kr
Övrigt	0	- kr	- kr
Kostnader			
Arbetstid	0,5 h/dag	250 kr/h	45 625 kr
Avgifter		16 000 kr	
Övrigt	0	- kr	- kr
Investering			
Ränta		5 %	
Avskrivning, år		15	
Amortering, år		15	
Anläggningskostnad		4 400 000 kr	
Övriga investeringar		- kr	
Investeringsbidrag		1 320 000 kr	
Summa investering		3 080 000 kr	
Övrigt			
Uppehållstid		32 dagar	
TS-halt, snitt		9 %	
Kg VS/dygn/m ³		2,2	
Nyttjandegrad Kraftvärme		72 %	

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-11-02



Förberedande Biogaskalkyl (iteration 2) – 400 kor. Sida 1

Substrat (utökad gödselmängd)

ton/år	ts-halt		m3 gas/dag	kWh energi/dag
Flytgödsel, gris	-	8 %	-	-
Flytgödsel, nöt	17000	9 %	1099	4016
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
Summa	17000	9 %	1099	4016

Intäkter

El	489 474 kr
Värme	370 729 kr
Gas	- kr
Gödsel	102 000 kr
Övrigt	- kr
Övrigt	-

Summa

962 203 kr

Kostnader

Amortering	293 333 kr
Ränta	220 000 kr
Service	130 644 kr
Arbetsid	45 625 kr
Avgifter	16 000 kr
- kr	-

705 602 kr

Sammanställning

Kassaflöde år 1	184 753 kr
Kassaflöde, medel över 20 år	304 930 kr
Total vinst över 20 år	6 098 598 kr
Återbetalningstid	8 år

Anläggning

Rötkammare 2x660 m3

Kraftvärmeverk 2x50 kW

Ingår: Gasutrustning, rördragning, styr- och reglerutrustning, maskincontainer, gaslager, omrörare, fackla m.m.

Tillkommer: Framdragning el och vatten, nätanslutning, markarbeten samt eventuell kulvert, gasledning och gödselledning

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-11-02



Förutsättningar (iteration 2) – 400 kor. Sida 2

Intäkter	Antal	Pris	Summa
El, försäljning	0	0,56 kr	- kr
El, förbrukning	766493	0,64 kr	489 474 kr
Värme	699489	0,53 kr	370 729 kr
Gas, försäljning	0	0,50 kr	- kr
Bättre gödsel	17000	6,00 kr	102 000 kr
Övrigt	0	- kr	- kr
Kostnader			
Arbetstid	0,5 h/dag	250 kr/h	45 625 kr
Avgifter		16 000 kr	
Övrigt	0	- kr	- kr
Investering			
Ränta		5 %	
Avskrivning, år		15	
Amortering, år		15	
Anläggningskostnad		6 200 000 kr	
Övriga investeringar		- kr	
Investeringsbidrag		1 800 000 kr	
Summa investering		4 400 000 kr	
Övrigt			
Uppehållstid		26 dagar	
TS-halt, snitt		9 %	
Kg VS/dygn/m3		2,7	
Nyttjandegrad Kraftvärme		87 %	

Förberedande biogaskalkyl. Samtliga värden är uppskattningar. All information tillhör Götene Gårdsgas AB. 2012-11-02

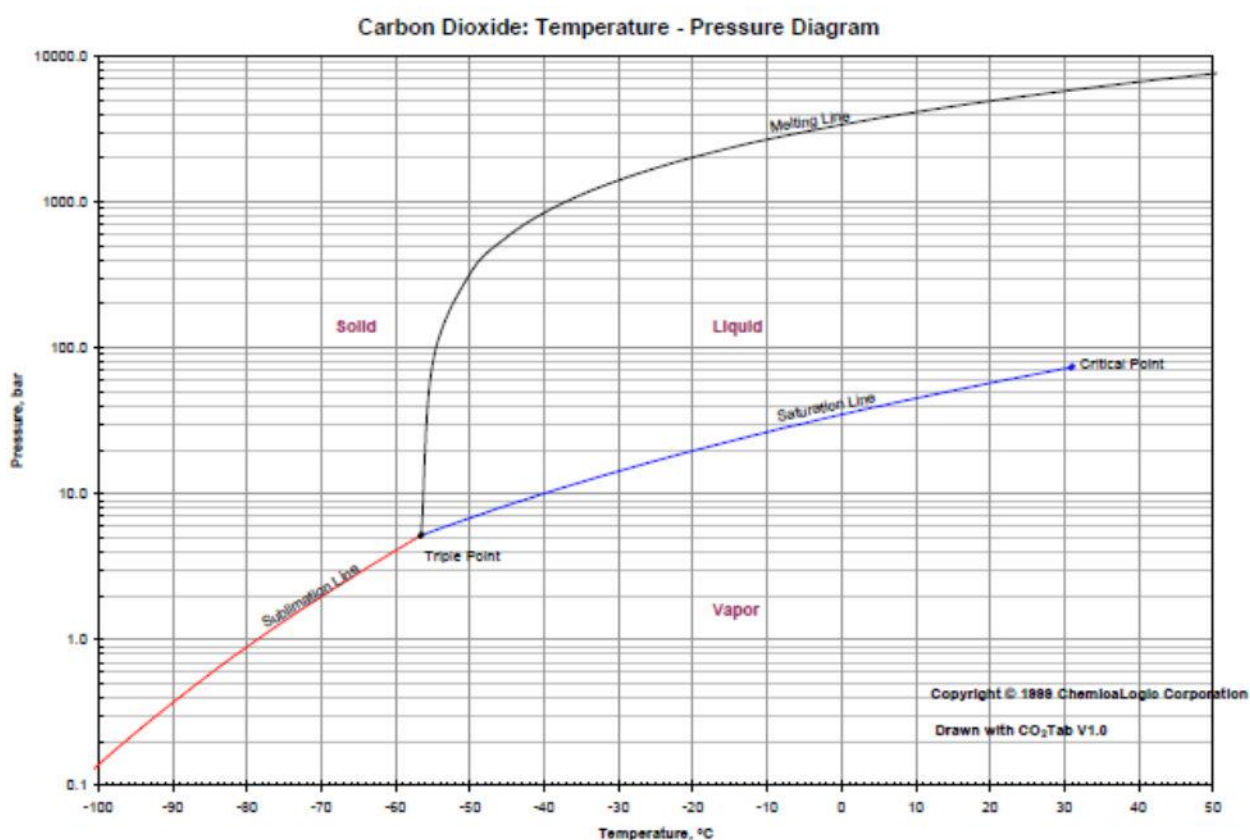


15. BILAGA 3. Egenskaper för koldioxid

Huvudbeståndsdelarna i biogas är som bekant metan och koldioxid (CO₂). Det är beprövat att med lågt tryck försörja lokala kraftvärmemotorer med biogas (rågas) med metanhalt på ca 50-60 % och CO₂-halter på 40-50 %, där gasen förbränns i motorn med tryckhöjning och hög temperatur. Likaså är det beprövat att uppgradera biogas till fordonsgaskvalitet med 97+/-2 % metanhalt och lagra denna i drivmedelstankar i högtryckslager vid tankstationer och på fordon med ca 200-250 bars tryck.

En fråga som ställts är hur CO₂ kan tänkas uppföra sig om den har högre halt i biogas som avses användas för fordon och komprimeras till högt tryck i fordonets tankar, och om omgivningstemperaturen är låg.

Vi gör här en kort betraktelse. Nedan visas ett tillståndsdigram för ren CO₂, vid olika tryck och temperaturer.



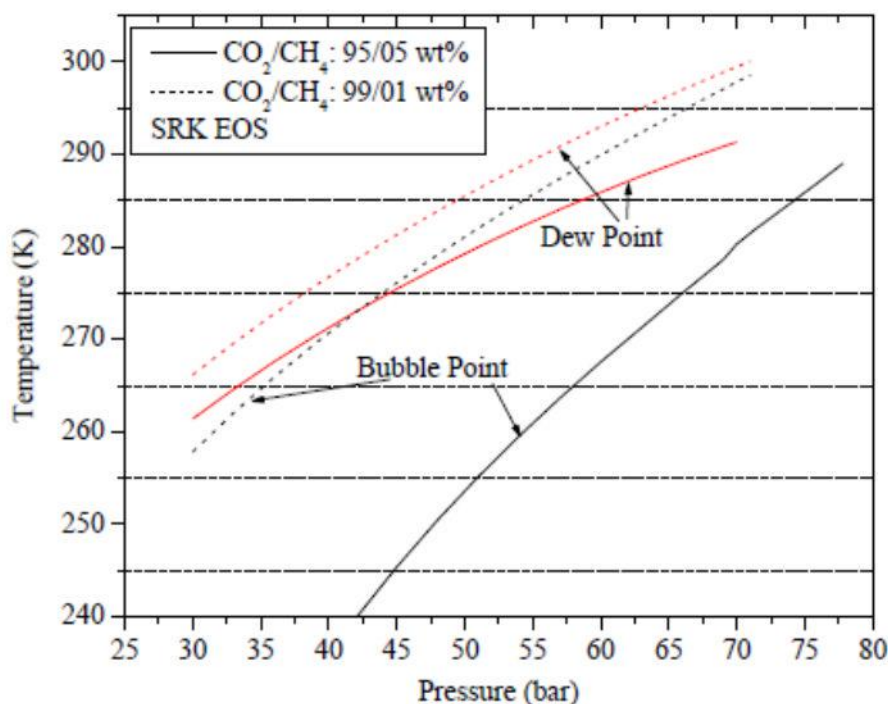
Figur 1. Temperatur – tryck-diagram för ren koldioxid. (Observera att tryck-skalan är logaritmisk).

Om man skulle uppgradera biogas till en lägre metanhalt, säg 80 % metan så har gasen följaktligen ett CO₂-innehåll på ca 20 % CO₂. Om denna blandgas komprimeras till 200 bar får CO₂ partialtrycket 20 % av 200 bar, dvs 40 bar. Om denna CO₂ skulle uppföra sig som ren CO₂, så kan vi läsa i diagrammet ovan att linjen för 40 bar skär linjen där CO₂ övergår från gasfas (vapor) till vätskefas (liquid) vid ungefär +5 grader C. Koldioxid skulle alltså enligt detta kunna uppträda som vätska vid temperaturer under +5 grader C. Nu vet man inte säkert hur gas-



blandningar uppför sig, egenskaperna kan påverkas i förhållande till respektive ren gas.

Från ett annat sammanhang har man (Munkejord et al 2008, [19]) studerat hur egenskaper för CO₂ med några procent metaninblandning påverkas av inblandningen. Där gällde det transport av CO₂ i pipelines under högt tryck, ca 100 bar. I det fallet vill man hålla sig i området med hög densitet (vätskefas/överkritisk fas, s k "dense phase") och undvika att gasblåsor bildas. Nedan visas en figur från den studien.



Figur 2. Påverkan på koldioxids egenskaper vid inblandning av 1 % respektive 5 % metan. (Källa: Munkejord et al, 2008, [19].

"Bubble point" i figuren är den gräns då en av komponenterna i vätskan börjar bilda bubblor och "dew point" när kondensering sker. (När det är en enda komponent i ett medium är dessa punkter desamma, på svenska kokpunkt).

En slutsats vi kan dra från betraktelsen ovan är att blandningsförhållandena mellan CO₂ och metan förskjuter gränserna för gasblandningens uppförande. Vi vet dock inte hur beteendet påverkas vid de blandningar som kan vara aktuella för biogas som uppgraderas till t ex 80 % metan, men det kan finnas skäl att undersöka frågan vidare.



16. Bilaga 4. Förklaring av OEM och A-OEM

Nedan beskrivs vad som menas med förkortningarna OEM respektive A-OEM i sammanhanget traktorer, [5].

OEM

OEM betyder "Original Equipment Manufacturer". En OEM-biogastraktor produceras av traktortillverkaren och säljs via tillverkarens försäljningskanaler.

Fördelar:

- Traktorn har utvecklats helt enligt traktortillverkarens specifikationer.
- Traktorn uppfyller traktortillverkarens kvalitets- och säkerhetskrav.
- Traktorn uppfyller de nationella (och/eller EU) regelverken.
- Underhåll av traktorn kan utföras av den officiella traktoråterförsäljaren.
- Full garanti på både CNG-systemet och andra traktordelar.

Nackdelar:

- Normalt krävs lång tid för utveckling och marknadsintroduktion.
- Begränsat antal traktortyper blir tillgängliga.

A-OEM

I ett A-OEM-program konverteras traktorn av en tredje part, dock med fullt stöd och vanligtvis under kontroll av traktortillverkaren eller traktorimportören. Dessa program genomförs vanligen på nationell eller lokal nivå.

Fördelar:

- Traktorn har utvecklats helt enligt traktortillverkarens specifikationer.
- Traktorn uppfyller traktortillverkarens kvalitets- och säkerhetskrav.
- Traktorn uppfyller de nationella (och/eller EU) regelverken.
- Underhåll av traktorn kan utföras av den officiella traktoråterförsäljaren.
- Full garanti på både CNG-systemet och andra traktordelar.
- Relativt korta utvecklingstider och snabb introduktion på marknaden.
- Konvertering av relativt nya begagnade traktorer kan vara möjlig (beroende på kraven i OEM).

Nackdelar:

Begränsat antal traktortyper tillgängliga.

