



LUND UNIVERSITY

Systemoptimerad produktion av fordonsgas - En miljö- och energisystemanalys av Söderåsens biogasanläggning

Lantz, Mikael; Ekman, Anna; Börjesson, Pål

2009

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Lantz, M., Ekman, A., & Börjesson, P. (2009). *Systemoptimerad produktion av fordonsgas - En miljö- och energisystemanalys av Söderåsens biogasanläggning*. (LUTFD2/TFEM--09/3060--SE + (1-110); Vol. 69). Lunds universitet. Avdelningen för miljö- och energisystem.

Total number of authors:

3

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lunds universitet

Institutionen för teknik och samhälle
Miljö- och energisystem

Systemoptimerad produktion av fordonsgas

En miljö- och energisystemanalys av Söderåsens biogasanläggning

Mikael Lantz, Anna Ekman och Pål Börjesson

Rapport nr 69

Juni 2009

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2/TFEM--09/3060--SE + (1-110)
ISBN 91-88360-95-4

© Mikael Lantz, Anna Ekman och Pål Börjesson, 2009

| | |
|--|---|
| Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44 | Dokumentnamn Rapport |
| | Utgivningsdatum Juni 2009 |
| | Författare Mikael Lantz Anna Ekman Pål Börjesson |

Dokumenttitel och undertitel

Systemoptimerad produktion av fordonsgas – en miljö- och energisystemanalys av Söderåsens biogasanläggning

Sammandrag

Syftet med föreliggande studie är att presentera en energi- och miljösystemanalys för en specifik biogasanläggning samt att beskriva och kostnadsberäkna åtgärder för att optimera systemet. En övergripande målsättning är också att studien ska kunna fungera som modell för kommande energi- och miljösystemstudier av andra specifika biogasanläggningar.

Analysen innefattar direkta effekter som energianvändning och emissioner från produktion av biogas, uppgradering, transporter samt lagring och spridning av biogödsel. Dessutom inkluderas indirekta effekter i form av minskade metanläckage från konventionell gödselhantering, ersättning av mineralgödsel med biogödsel och olika markeffekter med mera.

Produktion och distribution av fordonsgas från Söderåsens biogasanläggning beräknas ha en energibalans på cirka 5,5 vilket kan jämföras med etanol från vete där energibalansen normalt ligger mellan 2 och 3.

Emissionerna av växthusgaser uppgår till 16 gram CO₂-ekvivalenter/kWh vilket är cirka 95 % lägre jämfört med bensen. Det kan jämföras med etanol från vete och RME som i andra studier beräknats minska emissionerna med cirka 80 % respektive 65 %. Resultatet påverkas framförallt av metanläckaget från uppgraderingsanläggningen och minskade emissionerna av lustgas när biogödsel ersätter mineralgödsel samt antaganden om hur den elektricitet som används har producerats. Biogassystemets påverkan på övergödningen kan nästan uteslutande kopplas till hanteringen av biogödsel och uppgår till cirka 6 gram NO₃⁻-ekv. /kWh vilket är något lägre än vad som beräknats för etanol och RME i andra studier.

Genom att täcka biogödsellagren och värma anläggningen med flis, vilka bedöms vara kostnadsneutrala eller lönsamma åtgärder för producenten, beräknas emissionerna av växthusgaser minska till -13 gram/kWh. Om samtliga identifierade förbättringsåtgärder genomfördes skulle emissionerna minska med 120 % jämfört med bensen till en kostnad av ett par ören per kWh fordonsgas.

Nyckelord

Biogas, fordonsgas, energibalans, växthusgaser, övergödning, kostnader

| | | |
|-----------|--|------------------------------------|
| Sidomfång | Språk Svenska Sammandrag på engelska | ISRN |
| 110 | | LUTFD2/TFEM--09/3060--SE + (1-110) |
| ISSN | | ISBN |
| 1102-3651 | | 91-88360-95-4 |

Intern institutionsbeteckning

Rapport 69

| | |
|--|--|
| Organisation, The document can be obtained through | Type of document Report |
| LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies Box 118 SE-221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44 | Date of issue June 2009 |
| | Authors Mikael Lantz Anna Ekman Pål Börjesson |

Title and subtitle

Optimized production of vehicle gas – an environmental and energy system analyses of Söderåsens biogas plant.

Abstract

In this study, an environmental and energy system analysis for a specific biogas plant is presented as well as suggestions and cost calculations for measures that could be implemented in order to optimise the system. The overarching purpose is also to present a model for similar studies of specific biogas plants.

The analysis performed includes direct effects such as use of energy and emissions from the production of biogas, upgrading to vehicle gas, transport of substrate and digestate and storage and handling of digestate. Furthermore, indirect effects such as reduced methane leaching from conventional storage of manure, replacement of mineral fertilizers with digestate etc. are included as well.

The energy balance for production and distribution of vehicle gas from Söderåsens biogas plant is calculated to 5,5 which could be compared to the energy balance for ethanol from wheat which is normally between 2 and 3.

The greenhouse gas emissions are 16 gram CO₂-ekv./kWh, approximately 95 % lower compared to gasoline. In comparison, ethanol from wheat and RME reduce the emissions with some 80 % and 65 % respectively. The result is mainly affected of the methane leakage from the upgrading plant, reduced emissions of N₂O when digestate replaces mineral fertilizers and the assumptions made of how the electricity used in the system was produced.

Regarding eutrophication, the emissions are calculated to 6 gram NO₃⁻-ekv./kWh, primarily originating from storage and handling of digestate, which is somewhat lower than the reported emissions from production of ethanol and RME.

Covering the digestate storages and produce process heat with wood chips, measures estimated to be cost neutral or even profitable for the biogas producer, is calculated to reduce the emissions of greenhouse gases to -13 gram/kWh. If all measures identified would be implemented, the emissions are reduced with 120 % with an extra cost of some ören/kWh vehicle gas.

Keywords

Biogas, vehicle gas, energy balance, greenhouse gases, eutrophication, cost calculations

| | | |
|------------------------|--|--|
| Number of pages 110 | Language Swedish, English abstract | ISRN LUTFD2/TFEM--09/3060--SE + (1-110) |
| ISSN 1102-3651 | ISBN 91-88360-95-4 | |

Department classification

Report No. 69

Förord

Denna studie har initierats av Energimyndigheten och Söderåsens Bioenergi AB och genomförts vid avdelningen för miljö- och energisystemanalys, Lunds Tekniska Högskola. Vi vill särskilt rikta vårt tack till Söderåsens Bioenergi AB och E.ON Gas AB som tillhandahållit anläggnings-specifika data och till Energimyndigheten som finansierat studien.

Lund juni 2009

Mikael Lantz, Anna Ekman och Pål Börjesson

Innehållsförteckning

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Inledning..... | 1 |
| 1.1 | Syfte..... | 1 |
| 1.2 | Systembeskrivning | 1 |
| 1.3 | Metod och avgränsningar..... | 2 |
| 2. | Transport av substrat | 5 |
| 3.1 | Pumpning av slam från Findus..... | 5 |
| 3.2 | Lastbilstransport av olika substrat..... | 6 |
| 3. | Produktion av biogas | 9 |
| 3.1 | Uppvärmning | 9 |
| 3.2 | Elektricitet..... | 10 |
| 3.3 | Fackling..... | 11 |
| 3.4 | Metanläckage..... | 11 |
| 4. | Produktion av fordonsgas | 13 |
| 4.1 | Elektricitet | 13 |
| 4.2 | Metanläckage..... | 14 |
| 5. | Distribution av fordonsgas..... | 15 |
| 5.1 | Distribution i naturgasnätet..... | 15 |
| 5.2 | Tillsats av propan..... | 15 |
| 5.3 | Tankning..... | 16 |
| 6. | Lagring av biogödsel | 17 |
| 7. | Transport av biogödsel | 19 |
| 8. | Spridning av biogödsel..... | 21 |
| 9. | Indirekta effekter | 23 |
| 9.1 | Konventionell lagring och spridning av flytgödsel | 23 |
| 9.2 | Tidigare hantering av slam från Findus | 24 |
| 9.3 | Minskad användning av mineralgödsel..... | 25 |
| 9.4 | Förändrad markpackning och inbindning av kol..... | 26 |
| 9.5 | Ersättning av foder..... | 27 |
| 10. | Resultat och känslighetsanalys | 29 |
| 10.1 | Känslighetsanalys..... | 31 |
| 11. | Förbättringsåtgärder | 37 |
| 11.1 | Förnybar elektricitet | 38 |
| 11.2 | Alternativ uppvärmning | 38 |

| | | |
|----------|--|----|
| 11.3 | Pumpning av flytgödsel och biogödsel..... | 40 |
| 11.4 | Oxidering av metanläckage..... | 41 |
| 11.5 | Täckning av biogödsellager..... | 42 |
| 11.6 | Sammanställning av förbättringsåtgärder..... | 45 |
| 12. | Diskussion..... | 46 |
| 12.1 | Energianvändning..... | 46 |
| 12.2 | Växthusgaser..... | 46 |
| 12.3 | Övergödning..... | 47 |
| 12.4 | Förbättringsåtgärder..... | 47 |
| 13. | Slutsatser..... | 49 |
| 14. | Referenser..... | 52 |
| Bilaga A | Karakteriseringsindex..... | 61 |
| Bilaga B | Primärenergi och emissioner..... | 63 |
| Bilaga C | Pumpning av slam och flytgödsel..... | 67 |
| Bilaga D | Förbränning av biogas..... | 71 |
| Bilaga E | Lagring av flytgödsel..... | 73 |
| Bilaga F | Lagring av biogödsel..... | 77 |
| Bilaga G | Spridning av olika gödselmedel..... | 79 |
| Bilaga H | Markpackning och markkol..... | 81 |
| Bilaga I | Ersättning av mineralgödsel..... | 87 |
| Bilaga J | Ersättning av foder..... | 89 |

1. Inledning

I Sverige ses produktion och användning av biogas som ett intressant sätt att minska emissionerna av växthusgaser och andra föroreningar samt att reducera beroendet av olja inom transportsektorn. Biogas lyfts till exempel fram i den parlamentariska klimatberedningen (SOU, 2008) som förordar olika stöd till produktion och användning av biogas och särskilt då som fordonsbränsle. Det är dock viktigt att de biogassystem som introduceras i Sverige är så effektiva som möjligt. Samtidigt kan biogasproduktion ske utifrån en rad olika substrat, med olika tekniska lösningar och den producerade biogasen och biogödseln kan avsättas på olika sätt (Lantz et al., 2007). Det är därför viktigt att respektive system optimeras utifrån sina förutsättningar. Innan det är möjligt att genomföra en optimering krävs det dock att nuläget analyseras för att identifiera vilka åtgärder som kan ha störst betydelse och samtidigt vara ekonomiskt och praktiskt rimliga.

1.1 Syfte

Syftet med föreliggande studie är att presentera en energi- och miljösystemanalys för en specifik biogasanläggning. Utifrån dessa analyser identifieras de aktiviteter som har störst betydelse för det aktuella biogassystemets energi- och miljöeffektivitet. Därefter beskrivs åtgärder för att optimera systemet samt kostnaderna för sådana åtgärder. En övergripande målsättning är också att studien ska kunna fungera som modell för kommande energi- och miljösystemstudier av andra specifika biogasanläggningar

1.2 Systembeskrivning

Föreliggande systemanalys baseras på en samrötningsanläggning utanför Bjuv i Skåne som driftsattes vid årsskiftet 2006/2007. Biogasanläggningen ägs av Söderåsens Bioenergi AB och uppgraderingsanläggningen ägs av E.ON Gas AB. Hädanefter benämns dessa båda anläggningar gemensamt som Söderåsens biogasanläggning. Biogasanläggningen är dimensionerad för att behandla cirka 65 000 ton substrat av olika slag. En stor del av det substrat som hanteras på anläggningen idag består av slam och grönsaksavfall med mera från Findus som ligger några km från biogasanläggningen. Slammet kommer från Findus interna reningsverk och pumpas till biogasanläggningen. Därutöver tillförs substrat i form av slakteriavfall och svingödsel med mera som transporteras med lastbil.

De olika substraten blandas i en mottagningstank innan de via ett hygieniseringssteg pumpas in i röt-kammaren. Efter en uppehållstid på 20 – 25 dygn under mesofila förhållanden pumpas materialet, via värmeväxlare, in till en efterrötkammare där biogas också samlas in samtidigt som materialet svalnar. Slutligen förs den producerade biogödseln till något av anläggningens lager där den lagras tills det är dags att sprida den på åkermark i närheten av anläggningen. Den biogas som produceras på anläggningen uppgraderas och distribueras via naturgasnätet för att sedan säljas som fordonsbränsle.

Föreliggande analys omfattar perioden från den 1/7 2007 till den 30/6 2008. Under den perioden har anläggningen rötat drygt 50 000 ton substrat och injekterat 21,5 GWh CH₄ på naturgasnätet. Observera att analysen baseras på data från anläggningens första år och uppgifterna kan därför ha påverkats av eventuella uppstartsproblem. Samtidigt förändras förutsättningarna för den här typen av biogasanläggningar kontinuerligt i och med att substrattillförseln kan variera betydligt över tiden. Resultaten ska därför ses som en mer eller mindre föränderlig ögonblicksbild.

1.3 Metod och avgränsningar

Den aktuella energi- och miljösystemanalysen inkluderar produktion och distribution av fordonsgas från Söderåsens biogasanläggning. Systemgränsen sätts dock omedelbart efter tankning och förbränningen av biogasen inkluderas inte. Energianalysen baseras på primärenergi och miljöanalysen inkluderar emissioner som påverkar växthuseffekten samt övergödning. Emissionerna av växthusgaser från biogassystemet ställs dock i relation till de emissioner som uppkommer då fossila drivmedel förbränns.

Tidigare systemanalyser av biogassystem, se till exempel Börjesson och Berglund (2006; 2007) och Berglund och Börjesson (2006), har identifierat såväl direkta som indirekta källor till emissioner och energianvändning. De direkta effekterna avser användningen av olika energibärare vid produktionsanläggningen och vid transporter av olika slag samt emissioner av växthusgaser från biogasanläggningen, biogödsellager och spridning av biogödsel med mera. I föreliggande systemanalys beräknas de direkta effekterna på motsvarande sätt och de presenteras utifrån olika aktiviteter i biogassystemet.

Systemgränsen sätts vid fabriksgrindarna eller motsvarande där de olika substraten uppkommer. De aktiviteter som inkluderas i analysen av de direkta effekterna är *transport av substrat, produktion av biogas, uppgradering, distribution av fordonsgas* samt *lagring av biogödsel och spridning av biogödsel*. Då substraten som hanteras på biogasanläggningen är sådana som skulle ha producerats oavsett om det funnits en biogasanläggning eller inte antas därmed att de inte för med sig någon energianvändning eller några emissioner in i biogassystemets direkta effekter.

Den elektricitet som används i biogassystemet antas i basfallet vara svensk medel och uppvärmningen av biogasanläggningen sker med biogas.

Indirekta effekter uppstår när ett biogassystem jämförs med olika alternativa system. Ett sådant system kan vara konventionell hantering av flytgödsel. Om gödseln används för att producera biogas istället för att lagras i konventionella flytgödselbrunnar i väntan på spridning kan till exempel emissionerna av CH₄ minska (Börjesson och Berglund, 2007).

En annan indirekt effekt som kan uppstå i anslutning till olika biogassystem är att användningen av mineralgödsel i lantbruket skulle kunna minska när växtnäring som finns i olika avfallsfraktioner blir tillgängliga för spridning på åkermark. En del av denna växtnäring hade dock varit tillgänglig om avfallet komposterats istället. Börjesson och Berglund (2007) låter därför biogassystemet tillgodogöra sig differensen mellan biogasproduktion och andra behandlingsalternativ. Föreliggande studie är dock ingen generell systemanalys där olika behandlingsalternativ ska ställas mot varandra. Här genomförs istället en fallstudie som kan ligga till underlag för en mer generell systemanalys där sådana jämförelser inkluderas. Däremot inkluderas de effekter som biogassystemet ger i de system som genererar substrat eller tar emot biogödsel enligt vad som beskrivs nedan.

För avfall från livsmedelsindustrier och liknande antas som tidigare beskrivits att dessa ”nollas” vid systemgränsen och att de inte för med sig några emissioner eller energiinsatser in i systemet. Detta antagande bygger på att huvudproduktionen som genererat avfallet får bära hela kostnaden fram till fabriksgrinden. Här antas också att avfallet lämnar industrin oavsett hur det ska behandlas och att verksamheten innanför grindarna inte påverkas av behandlingsmetoden.

När det gäller flytgödsel finns det normalt inte några krav på behandling utöver att lantbrukaren ska ha tillgång till en viss lagringskapacitet och en tillräcklig spridningsareal. Konventionell hantering av flytgödsel innebär därför lagring under svämtäcke i otäckta brunnar och spridning på åkermark inklusive transport till den aktuella spridningsarealen. Dessa aktiviteter för med sig användning av energi och olika emissioner.

När biogassystemets direkta effekter beräknas antas att flytgödseln är tillgänglig på gården utan att föra med sig några emissioner eller någon energianvändning och den fortsatta hanteringen av biogödseln belastar biogassystemet. Då behandling av flytgödsel medför ett avsteg från gängse animalieproduktion inkluderas dock differensen mellan att inte behandla gödseln och att använda den för biogasproduktion som en indirekt effekt i biogassystemet.

Söderåsens biogasanläggning tillförs också slam som pumpas till anläggningen från Findus reningsverk. Då detta substrat är en viktig anledning till att biogasanläggningen ligger på den aktuella platsen och det inte bedöms vara relevant att jämföra med andra behandlingsmetoder inkluderas differensen mellan den tidigare slamhantering och det nuvarande biogassystemet som en indirekt effekt.

Vidare antas att mängden näring som används vid växtodling är konstant och att den flytgödsel som produceras i animalieproduktionen måste spridas på åkermark. Detta medför att den växtnäring som finns i biogödseln antas ersätta mineralgödsel. Den växtnäring som finns tillgänglig i flytgödseln beaktas dock inte då den skulle ha använts oavsett om det producerats biogas eller inte. På samma sätt inkluderas inte den växtnäring som tidigare tillfördes åkermark i form av avvattnat slam från Findus reningsverk.

Biogassystemet tillförs också en del grönsaksrester som tidigare användes som foder, framförallt morötter. Detta substrat belastar biogassystemet med den energiinsats och de emissioner som krävs för att producera motsvarande mängd foder.

I biogassystemet inkluderas också sådan påverkan på den aktuella åkermarken som kan uppstå när biogödsel ersätter mineralgödsel såsom förändrad markpackning och kolinbindning.

Sammanfattningsvis inkluderas indirekta effekter i form av en *förändrad gödselhantering, ersättning av mineralgödsel, ersättning av foder samt markeffekter.*

Rapporten avslutas med en redovisning av ett antal förslag på förbättringsåtgärder samt kostnadsbedömningar av dessa åtgärder där de ekonomiska analyserna genomförs med traditionella kalkylmetoder så som annuitetsmetoden.

2. Transport av substrat

Under det år studien omfattar tillfördes Söderåsens biogasanläggning drygt 50 000 ton substrat i form av slam från reningsverket på Findus, olika typer av avfall och biprodukter samt flytgödsel, se också Tabell 1. Slammet från Findus pumpades till biogasanläggningen och övriga substrat transporterades med olika typer av lastbilsekipage. I det följande kapitlet presenteras en närmare beskrivning av logistiksystemet samt dess energibehov och emissioner.

Observera att enligt biogasanläggningens flödesmätare pumpades drygt 56 000 m³ substrat in i reaktorn vilket antas motsvara ungefär lika många ton. Differensen beror sannolikt på en viss mätosäkerhet i flödesmätare och i de olika lastbilarnas vågceller. Knutsson (2008) bedömer också att flödesmätarna visar något högt och att de värden som redovisas av åkarna kan vara något i underkant. I föreliggande studie sker dock inte någon justering av angivna data. Därför baseras logistikanalysen på de värden som uppges av åkarna samtidigt som substrathanteringen på och efter biogasanläggningen baseras på anläggningens mätningar.

Tabell 1: Substrat till Söderåsens biogasanläggning (1 år)

| Substrat | Omfattning (ton) |
|------------------|------------------|
| Slam från Findus | 24 100 |
| Flytgödsel | 3 100 |
| Slakteriavfall | 7 000 |
| Övrigt | 16 200 |
| Totalt | 50 400 |

3.1 Pumpning av slam från Findus

Slammet från Findus avloppsreningsverk är det volymmässigt viktigaste substratet för biogasanläggningen. Slammet, som håller en TS-halt på 2 – 4 %, pumpas idag från Findus i en cirka 2 km lång tryckledning. Pumpningen sker med eldrivna pumpar och i bilaga C finns en längre beskrivning av förutsättningarna för att pumpa slam och liknande substrat. Där konstateras bland annat att energianvändningen kan variera avsevärt beroende på slammets egenskaper, strömningshastighet, ledningens dimensioner och utförande med mera. På grund av dessa faktorer samt att litteraturdata ofta baseras på beräkningar och inte faktisk energianvändning har den faktiska förbrukningen av elektricitet mätts upp inom ramen för denna studie.

Resultatet av mätningarna visar att förbrukning av elektricitet i genomsnitt är cirka 0,2 kWh/ton och km för att pumpa slammet vilket ger en total användning av elektricitet på 10,6 MWh per år.

I energi- och miljöanalysen används den uppmätta förbrukningen av elektricitet, se Tabell 2 som i basfallet antas vara svensk elmix. Det innebär att emissionerna sätts till 38 gram CO₂-ekvivalenter och 0,17 gram NO₃⁻-ekvivalenter/kWh. Samtidigt antas att 1 kWh elektricitet motsvarar 2,1 kWh primärenergi. Se bilaga B för en mer omfattande redogörelse för primärenergibegreppet samt referenser på de emissionsdata som används här.

Tabell 2: Pumpning av slam från Findus

| | Förbrukning | Primärenergi | Emissioner | |
|--------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Elektricitet | 10,6 MWh | 22,3 MWh | 0,4 ton | 1,8 kg |

3.2 Lastbilstransport av olika substrat

Transporterna av substrat in till biogasanläggningen har under den analyserade perioden skett med ett antal olika lastbils ekipage från flera olika åkerier. För att transportera pumpbara substrat så som flytgödsel och slakteriavfall har tankbilar med och utan släp använts. När det gäller slam från fettavskiljare med mera har speciella slamsugbilar använts och dessutom har en del fast substrat transporterats med olika flakbilar.

Generellt kan det konstateras att drivmedelsförbrukningen varierar beroende på en rad olika faktorer som körhastighet, typ av fordon och motor, lastens vikt och förarens körsätt (Berglund och Börjesson, 2003).

Bränsleförbrukning och emissioner har här beräknats med hjälp av *Handbook Emissions Factors for Road Transport* (HBEFA, 2004) som består av en emissionsdatabas och olika beräkningsrutiner. Här har antagits att alla transporter sker på landsväg och resultatet redovisas i Tabell 3. Den angivna bränsleförbrukningen är ett genomsnitt som förutsätter full last in till anläggningen och tomma returtransporter. Däremot har bränsleförbrukningen för att lasta och lossa lastbilarna inte inkluderats här.

Tabell 3: Drivmedelsförbrukning och emissioner av växthusgaser för olika viktclasser (HBEFA, 2004)

| Viktclass | Diesel (kWh/km) | CO ₂ (g/km) | NO _x (g/km) |
|--------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| 7,5 – 12 ton | 1,61 | 417 | 3,63 |
| 14 – 20 ton | 2,03 | 527 | 4,82 |
| 34 – 40 ton | 3,25 | 841 | 7,54 |

De åkare som kontaktats i föreliggande studie anger dock en betydligt högre bränsleförbrukning. I Tabell 4 redovisas uppskattad bränsleförbrukning baserat på uppgifter från Johansson (2008) och Ljungars (2008). Denna förbrukning stämmer också väl överens med de intervjuer som redovisas av Hammarström och Yahya (2000). De emissioner som redovisas i Tabell 4 förutsätter att emissionerna är de samma per kWh diesel som i Tabell 3. Då syftet med föreliggande studie är att använda platsspecifika data används åkarnas uppgifter som basfall. De beräknade värden som redovisats i Tabell 3 används dock i känslighetsanalysen.

Tabell 4: Drivmedelsförbrukning och emissioner för olika viktclasser (Johansson, 2008; Ljungars, 2008)

| Viktclass | Diesel (dm ³ /mil) | Diesel (kWh/km) | CO ₂ (g/km) | NO _x (g/km) |
|--------------|-------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| 7,5 – 12 ton | 3 - 3,5 | 3 - 3,5 | 776 - 906 | 6,8 - 7,9 |
| 14 – 20 ton | 4 | 4 | 1 038 | 9,5 |
| 34 – 40 ton | 4,5 - 5,5 | 4,5 - 5,5 | 1 164 – 1 423 | 10,4 - 12,8 |

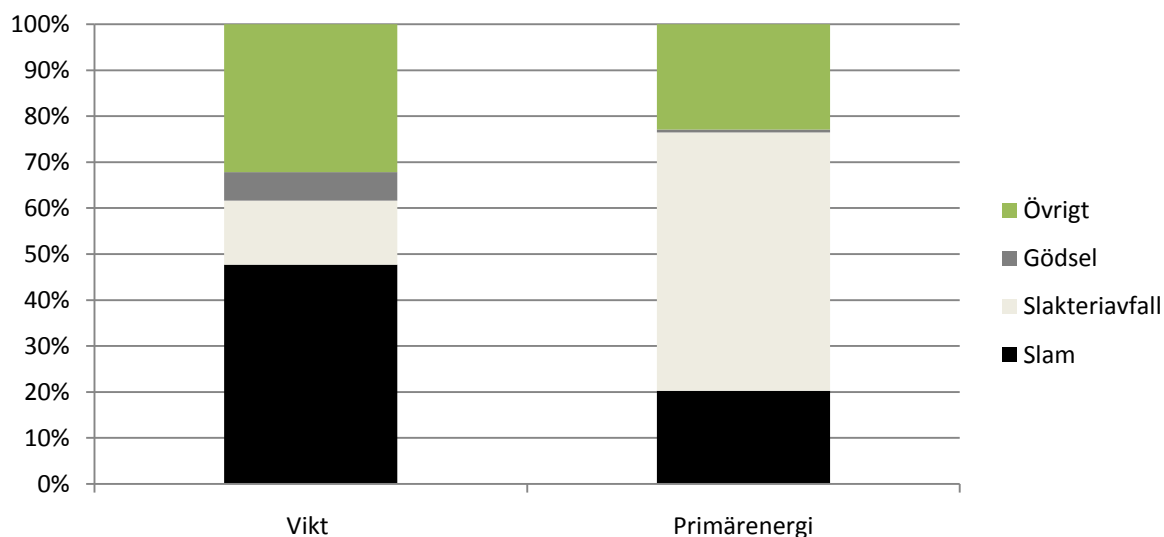
När det gäller lastning och lossning av flytgödsel, slakteriavfall och liknande pumpbara substrat så sker detta med pumpar som drivs med lastbilsmotorn. Dieselförbrukningen antas vara 15 dm³/h (Eveborn *et al.*, 2008; Ljungar, 2008). Hur lång tid det tar att lasta och lossa beror dels på substratets egenskaper och dels på hur långt det måste pumpas. När det gäller flytgödsel antas här att det tar 3 minuter att lasta och lossa (Ekdalen, 2008). För slakteriavfall antas 15 minuter för att lasta och 3 minuter för att lossa. I båda fallen handlar det om bilar som lastar cirka 35 m³.

I Tabell 5 nedan sammanfattas energibehov och emissioner för att transportera de olika substratkategorierna inklusive energibehovet för lastning och lossning. Primärenergifaktorn för diesel har här satts till 1,1, se också bilaga B. De redovisade emissionerna avser hela bränslecykeln

inklusive produktion och distribution, se bilaga B. I Figur 1 presenteras också de olika substratens bidrag till den totala energiförbrukningen. Framförallt framgår att slakteriavfallet transporteras förhållandevis långa sträckor och bidrar till en relativt stor del av den totala bränsleförbrukningen. Slakteriavfallet är dock mycket energirikt och kan ur energisynpunkt därför transporteras långa sträckor. Berglund och Börjesson (2003) har till exempel visat att slakteriavfall kan transporteras 750 km innan energibalansen blir negativ och det är betydligt längre än dagens transportavstånd.

Tabell 5: Lastbilstransport av olika substrat

| Substrat | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|----------------|-------------------|----------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Gödsel | 3 100 ton | 7 MWh | 2 ton | 20 kg |
| Slakteriavfall | 7 000 ton | 610 MWh | 150 ton | 1 850 kg |
| Övrigt | 16 200 ton | 280 MWh | 70 ton | 870 kg |
| Totalt | 26 300 ton | 900 MWh | 223 ton | 2 740 kg |



Figur 1: De olika substratens bidrag till den totala substrattillförseln respektive den totala bränsleförbrukningen

3. Produktion av biogas

Med produktion av biogas avses här de aktiviteter som sker inne på biogasanläggningen när substratet väl har anlänt. Som exempel kan nämnas att pumpning av slam från Findus inte inkluderas här men däremot inkluderas avvattningen av slammet eftersom det sker på anläggningen. Energibehov och emissioner är därför huvudsakligen kopplade till omrörning och pumpning, uppvärmning samt fackling och läckage av metan. Här inkluderas också utpumpning av biogödsel till lagren. På gassidan ingår all gashantering fram till uppgraderingsanläggningen.

3.1 Uppvärmning

Biogasanläggningen drivs under mesofila förhållanden vilket innebär en processtemperatur på cirka 37 °C. Då anläggningen tar emot olika typer av avfall krävs det dock att substratet hygieniseras vilket sker genom att substratet hettas upp till 70 °C i minst en timme (EG, 2002). För att inte temperaturen på substratet ska vara för hög innan det pumpas in i reaktorn sker det en värmeväxling mot inkommande substrat. Dessutom sker en värmeväxling mellan materialet som lämnar reaktorn och inkommande substrat. Den värme som tillsätts i hygieniseringssteget produceras i en gaspanna som drivs med biogas.

I dagsläget finns det inte någon separat mätning av hur mycket biogas som används för uppvärmning. Schablonmässigt räknar anläggningen dock med att det krävs cirka 25 kWh värme/ton substrat (Bucchave, 2007). I praktiken beror naturligtvis värmebehovet på vilken temperatur det inkommande substratet håller, hur välisolerad reaktorn är och effektiviteten på de olika värmeväxlarna. Det kan därför vara svårt att direkt jämföra dessa uppgifter med andra anläggningar och beräkningar. Som exempel kan dock nämnas att Norin (2007) beräknar värmebehovet till 17 kWh/ton substrat i en större mesofil anläggning med hygienisering. Här inkluderas dock inte några transmissionsförluster från reaktor och värmeväxlare med mera. Det antas också att rötresten växlas ned till 25 °C och på Söderåsens biogasanläggning håller den utgående rötresten cirka 32 °C. Samtidigt anger Berglund och Börjesson (2003) att värmebehovet i en så kallad central anläggning, som drivs under mesofila förhållanden, kan variera mellan 15 – 26 kWh/ton substrat och i sin systemanalys använder man 23,5 kWh/ton. Som jämförelse är vattens värmekapacitet 4,18 kJ/kg och grad (Ingelstam et al., 1999) vilket innebär att det behövs 1,16 kWh för att värma 1 m³ vatten 1 grad. För material som innehåller en del torrsbstans sjunker värmebehovet något (Lantz, 2007).

För tyska exempelanläggningar anger FNR (2006) ett beräknat värmebehov som varierar mellan 40 – 90 kWh/ton substrat. Detta är avsevärt högre än vad som angetts ovan och exakt varför har inte kunnat utläsas ur referensmaterialet. Det framgår dock att de tyska anläggningarna inte använder värmeväxlare och att de nästan uteslutande tar in gödsel, energigrödor och liknande substrat som sannolikt har en lägre temperatur än vissa industriavfall. Dessutom producerar de tyska anläggningarna kraftvärme och har ofta betydande värmeöverskott. Eventuellt innebär det att dessa anläggningar inte är isolerade på samma sätt som de svenska. Svahn (2006) har till exempel visat att isoleringens tjocklek samt i vilken utsträckning grunden är isolerad har stor betydelse för värmeförlusterna från anläggningen.

Här sätts värmebehovet till 25 kWh/ton substrat. Med en antagen verkningsgrad på 96 % i gaspannan motsvarar det 26 kWh biogas/ton substrat. Med en bedömd tillförsel på 56 000 ton används därmed 1 460 MWh biogas för att värma processen. Emissionerna från biogaspannan sätts till 2,5 gram CO₂-ekv. respektive 0,1 gram NO₃⁻-ekvivalenter/kWh, se också bilaga E.

Värme från biogas ingår inte i energibalansen eftersom nettoproduktionen anges exklusive denna.

Tabell 6: Förbränning av biogas för processvärme

| | Förbrukning | Primärenergi | Emissioner | |
|---------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Biogas | 1 460 MWh | – | 4 ton | 150 kg |

3.2 Elektricitet

På en biogasanläggning används elektricitet för omrörning, pumpning, ventilation, belysning och personalutrymmen med mera. Det faktiska behovet beror i stor utsträckning på vilken typ av substrat som används och hur anläggningen är utformad. Användningen av elektricitet uttryckt som kWh/ton substrat kan därför variera avsevärt mellan en anläggning som enbart hanterar flytgödsel och en anläggning som behandlar hushållsavfall och liknande substrat.

Under det år som föreliggande studie baseras på användes cirka 470 MWh elektricitet för att driva Söderåsens biogasanläggning. Detta motsvarar cirka 8,4 kWh/ton substrat som pumpats in i reaktorn eller cirka 2 % av biogasproduktionen.

Som jämförelse kan nämnas att Anker Thyø och Wenzel (2007) i en livscykelanalys för biogas från gödsel respektive majs anger att elbehovet är cirka 5 % av bruttoproduktionen när anläggningen är baserad på gödsel. En majsbaserad anläggning sägs förbruka mindre än 2 % av bruttoproduktionen. Detta kan jämföras med uppgifter från FNR (2006) där elbehovet i sex olika beräkningsexempel varierar från 3 – 7 % av den producerade biogasen. Lägst behov har en anläggning där substratet består av flytgödsel samt en del ensilage och högst behov har en anläggning som bland annat behandlar en del matavfall. Utslaget per ton substrat varierar behovet från 2 – 13 kWh elektricitet/ton där en anläggning som nästan uteslutande hanterar flytgödsel har lägst behov och anläggningen som bland annat hanterar matavfall har högst. Samtidigt har Berglund och Börjesson (2003) sammanställt data om elbehovet vid biogasproduktion från ett antal olika rapporter, huvudsakligen svenska. Som basfall i sin systemanalys använder de 8 kWh per ton substrat vilket alltså ligger i nivå med vad som anges här.

Här används förbrukningen 470 MWh motsvarande 987 MWh primärenergi, se bilaga B.

Tabell 7: Användning av elektricitet vid biogasproduktion

| | Förbrukning | Primärenergi | Emissioner | |
|---------------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Elektricitet | 470 MWh | 990 MWh | 18 ton | 80 kg |

3.3 Fackling

För att inte riskera att släppa ut metan vid eventuella driftstopp i uppgraderingsanläggningen är biogasanläggningen utrustad med en fackla som ska förbränna överskottsgas och därigenom omvandla metan till koldioxid. Under det år som ingår i denna studie facklades 75 000 m³ biogas vilket motsvarar cirka 2 % av den totala produktionen. Huvuddelen facklades dock under hösten 2007 då uppgraderingsanläggningen drabbades av ett par större driftsstörningar.

I föreliggande studie har det inte gått att identifiera några emissionsdata från facklor och enligt Jarhein (2007) finns det flera olika tekniska lösningar för facklor med skiftande kvalitet. Det finns dock inte några garanterade emissionsdata ens för de dyrare lösningarna. Här antas att emissionerna är de samma som för gaspannan vilket förmodligen är ett optimistiskt antagande.

Tabell 8: Emissioner vid fackling

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|----------|------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO _x -ekv. |
| Fackling | 540 MWh | – | 1,3 ton | 60 kg |

3.4 Metanläckage

Vid produktion av biogas kan det uppstå läckage från en mängd olika komponenter. Avfall Sverige driver ett projekt där biogasanläggningar kan delta på frivillig basis. I projektet ingår bland annat att identifiera och kvantifiera läckage. Som exempel på delar av en anläggning som bör ingå i en sådan undersökning nämns ventilation från byggnader och tankar som inte är anslutna till anläggningens gassystem. Det kan till exempel handla om mottagningshallar, mottagningstankar och bladningstankar. Andra intressanta objekt är bräddavlopp och axelfästningar för omrörare, manluckor och säkerhetsventiler med mera (Avfall Sverige, 2007). Söderåsens biogasanläggning deltar i det frivilliga åtagandet och mätningar som genomförts under våren 2008 visade på ett metanläckage motsvarande 0,17 % av den producerade biogasen från biogasanläggningens ventilationssystem (Ivarsson, 2008). Observera att här ingår inte eventuellt läckage från uppgraderingen. För övriga anläggningar som deltar i det frivilliga åtagandet redovisas emissioner från < 1 % upp till < 8 %. För drygt 70 % av anläggningarna redovisas dock läckage under 2 % av den producerade biogasen (Holmgren, 2008). Söderåsens biogasanläggning finns därmed bland de allra bästa anläggningarna av de som undersökts vilket inte är särskilt förvånande då det är en av de nyaste anläggningarna. Med en bedömd total produktion på drygt 2,4 miljoner m³ metan uppgår läckaget till 4 150 m³, se också Tabell 9.

Med en densitet på 0,71 kg/Nm³ (Näslund, 2004) motsvarar läckaget 2,9 ton CH₄ vilket motsvarar 73,6 ton CO₂-ekvivalenter, se också bilaga A.

Utöver att läckaget av CH₄ ger upphov till betydande mängder CO₂-ekvivalenter medför det också att den producerade mängden biogas minskar vilket påverkar energibalansen negativt. Läckaget i sig ses dock inte som förbrukning av energi i energianalysen utan innebär en reducerad nettoproduktion.

Tabell 9: Läckage av CH₄ vid biogasproduktion (exklusive uppgradering)

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|----------------------------|------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO _x -ekv. |
| Läckage av CH ₄ | 2,9 ton | | 74 ton | |

4. Produktion av fordonsgas

När biogasen lämnar reaktorn innehåller den cirka 70 % CH₄ och 30 % CO₂ samt en del föroreningar i form av till exempel svavelväte. För att uppfylla svensk standard för fordonsbränsle krävs det dock att biogasen uppgraderas vilket bland annat innebär att metanhalten måste vara cirka 97 % (Gasföreningen, 2005).

Det finns idag ett antal olika tekniker för att avskilja koldioxiden och på så sätt uppgradera biogasen till fordonsgas (Benjaminsson, 2006; Persson, 2003). Idag är vattenskrubber den vanligaste tekniken i Sverige (Dahlgren, 2008) då den finns installerad på 25 av 34 anläggningar. Därefter kommer PSA (*Pressure Swing Adsorption*) som finns installerad på 7 anläggningar och bland annat på Söderåsens biogasanläggning. Slutligen finns också 2 stycken anläggningar som utnyttjar kemisk absorption. Då fokus i föreliggande studie ligger på Söderåsens biogasanläggning beskriv här endast tekniken med PSA. För en beskrivning av övriga tekniker hänvisas till exempel till Persson (2003) och Benjaminsson (2006).

I korthet utnyttjar en PSA-anläggning att metan och koldioxid har olika molekylstorlek vilket påverkar deras genomträngningsförmåga i olika material. Uppgraderingen inleds med att vatten, partiklar och svavelväte avskiljs samt att biogasen komprimeras. Därefter leds den genom ett antal kolonner som är fyllda med aktivt kol där koldioxiden adsorberas. När fyllnadsmaterialet i en kolonn är nästintill mättat leds biogasen till nästa kolonn och regenereringen av adsorptionsmaterialet påbörjas. Inledningsvis sänks trycket i flera steg till atmosfärstryck. Då detta sker avgår huvuddelen av den koldioxid som bundits in men också en del metan. Gasbladningen leds därför tillbaka till rågasflödet för att passera ytterligare en gång genom anläggningen. Därefter skapas vakuum i kolonnen vilket medför att ytterligare gas kan avskiljas från adsorptionsmaterialet. Denna sista restgas släpps ut från anläggningen och då det fortfarande finns små mängder metan kvar i gasen leder detta till ett visst metanläckage.

4.1 Elektricitet

Den aktuella uppgraderingsanläggningen förbrukar elektricitet för komprimering och för att generera vakuum med mera. Enligt uppgifter från anläggningsägaren (Fischer, 2008) uppgår förbrukningen till 4 % av den producerade mängden uppgraderad biogas. Med en produktion på 21,5 GWh uppgraderad biogas innebär det en elförbrukning på 860 MWh. Detta kan jämföras med uppgifter som sammanställts av Persson (2003) där ett antal anläggningar uppger att behovet av elektricitet för uppgradering varierar mellan 0,3 och 0,6 kWh/Nm³ uppgraderad biogas. Med ett energiinnehåll på 9,67 kWh/Nm³ motsvarar det cirka 3 till 6 % av den producerade mängden uppgraderad biogas. När olika leverantörer intervjuats i samma studie uppger dessa att behovet av elektricitet kan variera mellan 1,6 till 9,3 % av den producerade mängden uppgraderad biogas beroende på teknik och skala. Jämfört med de data som anges av de olika anläggningarna ligger Söderåsens biogasanläggning väl inom det angivna intervallet.

Tabell 10: Förbrukning av elektricitet vid uppgradering

| | Förbrukning | Primärenergi | Emissioner | |
|--------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Elektricitet | 860 MWh | 1 810 MWh | 33 ton | 150 kg |

4.2 Metanläckage

När biogas uppgraderas med PSA uppkommer det ett metanläckage i den restgas som lämnar anläggningen. Kravet på leverantören är ett metanläckage på maximalt 2 % (Fischer, 2008). Mätningar som genomförts visar dock på ett läckage på 1,4 % av den producerade mängden uppgraderad biogas (Ivarsson, 2008). Jämfört med de andra uppgraderingsanläggningar som deltog i undersökningen visade Söderåsens biogasanläggning ett lågt läckage (Holmgren, 2008).

Då uppgraderingsanläggningen tillfördes cirka 2 180 000 m³ under den aktuella perioden innebär det att läckaget uppgått till cirka 30 000 m³ CH₄ eller 21,5 ton CH₄ (Näslund, 2004). Uttryckt som CO₂-ekvivalenter uppgår läckaget därmed till 538 ton CO₂-ekvivalenter, se bilaga A.

Utöver att läckaget av CH₄ ger upphov till ett betydande bidrag av växthusgaser medför det också att den producerade mängden biogas minskar vilket påverkar energibalansen negativt. Läckaget i sig ses dock inte som förbrukning av energi i energianalysen utan innebär en reducerad nettoproduktion.

Tabell 11: Läckage av CH₄ från uppgradering

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|----------------------------|------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ -ekv. |
| Läckage av CH ₄ | 21,5 ton | | 540 ton | – |

5. Distribution av fordonsgas

Den fordonsgas som produceras vid Söderåsens biogasanläggning distribueras via naturgasnätet vilket innebär att varje kWh gas som matas in vid biogasanläggningen kan tas ut på valfri plats vid det svenska naturgasnätet. På samma sätt som det är möjligt att köpa en viss typ av elektricitet från elnätet är det därmed också möjligt att köpa biogas via naturgasnätet.

5.1 Distribution i naturgasnätet

Det svenska naturgasnätet består av transmissions- och distributionsnät i olika utföranden. Transmissionsnätet är i stål och gasen transporteras vid ett tryck på upp till 80 bar. I det följande distributionsnätet sänks trycket till 4 bar och i vissa fall ända ned till 100 mbar (SGC, 2005).

Läckage uppkommer delvis kontinuerligt vid otäta rörskarvar och liknande och dels tillfälligt vid reparations- och underhållsarbeten. Emissionerna av naturgas från det svenska naturgasnätet uppskattas av Jensen (1993) till 0,002 % från transmissionsnätet och 0,32 % från distributionsnätet. En mycket stor del av läckaget från distributionsnäten sker dock i de gamla stadsgasnäten i Malmö och Göteborg. Enligt SGC (2005) är det höga läckaget från distributionsnätet dock inte representativt för svenska förhållanden, i synnerhet inte som det sker och har skett omfattande förbättringar i de aktuella stadsgasnäten. Istället anges ett läckage på 0,002 % från transmissionsnätet och att emissionerna från distributionsnätet är försumbara.

Här antas att distributionsförlusterna är mycket marginella och dessa inkluderas därför inte i den fortsatta analysen.

5.2 Tillsats av propan

För att få injektera den uppgraderade biogasen på naturgasnätet räcker det inte att gasen uppfyller standarden för fordonsgas. Dessutom krävs det att den har samma egenskaper som naturgas (Gasföreningen, 2005; Kristensson *et al.*, 2007). I Sverige matas all naturgas in på nätet i Klagshamn i Skåne vilket innebär att all naturgas har samma kvalitet. I Tabell 12 presenteras ett exempel på värmevärde och Wobbeindex för uppgraderad biogas och naturgas där det framgår att uppgraderad biogas har ett något lägre energiinnehåll. För att biogasen ska ha samma egenskaper som naturgas tillsätts därför propan. Detta är dock inte en teknisk fråga i första hand utan handlar mer om att skapa ett likvärdigt energiinnehåll per volymenhet för debiteringsändamål (Kristensson *et al.*, 2007).

Tabell 12: Egenskaper hos uppgraderad biogas vs naturgas (Kristensson *et al.*, 2007)

| | Uppgraderad biogas | Naturgas |
|---|--------------------|----------|
| Undre värmevärde (kWh/Nm ³) | 9,67 | 10,99 |
| Undre Wobbeindex (kWh/Nm ³) | 12,71 | 13,81 |

Vid Söderåsens biogasanläggning tillsätts 7 – 8 % propan till den uppgraderade biogasen innan den injekteras på naturgasnätet. Här antas att tillsatsen är 7,5 % vilket innebär drygt 160 000 m³ propan eller cirka 4,2 GWh.

Propanen injekteras på naturgasnätet tillsammans med den uppgraderade biogasen och i miljöanalysen är det därför nödvändigt att beakta vilken energibärare som ersätts av denna propan.

Ett alternativ är att naturgas ersätts vilket innebär att varje MWh propan som injekteras minskar importen av naturgas med en MWh. Med detta antagande ska biogasproduktionen belastas med differensen mellan naturgas och propan. Detta medför i första hand att emissionerna av växthusgaser ökar eftersom propan genererar mer CO₂ än naturgas per MWh.

Ett annat alternativ är att propanen inkluderas i fordonsgasen och säljs som fordonsbränsle tillsammans med biogasen. Med detta antagande kommer propanen att förbättra fordonsgasens CO₂-effektivitet eftersom propan genererar mindre emissioner av växthusgaser än bensin och diesel.

Då den uppgraderade biogasen i det aktuella fallet distribueras via naturgasnätet och tankstationerna är anslutna till naturgasnätet finns det dock alltid en möjlighet att tanka naturgas. Här antas därför att den tillsatta propanen i första hand ersätter naturgas och därmed ökar emissionerna med **25,4 gram CO₂-ekvivalenter/kWh**, se också bilaga B. Emissionerna av NO₃⁻-ekvivalenter antas vara de samma som för naturgas och inkluderas därför inte i analysen (Uppenberg *et al.*, 2001). Med en primärenergifaktor på 1,1, se bilaga B, motsvarar den injekterade mängden propan 4,6 GWh primärenergi. Primärenergifaktorn är dock den samma för naturgas och därmed blir det inte någon skillnad i nettoeffekt. Propan inkluderas därför inte i biogassystemets energibalans.

Tabell 13: Injektion av propan

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|--------|------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Propan | 4 200 MWh | – | 110 ton | – |

5.3 Tankning

Biogas som används i fordon komprimeras till cirka 200 bar. Enligt Karlsson (2008) krävs det cirka 0,25 kWh elektricitet/Nm³ för denna komprimering. Om övriga kringssystem på tankstationen, så som belysning och betalsystem, inkluderas uppskattar Karlsson (2008) att behovet stiger till 0,35 kWh/Nm³. Kringssystemens andel av elförbrukningen beror dock i stor utsträckning på hur mycket fordonsgas som omsätts på stationen. Samtidigt anger Persson (2003) att elbehovet för högtryckskomprimering är 0,28 till 0,4 kWh/Nm³ fordonsgas. Berglund och Börjesson (2003) uppger att elbehovet i kompressorn svarar mot 0,2 kWh. Slutligen uppger Lloyd (2008) att elbehovet varierar mellan 0,34 – 0,42 kWh/Nm³ för en normalstor tankstation och att det är ungefär samma behov oavsett om det handlar om långsamtankning av bussar eller snabbtankning av personbilar. Här sätts elbehovet för tankstationen till 0,35 kWh/Nm³ fordonsgas.

Med en produktion på 2,2 miljoner Nm³ fordonsgas uppgår användningen av elektricitet till 770 MWh vilket motsvarar 1 620 MWh primärenergi, se också Tabell 14

Tabell 14: Tankning av fordonsgas

| | Förbrukning | Primärenergi | Emissioner | |
|--------------|-------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Elektricitet | 770 MWh | 1 620 MWh | 29 ton | 130 kg |

6. Lagring av biogödsel

Söderåsens biogasanläggning producerade under analysperioden cirka 48 000 m³ biogödsel vilket antas motsvara lika många ton. Sammansättningen på biogödseln varierar över tiden beroende på vilket substrat som för tillfället behandlas i biogasanläggningen. Baserat på analyser som tillhandahållits av Söderåsens Bioenergi antas att biogödseln innehåller 5,3 kg totalkväve/ton varav 4,2 kg ammoniumkväve. Dessutom har den ett fosforinnehåll på 0,65 kg/ton (Tornerhjelm, 2008). Dessa data gäller dock när biogödseln pumpas ut till lagringsbrunnarna som inte är täckta vilket innebär att det uppstår kväveförluster, se bilaga G.

Biogödseln antas här ge upphov till emissioner av metan och ammoniak motsvarande 5,9 kg CO₂- respektive 1,6 kg NO₃⁻-ekvivalenter per ton biogödsel. Emissionerna påverkas dock av flera olika faktorer och är förknippade med relativt stora osäkerheter. Metanläckaget antas till exempel variera med +/- 50 %. För ett mer fördjupat resonemang, se bilaga G. Betydelsen av dessa osäkerheter prövas också i känslighetsanalysen.

Tabell 15: Lagring av biogödsel

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|----------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Lagring av biogödsel | 48 000 m ³ | – | 400 ton | 80 ton |

7. Transport av biogödsel

Söderåsens biogasanläggning producerar cirka 48 000 m³ biogödsel men då lagren inte är täckta tillkommer det också regnvatten som måste transporteras bort från anläggningen och spridas på åkermark. Här antas att tillskottet av regnvatten är cirka 10 % av den totala volymen (Jordbruksverket, 2008) och att mängden biogödsel som måste hanteras uppgår till 53 000 ton.

De totala förlusterna av kväve via ammoniakemissioner uppgår enligt beräkningarna i bilaga G till 370 gram/ton (exklusive spädning). Efter förluster och spädning med regnvatten bedöms att biogödseln vid spridningstillfället innehåller cirka 4,5 kg kväve, varav 3,5 kg ammoniumkväve samt 0,6 kg fosfor/ton.

Den biogödsel som produceras på Söderåsens biogasanläggning lämnar anläggningen på flera olika sätt. Drygt 25 % eller 14 000 ton av biogödseln sprids direkt från anläggningen via pumpning med matarslang. Ytterligare 2 000 ton hämtas med traktor för att spridas på åkermark någon km från biogasanläggningen. Denna transport inkluderas dock inte här utan vid spridningen av biogödsel. Resterande 37 000 ton biogödsel transporteras med lastbil till gårdar i närområdet. Ungefär 5 000 m³ transporteras till Ängagården med ett transportavstånd på 2,5 km och för resterande 32 000 ton sätts det genomsnittliga transportavståndet till 5 km (Knutsson, 2008).

Energibehovet för att fylla och tömma lastbilarna sätts som i kapitel 2 till 0,4 kWh/ton vilket ger ett totalt behov på 14,8 MWh diesel eller 16,3 MWh primärenergi. Vid lastbilstransporten sätts energibehovet till 4,5 kWh/km, se kapitel 2, vilket motsvarar 5,0 kWh primärenergi. Den totala transportsträckan bedöms bli närmare 10 000 km vilket medför ett energibehov på drygt 44 MWh diesel. Observera att energibehovet för lastning och lossning svarar för drygt 30 % av den totala dieselförbrukningen. För de korta transportererna till Ängagården svarar lastning och lossning dock för närmare 40 %.

Emissionerna antas slutligen vara 272 gram CO₂-ekvivalenter respektive 2,4 gram NO₃⁻-ekvivalenter/kWh, se kapitel 2 och bilaga B.

Tabell 16: Transport av biogödsel

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|--------------------------------|-------------------|---------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Lastning och Lossning | 37 000 ton | 16 MWh | 4 ton | 40 kg |
| Lastbilstransport – Ängagården | 5 000 ton | 4 MWh | 1 ton | 10 kg |
| Lastbilstransport - övrigt | 32 000 ton | 45 MWh | 11 ton | 100 kg |
| Totalt | 37 000 ton | 65 MWh | 16 ton | 150 kg |

8. Spridning av biogödsel

Biogödselns sammansättning varierar över tiden beroende på vilka substrat som tillförs biogasanläggningen. Här antas att biogödseln vid spridning i genomsnitt innehåller 4,5 kg kväve varav 3,5 kg ammoniumkväve och 0,6 kg fosfor/ton. Den maximalt tillåtna fosforgivnan är i genomsnitt 22 kg/ha och år över en 5-årsperiod (Jordbruksverket, 2007) och därmed är det möjligt att sprida cirka 37 ton/ha och år. Behovet av spridningsareal uppgår därmed till cirka 1 400 hektar. Av den biogödsel som sprids på Wrams Gunnarstorp antas att cirka 19 000 ton sprids med matarslang, se Figur 2. Dessutom sprids ytterligare 2 000 ton med traktor och tunna (Rasmussen, 2008). Resterande 32 000 ton sprids av andra lantbrukare i närområdet och det antas här att spridningen uteslutande sker med traktor och tunna.



Figur 2: Självgående spridare med matarslang (Tornerhjelm, 2008)

Så som beskrivits i bilaga H är energibehovet dock ungefär det samma oavsett spridningsteknik och sätts här till 3 kWh/ton. Emissionerna antas samtidigt vara 272 gram CO₂-ekvivalenter och 4,15 gram NO₃⁻-ekvivalenter/kWh ur ett livscykelperspektiv. Emissionerna av ammoniak antas i genomsnitt uppgå till 0,21 kg/ton biogödsel vilket motsvarar 0,77 kg NO₃⁻-ekvivalenter. Kväveläckaget antas samtidigt uppgå till i genomsnitt 100 kg NO₃⁻-ekv./ha se bilaga B och G. Observera att dessa data är relativt osäkra och beror på lokala förutsättningar och spridningsförhållanden med mera, se också bilaga G och känslighetsanalysen i kapitel 10.

Tabell 17 Spridning av biogödsel

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|--------------------------|------------|----------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Spridning med traktor | 34 000 ton | 110 MWh | 28 ton | 420 kg |
| Spridning med matarslang | 19 000 ton | 60 MWh | 16 ton | 240 kg |
| Emissioner av ammoniak | 53 000 ton | | | 40 ton |
| Kväveutlakning | 1 400 ha | | | 140 ton |
| Totalt | | 170 MWh | 41 ton | 181 ton |

9. Indirekta effekter

Utöver den energianvändning och de emissioner som är direkt kopplade till produktion och distribution av fordonsgas inkluderas också indirekta effekter i föreliggande systemanalys. Dessa sker primärt i de system som genererar substrat eller tar emot biogödsel.

Så som beskrivs i kapitel 1 inkluderas den konventionella hanteringen av flytgödsel och slam från Findus som ersätts av biogassystemet bland de indirekta effekterna. Dessutom inkluderas effekterna av att den producerade biogödseln antas ersätta mineralgödsel och att en del av substratet tidigare användes som foder och därmed måste ersättas.

9.1 Konventionell lagring och spridning av flytgödsel

Under den analyserade perioden tillfördes biogasanläggningen cirka 3 100 ton flytgödsel, huvudsakligen från svin. Om denna flytgödsel inte tillförts biogasanläggningen hade den lagrats i konventionella gödselbrunnar med svämtäcke fram till spridning. I och med detta hade gödseln genererat emissioner av metan, lustgas och ammoniak, se bilaga F.

Som beskrivits tidigare belastas biogassystemet med de emissioner som uppstår när biogödsel lagras och sprids. Det innebär också att samtliga emissioner som skulle ha uppstått från konventionell flytgödselhantering elimineras i och med att flytgödseln omvandlas till biogödsel.

Undvikandet av dessa emissioner krediteras biogassystemet med 39,8 kg CO₂-ekv./ton respektive 1,4 kg NO₃⁻-ekv./ton i genomsnitt. Observera att dessa uppgifter är relativt osäkra, vilket beskrivs närmare i bilaga F och G. I känslighetsanalysen varierar de med +/- 25 %.

Flytgödseln spreds tidigare med traktor och tunna och som beskrivits i bilaga H sätts energibehovet här till 3 kWh diesel/ton. Emissionerna antas samtidigt vara 276 gram CO₂-ekvivalenter och 2,4 gram NO₃⁻-ekvivalenter/kWh ur ett livscykelperspektiv.

Slutligen antas att kväveläckaget uppgår till 110 kg NO₃⁻-ekv./ha vilket är cirka 10 % högre än vad som antagits för biogödseln, se bilaga G. Med ett antaget fosforinnehåll på 1,1 kg/ton (Greppa Näringen, 2009) var den tidigare spridningsarealen 155 hektar med en maximal giva på 22 kg P/ha.

Tabell 18: Minskade emissioner från konventionell flytgödselhantering

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|------------------------|------------------|---------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Lagring av flytgödsel | 3 100 ton | – | 123 ton | 3 ton |
| Spridning med traktor | 3 100 ton | 10 MWh | 3 ton | 40 kg |
| Emissioner av ammoniak | 3 100 ton | | | 2 ton |
| Kväveutlakning | 155 ha | | | 17 ton |
| Totalt | 3 100 ton | 10 MWh | 126 ton | 22 ton |

9.2 Tidigare hantering av slam från Findus

Utöver flytgödsel användes före biogasproduktionen även slam från Findus samt mineralgödsel på den areal som idag huvudsakligen gödslas med biogödsel.

Innan biogasanläggningen etablerades förtjockades slammet på Findus, bland annat med hjälp av centrifuger, till en TS-halt på drygt 10 %. Därefter spreds det på åkermark i närheten av Findus. Energibehovet för förtjockningen sätts här till 1 kWh elektricitet/ton slam som tillförts förtjockaren (Lantz, 2007). Enligt miljökonsekvensbeskrivning för Söderåsens biogasanläggning (Linné, 2004) producerades då cirka 9 000 ton förtjockat slam vilket motsvarar cirka 40 000 ton slam före förtjockning. Därmed är det cirka 50 % av slammet som pumpas till biogasanläggningen idag och 50 % som avvattnas innan det körs till anläggningen med lastbil. Mängden elektricitet som inte längre behöver användas tack vare biogassystemet uppgår därmed till 20 MWh.

Fosforinnehållet i det förtjockade slammet uppgick till cirka 1,4 % av TS vilket motsvarar cirka 1,5 kg P/ton slam. Med en årsproduktion på cirka 9 000 ton förtjockat slam krävdes det därmed en spridningsareal på 600 hektar om fosforgivan inte skulle överstiga 22 kg/ha. Här antas att slammet hanterades som tjock flytgödsel vilket innebär att energibehovet för fälttransport och spridning sätts till 3 kWh diesel/ton och att emissionerna antas uppgå till 276 gram CO₂-ekvivalenter respektive 2,4 gram NO₃⁻-ekvivalenter/kWh ur ett livscykelperspektiv.

Emissionerna av ammoniak vid spridning sätts till 5 % av slammets innehåll av ammoniumkväve på cirka 1 kg/ton vilket totalt motsvarar närmare 2 ton NO₃⁻-ekvivalenter. Kväveläckaget sätts slutligen till 110 kg NO₃⁻-ekvivalenter/ha, se också bilaga G.

Observera att här beaktas inte den minskade kvävebelastningen på reningsverkets recipient som följer av att mängden rejekt halveras.

Tabell 19: Tidigare hantering av slam från Findus som undviks med biogassystemet

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|-------------------------|------------|---------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Förtjockning | 20 000 ton | 42 MWh | 760 kg | 3 kg |
| Transport och spridning | 9 000 ton | 30 MWh | 7,5 ton | 110 kg |
| Kväveförluster | 600 ha | – | | 67 ton |
| Totalt | | 72 MWh | 8,2 ton | 67 ton |

9.3 Minskad användning av mineralgödsel

Den biogödsel som produceras på Söderåsens biogasanläggning bedöms efter lagring innehålla cirka 4,5 kg kväve, varav 3,5 kg ammoniumkväve samt 0,6 kg fosfor/ton. Med en produktion på 53 000 ton motsvarar det närmare 240 ton kväve, varav 185 ton ammoniumkväve, samt 32 ton fosfor. En del av denna växtnäring fanns dock tillgänglig redan tidigare i form av flytgödsel och förtjockat slam. Den ökade mängden näringsämnen som kan ersätta mineralgödsel uppgår därför till 168 ton ammoniumkväve och 16 ton fosfor, se också Tabell 20.

Tabell 20: Biogassystemets nettoökning av växtnäring

| | Kväve (totalt) | Ammoniumkväve | Fosfor |
|------------------------------------|----------------|---------------|--------|
| Biogödsel | 240 ton | 185 ton | 32 ton |
| Flytgödsel¹ | 11 ton | 7 ton | 3 ton |
| Förtjockat slam¹ | 66 ton | 10 ton | 13 ton |
| Nettoökning | 163 ton | 168 ton | 16 ton |

¹Tidigare system

Så som beskrivits i bilaga J kräver produktionen av mineralgödsel mycket energi och genererar emissioner av framförallt växthusgaser.

I Tabell 21 presenteras hur stor energianvändning och hur mycket emissioner som kan undvikas om hela nettoökningen av växtnäring som presenteras i Tabell 20 ersätter mineralgödsel. Observera att eventuella skillnader i näringsförluster och växttillgänglighet med mera inte inkluderats här. För ett utförligare underlag, beräkningar och referenser, se bilaga J.

När det gäller produktionen av mineralkväve beror emissionerna av CO₂-ekvivalenter i stor utsträckning på om fabriken i fråga är utrustad med katalytisk lustgasrening eller inte. Så som beskrivits i bilaga J antas här att 45 % av mineralkvävet producerats i sådana fabriker baserat på dagens situation. I känslighetsanalysen antas dock att 100 % av kvävegödseln producerats i sådana anläggningar.

Därutöver tillkommer emissioner av ammoniak vid spridning som antas uppgå till 1 % av det kväve som tillförts i form av mineralgödsel, se bilaga G. Baserat på uppgifterna i Tabell 20 medför detta att utsläpp motsvarande 7,4 ton NO₃-ekvivalenter kan undvikas.

Av de 1 400 hektar som antas vara gödslade med biogödsel har kväveutlakningen bedömts för drygt halva arealen med antagandet att de gödslats med flytgödsel respektive slam från Findus. För resterande 645 hektar antas att den tidigare mineralgödslingen ledde till en kväveutlakning på 20 kg N/ha vilket motsvarar 57 ton NO₃⁻-ekvivalenter, se också bilaga G.

Tabell 21: Energi och miljövinster när biogödsel från Söderåsens biogasanläggning ersätter mineralgödsel

| | Ammoniumkväve | Fosfor | Totalt |
|--|-----------------------|--------|--------|
| Primärenergi (MWh) | 2 100 | 110 | 2 210 |
| CO₂-ekv. (ton) | 1 025 | 51 | 1 076 |
| NO₃⁻-ekv. (ton) | 1,8 + 65 ¹ | 0,4 | 67 |

¹Avser förluster vid spridning som kan undvikas då mineralgödsel ersätts av biogödsel

9.4 Förändrad markpackning och inbindning av kol

Markpackning är ett generellt problem vid växtodling som leder till skördeförkluster på grund av försämrade förutsättningar för grödornas rotsystem. Risken för markpackning ökar bland annat vid höga lerhalter i åkermarken och då lerhalten vid Wrams Gunnarstorps Gods (som använder en stor del av den producerade biogödseln) i genomsnitt är så hög som 65 % är marken känslig för packskador. En annan faktor som har stor betydelse för packskadornas omfattning är vikten på de maskiner som används. Totalvikten för ett traktorekipage med en fullastad mineralgödselspridare bedöms till exempel till cirka 10 ton. Samtidigt kan ett ekipage med en fullastad flytgödseltunna väga 50 – 60 ton. Dessutom har utformningen av ekipagets däckutrustning betydelse.

En ökad användning av biogödsel i stället för mineralgödsel kan därför öka marpackningen betydligt. Ett sätt att minska risken för markskador, som också används för en del av den producerade biogödseln, är att använda ett slangspridarsystem där biogödseln pumpas i matarslangar ut till spridaren på fälten. Då en sådan maskin väger mellan 8 ton (med helt utrullad matarslang) och 16 ton (helt inrullad matarslang fylld med biogödsel) minskar risken för markpackning jämfört med att sprida biogödseln med traditionell tunna. Om mineralgödsel ersätts med biogödsel som sprids med konventionell tunna kan skördeminskningen bli så stor som 15 – 25 %. Om biogödseln istället sprids med matarslangsystem kan skördeminskningen stanna på cirka 1 %, se bilaga H.

I föreliggande analys värderas marpackningen genom att beakta de skördeförkluster som de olika spridningsteknikerna ger upphov till relativt mineralgödsel. Biogassystemet får därmed bära den energiinstans och de emissioner som tillkommer när ytterligare grödor måste odlas för att täcka skördeförklusterna. Här baseras beräkningarna på höstvetete och det antas att all biogödsel sprids på åkermark som den vid Wrams Gunnarstorp. I praktiken sprids biogödsel också på annan mark som kan vara mer eller mindre känslig för packskador. Detta beaktas dock inte här.

När packskadorna ska beräknas antas att 19 000 ton biogödsel sprids med matarslang och 34 000 ton biogödsel sprids med traktor och tunna. Den flytgödsel och det förtjockade slam, totalt 12 000 ton, som spreds tidigare bidrog dock också till markpackningen. Med hänsyn till detta beräknas packskadorna för 19 000 ton som sprids med matarslang och 22 000 ton som sprids med traktor och tunna.

Resultatet redovisas i Tabell 22 och där redovisas också hur resultatet skulle ha påverkats om 41 000 ton biogödsel spridits med matarslang respektive traktor och tunna. För beräkningar och referenser, se bilaga I.

Tabell 22: Energi och miljöeffekter av markpackning när biogödsel ersätter mineralgödsel

| | Matarslang | Tunna | Valt värde ¹ |
|-----------------------------|------------|-------|-------------------------|
| Primärenergi (MWh) | 36,9 | 787 | 439 |
| CO ₂ -ekv. (ton) | 28,7 | 574 | 321 |
| NO ₃ -ekv. (ton) | 1,9 | 40,0 | 22,4 |

¹ Baserat på aktuell fördelning mellan spridning med matarslang och tunna.

En övergång från mineralgödsel till biogödsel medför också att markens mullhalt successivt kommer att öka vilket är positivt för markens strukturuppbyggnad. En långsiktigt ökad mullhalt via gödslings med biogödsel kan således till viss del motverka ökade packskador från tyngre spridningsutrustning jämfört med när mineralgödsel sprids.

Här antas att 5 – 10 % av biogödselns kolinnehåll bildar stabil humus i åkermarken vilket i det aktuella fallet motsvarar cirka 1 – 2 kg C/ton, se också bilaga I. Observera också att det idag inte finns resultat från några studier av hur biogödsel påverkar markens kolförråd jämfört med till exempel mineralgödsel. Beräkningarna bygger därför på teoretiska resonemang som behöver verifieras i praktiska fältförsök.

I beräkningarna antas biogödseln öka tillförseln av kol med 1,8 kg/ton vilket motsvarar cirka 350 ton CO₂-ekvivalenter. En del kol återfanns dock redan tidigare i den flytgödsel och det förtjockade slammet som sprids innan biogassystemet implementerades vilket också måste beaktas.

Enligt Berglund och Börjesson (2003) innehåller svinggödsel cirka 40 % kol varav 5 % lignin. Tillförseln av stabilt kol från flytgödsel uppgick därmed tidigare till närmare 4 ton. Här antas samma andel lignin för det förtjockade slammet vilket då motsvarar ytterligare 20 ton. Inbindningen av kol antas därmed ha uppgått till 123 ton CO₂-ekvivalenter innan biogasproduktionen startade. Biogassystemet antas därmed bidra till en ökad nettoinbindning av kol med 227 ton CO₂-ekvivalenter.

9.5 Ersättning av foder

En del av det substrat som tillförs Söderåsens biogasanläggning, framförallt morötter, användes tidigare som foder. Därför belastas biogassystemet med de insatser som krävs för att producera en likvärdig mängd foder på konventionellt sätt. Här antas att det är 2 500 ton morötter som tidigare användes som foder och att dessa kan ersättas med foderkorn (Bertilsson, 2009). För ett utförligare resonemang, beräkningar och referenser, se bilaga J.

Tabell 23: Produktion av foderkorn som ersättning för morötter

| | Omfattning | Primärenergi | Emissioner | |
|--------------------|------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. | NO ₃ ⁻ -ekv. |
| Produktion av korn | 275 ton TS | 246 MWh | 124 ton | 12,7 ton |

10. Resultat och känslighetsanalys

Produktion av fordonsgas inkluderar en rad olika aktiviteter och i Tabell 24 sammanfattas de direkta och indirekta emissioner samt användningen av energi som presenterats i tidigare kapitel.

För att producera och distribuera 21,5 GWh fordonsgas använde Söderåsens biogasanläggning under den analyserade perioden cirka 5,6 GWh primärenergi. Beaktat de indirekta effekterna sjunker dock energiinsatsen till 4,0 GWh. För varje GWh primärenergi som används i systemet produceras och distribueras därmed 5,5 GWh fordonsgas. Den direkta energianvändningen består huvudsakligen av elektricitet som svarar för närmare 80 % av den tillföra primärenergin. Framförallt används elektricitet i uppgraderingsanläggningen och för komprimering av fordonsgasen. Observera att här ingår inte den biogas som används för processvärme eftersom alla beräkningar baseras på nettoproduktionen efter att anläggningen värmts upp. De indirekta effekterna ger en minskad energianvändning tack vare ersättningen av mineralgödsel som är den post som har enskilt störst betydelse för systemets energianvändning.

Under den analyserade perioden genererade biogasset också 1 400 ton CO₂-ekvivalenter i direkta emissioner. Utslaget på produktionen av fordonsgas motsvarar detta 65 gram/kWh. Som jämförelse beräknas livscykelemissionerna av växthusgaser för bensin uppgå till 300 gram/kWh (EU, 2008). Reduktionen av växthusgaser blir i detta fall således cirka 88 % när biogas ersätter bensin. De enskilt viktigaste aktiviteterna är uppgradering och lagring av biogödsel som tillsammans svarar för 2/3 av emissionerna. De indirekta effekterna domineras av de emissionsminskningar som uppstår när biogödsel ersätter mineralgödsel. Att biogasset ersätter konventionell hantering av flytgödsel har en jämförelsevis begränsad betydelse i systemanalysen. Detta beror på att flytgödseln svarar för en liten del av den totala mängden substrat. Utslaget per ton substrat har flytgödseln betydligt större betydelse. Sammantaget medför de indirekta effekterna att emissionerna minskar med 75 % till 340 ton CO₂-ekvivalenter eller 16 gram/kWh fordonsgas. När också indirekta effekter inkluderas reduceras således emissionerna av växthusgaserna med cirka 94 % jämfört med bensin.

När det gäller de emissioner som har betydelse för övergödningen uppgår de direkta emissionerna till drygt 260 ton NO₃⁻-ekvivalenter och emissionerna kommer i princip uteslutande från lagring och spridning av biogödsel. Inkluderas de indirekta effekterna minskar emissionerna till 140 ton, tack vare minskade emissioner från den gödsling som skedde tidigare. Totalt uppgår emissionerna till cirka 7 gram NO₃⁻-ekvivalenter per kWh fordonsgas vilket är betydligt högre än motsvarande emissioner för bensin, se bilaga B. Här jämförs dock inte förbränningen av bensin vs fordonsgas vilket hade gynnat fordonsgasen.

Tabell 24: Direkta och indirekta emissioner samt användning av primärenergi

| | Primärenergi (MWh) | CO ₂ -ekvivalenter (ton) | NO ₃ ⁻ -ekvivalenter (ton) |
|---------------------------------------|-----------------------|--|---|
| <i>Direkta effekter</i> | | | |
| Transport av substrat | 923 | 224 | 2 |
| Produktion av biogas | 987 | 96 | 0,3 |
| Uppgradering | 1 806 | 570 | 0,1 |
| Distribution av fordonsgas | 1 620 | 139 | 0,1 |
| Lagring av biogödsel | | 311 | 79 |
| Transport av biogödsel | 65 | 16 | 0,1 |
| Spridning av biogödsel | 175 | 43 | 181 |
| Totalt direkta effekter | 5 580 | 1 399 | 262 |
| <i>Indirekta effekter</i> | | | |
| Hantering av flytgödsel | - 10 | - 158 | - 22 |
| Tidigare slamhantering | - 72 | - 8,2 | - 67 |
| Ersättning av mineralgödsel | - 2 210 | - 1 076 | - 67 |
| Markstruktur | 439 | 94 | 22 |
| Foder | 246 | 124 | 13 |
| Totalt indirekta effekter | - 1 607 | - 1 024 | - 121 |
| Totalt direkta & indirekta | 3 970 | 374 | 161 |

10.1 Känslighetsanalys

I föreliggande analys, liksom i andra systemanalyser, beror resultatet i stor utsträckning på vilka antaganden som gjorts och vilka grunddata som använts i beräkningarna. I Tabell 25 presenteras därför energianvändning och emissioner fördelat på de olika aktiviteterna inklusive ett intervall baserat på de antaganden som ger bäst respektive sämst resultat för biogassystemet. Dessutom presenteras resultatet i figurer fördelat på de olika energibärare som används i systemet samt de emissioner som inte är kopplade till någon energianvändning. De aktiviteter som inte bygger på data från föreliggande studie, nämligen produktion av mineralgödsel, foder samt olika markeffekter presenteras dock fortfarande för sig. De olika antaganden som ligger till grund för de olika beräkningarna sammanfattas nedan.

Baserat på de olika antaganden som presenterats tidigare kan emissionerna av växthusgaser i ”värsta” fall öka närmare 8 gånger jämfört med basfallet. Även i detta ”värsta” scenario minskar dock emissionerna med cirka 60 % jämfört med bensin. Samtidigt kan biogassystemet i ”bästa” fall leda till emissionerna av växthusgaser minskar med cirka 5 gram/kWh producerad fordonsgas även om den producerade biogasen inte ersätter några fossila drivmedel alls. Emissionerna av växthusgaser påverkas framförallt av metanläckaget vid uppgraderingen och av ersättningen av mineralgödsel.

När det gäller användningen av primärenergi varierar energibalansen från att systemet i bästa fall ledet till en viss minskning av energianvändningen till att 1 kWh energi ger drygt 3 kWh fordonsgas. Framförallt påverkas energibalansen av vilken typ av elektricitet som används samt vilken typ av mineralgödsel som ersätts av biogödsel och hur biogödseln sprids.

Emissionerna av NO_3^- -ekvivalenter kan i ”värsta” fall mer än fördubblas men också minska så till den grad att biogassystemet minskar emissionerna. Detta kräver dock att biogödselhanteringen är mycket effektiv och att den tidigare hanteringen av flytgödsel, slam och mineralgödsel var ineffektiv med relativt höga kväveförluster.

Resultatet av känslighetsanalysen presenteras i Tabell 25 och figur 3 och 4. Emissionerna av NO_3^- -ekvivalenter presenteras dock bara i tabellform då emissionerna domineras så fullständigt av några få aktiviteter.

Elektricitet

När det gäller den elektricitet som används för att producera biogas och för att pumpa slam till biogasanläggningen baseras uppgifterna på faktiska mätningar och innefattar därför små osäkerheter. Den elektricitet som används för att uppgradera och komprimera fordonsgasen baseras i högre grad på schabloner med en större osäkerhet som följd. Elbehovet för uppgradering varierar därför mellan 0,3 – 0,5 kWh/Nm³ och elbehovet för distribution och tankning varierar mellan 0,3 – 0,4 kWh/Nm³, se också kapitel 4 och 5. I övrigt används samma data som presenterats under respektive aktivitet. Omvandlingen från elektricitet till primärenergi beror på hur elektriciteten har producerats och i basfallet antas här att det är svensk medel med en primärenergifaktor på 2,1. Om produktionen skett i vattenkraftverk antas primärenergifaktorn sjunka till 1,1 och om produktionen skett i en gaskombi på marginalen stiger den något till 2,3, se också bilaga B. Intervallet som anges i Tabell 25 inkluderar därför olika antaganden om faktisk elförbrukning såväl som olika antaganden om primärenergifaktorer. Emissionerna baseras i

basfallet på svensk medel till sammans med den elförbrukning som presenterats för respektive aktivitet. Intervallet i känslighetsanalysen bygger dels på de olika antagandena om elförbrukning som beskrivits ovan och dels på om produktionen skett i ett vattenkraftverk eller en gaskombi.

Diesel

Användningen av diesel i föreliggande studie baseras inte på mätningar utan på uppgifter från åkare, modellberäkningar och olika källor i litteraturen. I känslighetsanalysen används istället en beräknad förbrukning, se kapitel 2. Dieselförbrukningen för spridning av biogödsel och flytgödsel har i basfallet satts till 3 kWh/ton och varierar i känslighetsanalysen från 2,5 till 7 kWh/ton, se bilaga G.

För att omvandla diesel till primärenergi används primärenergifaktorn 1,1 i basfallet. I känslighetsanalysen varierar primärenergifaktorn från 1,1 till 1,2 vilket antas motsvara diesel på marginalen, se bilaga B. Motsvarande gäller för emissionerna av växthusgaser. När det gäller övriga emissioner ändras inte emissionsfaktorerna utan endast bränsleförbrukningen.

Propan

I basfallet antas att biogasanläggningen tillsätter 7,5 % propan till den uppgraderade biogasen. Emissioner och energianvändning vid produktion och distribution avser representativa data för den gasol som används i Sverige idag, se bilaga B. Det lägre värdet i intervallet förutsätter att det inte tillsätts någon propan alls till den uppgraderade biogasen och det högre värdet baseras på att den propan som tillsätts är producerad på marginalen, se bilaga B.

Metan

När det gäller metanläckage från biogasanläggning och uppgradering baseras värdet i basfallet på de uppmätta värden som tillhandahållits av Ivarsson (2008). I känslighetsanalysen varierar dessa värden med +/- 25 % där det högre värdet stämmer väl överens med de emissionsdata som schablonmässigt används av exempelvis Börjesson och Berglund (2007). Metanläckaget från biogödsellagren har bedömts baserat på mätningar av biogödselns maximala metanpotential (Björnsson, 2008). Det är dock relativt osäkert och varierar här med +/- 50 %. Slutligen varierar metanemissionerna från den konventionella flytgödselhanteringen med +/- 15 %.

Övriga emissioner

De emissioner som i övrigt genereras av biogasset består av ammoniak och lustgas från lagring och spridning av biogödsel, flytgödsel och slam samt kväveläckage från åkermark. Direkta lustgasemissioner från lagring av biogödsel har inte inkluderats i basfallet. Det finns dock rapporter om att det trots allt sker en viss bildning av lustgas, se bilaga F, och därför inkluderas detta i känslighetsanalysen. Lustgasemissionerna beräknas då utifrån biogödselns innehåll av kväve, se bilaga F. För emissioner av ammoniak från lagring och spridning av biogödsel och flytgödsel varierar emissionerna med +/- 25 % i känslighetsanalysen. Observera att spridningsförlusterna kan vara betydligt högre om spridningen sker vid fel tidpunkt eller med fel typ av utrustning. Detta inkluderas dock inte här.

Angående läckaget av kväve är de antaganden som gjorts här relativt osäkra och de beror också på platsspecifika förhållanden. I känslighetsanalysen varierar därför förlusterna med +/- 50 %.

Mineralgödsel

För mineralgödsel baseras beräkningarna i basfallet på den energianvändning och de emissioner som finns återgivna i bilaga I. Då huvuddelen av energianvändningen och emissionerna kan kopplas till produktionen av N-gödsel inkluderas inte fosfor i känslighetsanalysen. För användningen av energi antas som beskrivits i bilaga I att uppgifterna i basfallet är representativa för en typisk produktionsanläggning som använder naturgas. Med bästa tillgängliga teknik antas att energianvändningen skulle kunna minska med 25 %, se bilaga I. Här visas också betydelsen av att mineralgödseln kommer från anläggningar som förbrukar 25 % mer energi än vad som antagits i basfallet. Samma intervall används för emissionerna av NO_3^- ekvivalenter.

När det gäller emissionerna av växthusgaser baseras intervallet på uppgifterna i bilaga I med antagandet att all produktion sker med katalytisk lustgasrening respektive att tekniken inte tillämpas alls.

Markpackning och Markkol

Biogassystemets påverkan på markstrukturen på åkermarken i närområdet antas i föreliggande studie bestå av förändrad markpackning och inbindning av kol jämfört med mineralgödsel. När det gäller markpackning bygger värdet i basfallet på att cirka 35 % av biogödseln sprids med slangspidare och att konventionell traktor och tunna används i övrigt. Detta antas här ge skördeminskningar på 1 respektive 20 % jämfört med enbart mineralgödsel. I känslighetsanalysen visas effekten av att all biogödsel sprids med slangspidare respektive konventionell traktor med tunna, se också bilaga H.

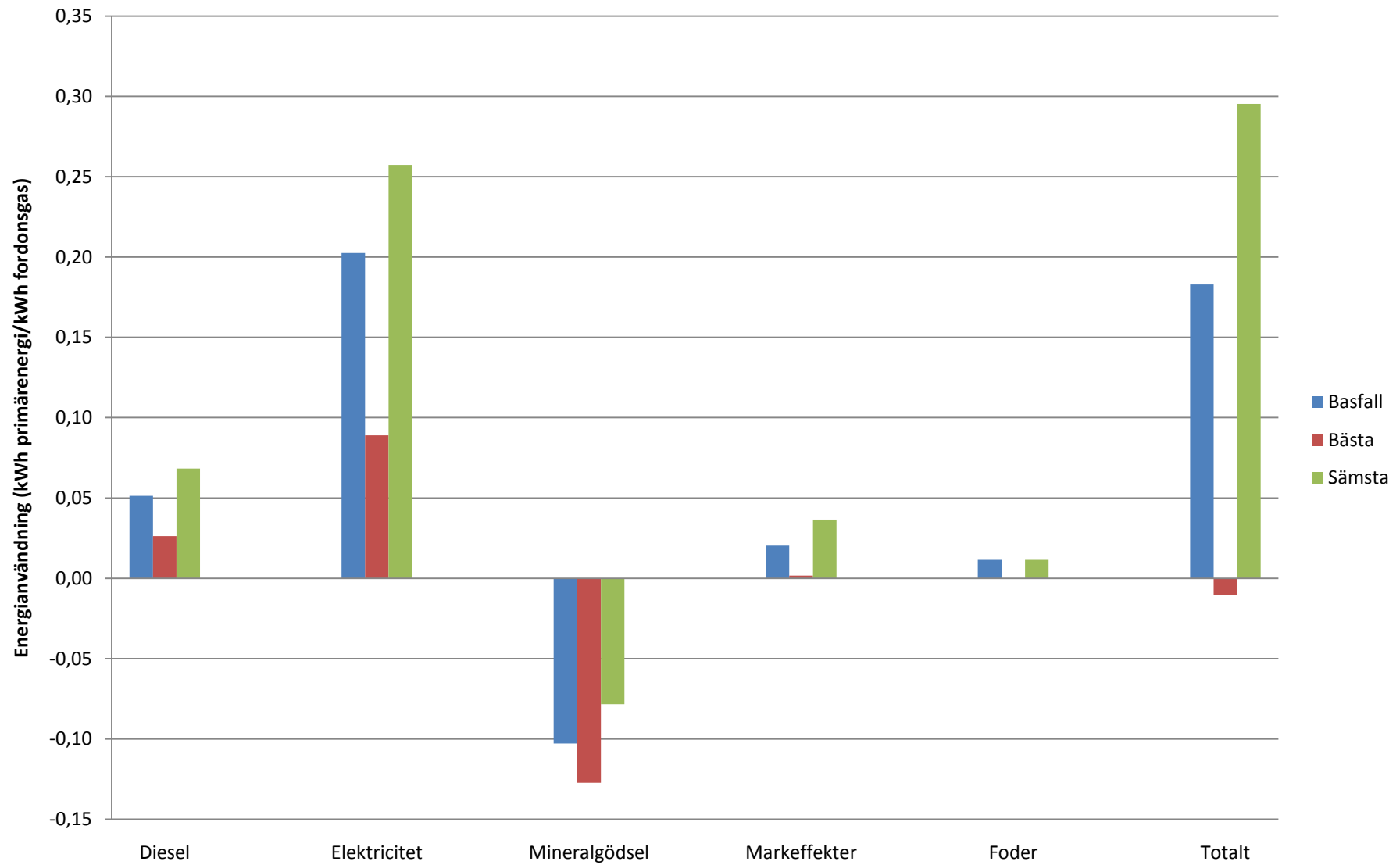
När det gäller inbindning av markkol är dessa data relativt osäkra och inbindningen varierar därför med +/- 50 %.

Foder

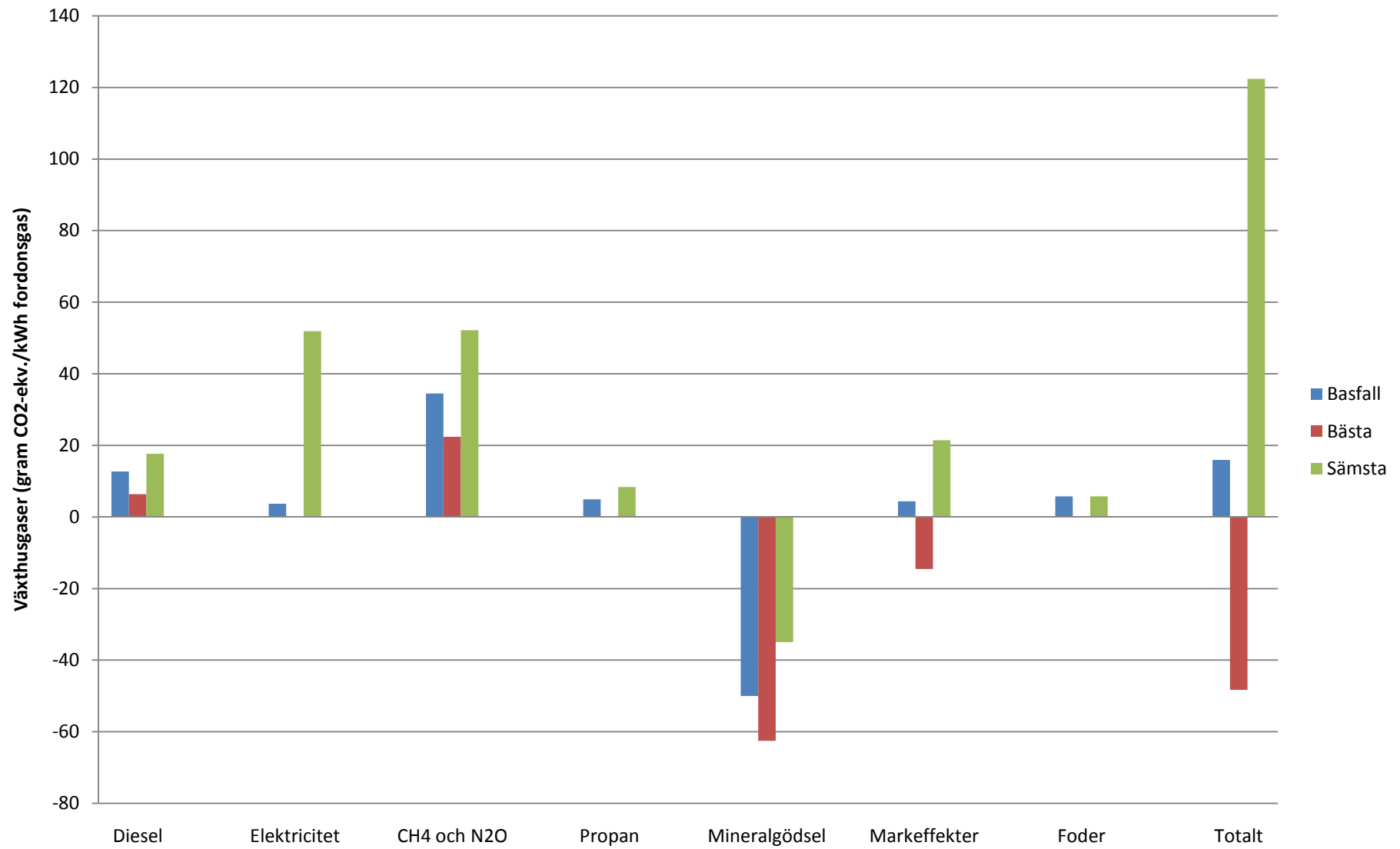
Som beskrivits tidigare beaktas de morötter som tillförs biogasanläggningen inte som ett avfall utan som en biprodukt. Därmed har biogassystemet i basfallet belastats med en viss energianvändning och vissa emissioner för att ersätta dessa morötter. Då det alltid kan diskuteras i vilken mån ett substrat som detta är ett avfall eller en biprodukt med en alternativ användning visas effekterna av att biogassystemet inte belastas med att ersätta dessa morötter med annan foderproduktion. Däremot inkluderas inte något alternativ som ytterligare ökar energianvändning och emissioner för att producera ersättningsfodret.

Tabell 25: Direkta och indirekta emissioner samt användning av primäreenergi inkl. känslighetsanalys

| | Energi (MWh) | Växthusgaser (ton CO ₂ -ekv.) | Övergödning (ton NO ₃ ⁻ -ekv.) |
|----------------------------------|-----------------|---|---|
| <i>Direkta effekter</i> | | | |
| Transport av substrat | 930 | 220 | 2 |
| Intervall | 480 – 1 010 | 110 – 260 | 1 – 2 |
| Produktion av biogas | 990 | 100 | 0,3 |
| Intervall | 520 – 1 080 | 60 – 310 | 0,1 – 0,5 |
| Uppgradering | 1 810 | 570 | 0,1 |
| Intervall | 710 – 2 470 | 410 – 1 170 | 0,004 – 0,5 |
| Distribution av gas | 1 620 | 140 | 0,1 |
| Intervall | 730 – 2 020 | 4 – 640 | 0,004 – 0,4 |
| Lagring av biogödsel | | 280 | 80 |
| Intervall | | 190 – 490 | 60 – 100 |
| Transport av biogödsel | 65 | 16 | 0,1 |
| Intervall | 65 – 70 | 16 – 18 | |
| Spridning av biogödsel | 170 | 43 | 180 |
| Intervall | 150 – 450 | 36 – 120 | 100 – 260 |
| Totalt direkta effekter | 5 580 | 1 370 | 260 |
| Intervall | 2 640 – 7 100 | 830 – 3 010 | 160 – 360 |
| <i>Indirekta effekter</i> | | | |
| Hantering av flytgödsel | -10 | -160 | -20 |
| Intervall | -20 – -11 | -180 – -140 | -30 – -10 |
| Tidigare slamhantering | -70 | -8 | -70 |
| Intervall | -120 – -50 | -30 – -10 | -100 – -30 |
| Ersättning mineralgödsel | -2 210 | -1 080 | -70 |
| Intervall | -2 740 – -1 690 | -1 340 – -750 | -100 – -30 |
| Markeffekter | 440 | 90 | 20 |
| Intervall | 40 – 790 | -310 – 460 | 2 – 40 |
| Foder | 250 | 120 | 10 |
| Intervall | 0 – 250 | 0 – 120 | 0 – 10 |
| Totalt indirekta effekter | -1 610 | -1 020 | -120 |
| Intervall | -2 840 – -710 | -1 860 – -310 | -230 – 30 |
| TOTALT | 3 970 | 340 | 140 |
| INTERVALL | -200 – 6 390 | -1 040 – 2 700 | -70 – 340 |



Figur 3: Användning av primärenergi i Söderåsens biogassystem



Figur 4: Emissioner av växthusgaser från Söderåsens biogassystem

11. Förbättringsåtgärder

Ett biogassystems energi- och miljöprestanda påverkas av en rad olika faktorer av varierande betydelse. Det handlar dels om energianvändning och emissioner av olika slag som systemet ger upphov till och som bör minimeras. Det handlar också om positiva effekter som bör förstärkas så som nettoproduktionen av biogas och biogödselns kvalitet. I föreliggande kapitel presentera några olika åtgärder för att förbättra det aktuella biogassystemets prestanda när det gäller emissioner av växthusgaser. Dessutom beräknas översiktliga kostnader för dessa åtgärder.

De åtgärder som presenteras här utgår från den aktuella anläggningen och de val som gjorts avseende vilken typ av substrat som ska hanteras och hur den producerade biogasen och biogödseln ska avsättas.

Av de olika aktiviteter som ingår i systemet är det dock vissa som inte bedöms som realistiska att förändra och därför inte inkluderas här. Då anläggningen verkar på den fria marknaden bedöms det till exempel inte vara realistiskt att i någon större omfattning styra substratflödena i syfte att minimera transportavstånden även om dessa naturligtvis har betydelse även för de ekonomiska kalkylerna. Med undantag för den flytgödsel som tillförs anläggningen bedöms det inte heller vara aktuellt att använda någonting annat än lastbilstransport. Att använda biogasdrivna lastbilar är visserligen möjligt men leder inte till någon nettoeffekt ur ett systemperspektiv. Substrattransporterna, med undantag för flytgödsel, beaktas därför inte vidare.

Vid produktionen av biogas och den fortsatta uppgraderingen till fordonsgas används elektricitet och värme. Dessutom ger i synnerhet uppgraderingsanläggningen upphov till emissioner av CH_4 . Här utreds inte möjligheten att minska behovet av elektricitet eller värme i befintlig anläggning eller att byta uppgraderingsteknik. Däremot analyseras möjligheten att minska läckaget från den befintliga uppgraderingsanläggningen. När det gäller tillförseln av värme analyseras effekterna av och kostnaderna för att producera processvärmen med en fastbränslepanna istället för att använda biogas. På samma sätt visas effekterna av en övergång från svensk elmix till förnybar elektricitet i form av vattenkraft.

Hanteringen av biogödsel ger idag upphov till stora emissioner av framförallt kväve vilket minskar mängden mineralgödsel som potentiellt skulle kunna ersättas. Här presenteras därför möjligheten att täcka biogödsellagren för att minska dessa emissioner. När det gäller den fortsatta hanteringen av biogödsel undersöks också möjligheten att pumpa en del av biogödseln. Däremot beaktas inte möjligheten att sprida en större del av biogödseln med matarslang. Anledningen är att om det varit ekonomiskt och praktiskt realistiskt skulle det sannolikt redan ha skett med tanke på packkänsligheten hos den aktuella åkermarken. Vidare antas att det inte är möjligt att i någon större utsträckning påverka på vilka marker som biogödseln sprids eftersom en stor del av biogödseln redan sprids på arealer i biogasanläggningens omedelbara närhet.

För de åtgärder som ökar den tillgängliga biogasproduktionen tillämpas systemexpansion för att likställa dessa med sådana åtgärder som inte ökar mängden biogas. Det innebär att här beaktas inte bara de faktiska emissionsminskningarna som sker på anläggningen utan också de emissionsminskningar som sker när den producerade biogasen ersätter bensin.

De åtgärder som undersöks här är därmed;

- Förnybar elektricitet
- Alternativt uppvärmningssystem
- Pumpning av flytgödsel och biogödsel
- Oxidering av metanslipp
- Täckning av biogödsellager

11.1 Förnybar elektricitet

Det aktuella biogassystemet använder idag närmare 2,1 GWh elektricitet som ger upphov till cirka 20 % av de totala emissionerna av växthusgaser. Räknat som primärenergi motsvarar det 4,4 GWh eller närmare 80 % av den totala energiinsatsen.

Genom att ersätta svensk elmix med enbart elektricitet från vattenkraft kan emissionerna av växthusgaser minska med 70 ton eller närmare 90 %.

I dagsläget är det möjligt att teckna avtal om leverans av elektricitet från vattenkraft hos till exempel Vattenfall (2009) och E.ON (2009). Vid en förbrukning på mindre 1 GWh anger Vattenfall att elektricitet från vattenkraft är inkluderad i priset. Vid större volymer blir det ett visst påslag som här sätts till 0,5 öre/kWh.

Om all användning av elektricitet i biogassystemet belastas med detta påslag blir merkostnaden cirka 10 000 kr/år vilket motsvarar **14 öre/kg CO₂-ekvivalent eller 0,05 öre/kWh fordonsgas.**

11.2 Alternativ uppvärmning

Biogasanläggningen använder idag cirka 1 400 MWh värme som produceras genom förbränning av drygt 1 450 MWh biogas. Genom att ersätta biogasen med något annat biobränsle skulle det därmed vara möjligt att frigöra betydande mängder biogas som kan ersätta bensin och diesel. Sannolikt är det fasta biobränslen som är mest aktuella och här utgår beräkningarna från flis. Med en antagen verkningsgrad på 80 % (Lantz *et al.*, 2006) krävs det 1 750 MWh flis för att tillgodose anläggningens behov av processvärme.

Inom ramen för föreliggande studie har det faktiska effektbehovet för att producera processvärme inte identifierats. Knutsson (2008) uppger dock att inkommande substrat håller cirka 55 °C efter värmewäxling och att flödet är cirka 25 – 30 m³/h genom värmewäxlarna. För att hetta upp substratet till 70 °C bör det därmed krävas cirka 450 – 500 kW om värmebehovet är 1,16 kWh/m³ och grad. Detta kan jämföras med ett beräkningsexempel där Norin (2007) anger det maximala effektbehovet till 250 kW om inkommande substrat håller 10 °C och hygieniseringssteget tillförs 10 m³/h.

För en prefabricerad panncentral men en flispanna på 400 kW, inklusive ett mindre flislager, uppger Lantz *et al.* (2006) kostnaden till 1,5 miljoner kr och för ett flissystem med en panna på 700 kW uppges kostnaden till 1,8 miljoner kr. Samtidigt anger Roslund (2008) att priset för motsvarande central med en panna på 300 kW är cirka 1,5 miljoner kr. Här sätts kostnaden för ett nytt flissystem till 1,8 miljoner kr inklusive projektering och anslutningar till biogasanläggningens värmesystem. Med en genomsnittlig avskrivningstid på 15 år och en kalkylränta på 5 % blir den årliga kapitalkostnaden drygt 170 000 kr.

Den rörliga kostnaden för skogsflis sätts här till 160 kr/MWh bränsle (Energimyndigheten, 2009) vilket för 1 750 MWh motsvarar ytterligare 280 000 kr/år.

Med ett antaget elbehov på 3 % av den producerade mängden värme (Roslund, 2008) och en antagen kostnad för elektricitet på 0,6 kr/kWh blir kostnaden för elektricitet cirka 25 000 kr/år. Därutöver tillkommer kostnad för tillsyn som är bedöms vara 0,5 timmar per dygn á 350 kr vilket motsvarar 65 000 kr/år. Slutligen tillkommer externa tjänster som bedöms kosta upp till 50 000 kr/år. Driftskostnaderna inklusive bränsle blir därmed 420 000 kr/år.

Den totala kostnaden för flissystemet bedöms bli 590 000 kr/år.

Samtidigt frigörs drygt 1 450 MWh biogas som kan uppgraderas och säljas som fordonsbränsle. Denna extra produktion medför inte några extra kostnader för biogasanläggningen och förutsatt att det finns kapacitet i uppgraderingsanläggning så bör kostnaden för att producera fordonsgas bli relativt låg. Med antagna förluster på 1,4 % i uppgraderingsanläggningen ökar produktionen med 1 430 MWh fordonsgas vilket motsvarar närmare 150 000 m³.

För att satsningen på ett flissystem ska gå jämnt upp krävs det att den frigjorda biogasen kan värderas till strax över 40 öre/kWh.

De produktionskostnader och avtal som är aktuella på Söderåsens biogasanläggning är inte offentliga. Därför uppskattas värdet på den frigjorda biogasvolymen baserat på uppgifter från E.ON Gas Sverige AB *et al.* (2007). Här anges kostnaden för distribution via naturgasnätet samt kostnaden för tankstationer till drygt 20 öre/kWh. Den totala kostnaden för uppgradering och propandoserung anges till cirka 15 öre/kWh för en anläggning på 15 GWh. Med ett antaget marknadspris för fordonsgas på 80 öre/kWh exklusive moms för privatbilister (Gasföreningen, 2009) blir betalningsförmågan för rågas 45 öre/kWh exklusive vinstmarginal. Med tanke på att Söderåsens biogasanläggning har en större produktionskapacitet än 15 GWh samtidigt som det bör uppstå vissa marginaleffekter vid en högre utnyttjandegrad av anläggningen bör biogasen rimligen kunna värderas till mer än 40 öre/kWh. Som en alternativ jämförelse är kostnaden för naturgas i storleksordningen 40 öre/kWh beroende på effektuttag och aktuella avtal med mera.

Jämfört med att använda biogas alternativt naturgas för att producera processvärme bör ett flissystem vara kostnadsneutralt.

Produktion, distribution och användning av skogsflis i ett mindre fjärrvärmeverk ger enligt Uppenberg *et al.* (2001) upphov till 12,3 gram CO₂-ekvivalenter och 9,7 mg NO₃⁻-ekvivalenter per kWh flis. Med en primärenergifaktor på 1,04 (Uppenberg *et al.*, 2001) motsvarar behovet av skogsflis 1 820 MWh primärenergi. Uppgifterna från Uppenberg *et al.* inkluderar dock inte den elektricitet som också behövs för att driva flissystemet. Här sätts enligt tidigare elbehovet till 3 % av den producerade mängden värme vilket motsvarar 42 MWh elektricitet eller 88 MWh primärenergi.

Biogassystemet ska också belastas med ökade emissioner och ökad energianvändning för uppgradering, distribution och tankning av fordonsgas samt propandoserung på samma sätt som i kapitel 5. Här ingår också ett metanläckage på 1,4 % från uppgraderingsanläggningen.

Slutligen genomförs en systemexpansion som inkluderar de minskade emissioner som uppstår när den extra produktionen av biogas ersätter bensin vilket antas minska emissionerna med 300 gram CO₂-ekvivalenter per kWh biogas.

Tabell 26: Förändrade emissioner vid alternativ uppvärmning av biogasanläggningen

| Aktivitet | Omfattning | Primärenergi | Emissioner |
|---------------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. |
| Användning av skogsflis | 1 750 MWh | 1 820 MWh | 21,5 ton |
| Elektricitet för flissystemet | 42 MWh | 88 MWh | 1,6 ton |
| Ökat läckage av CH ₄ | 1,5 ton CH ₄ | | 37,5 ton |
| Elektricitet för uppgradering | 57 MWh | 120 MWh | 2,2 ton |
| Elektricitet för tankning | 50 MWh | 105 MWh | 1,9 ton |
| Propan | 285 MWh | | 7,2 ton |
| Emissioner från biogaspanna | 1 500 MWh | | - 3,6 ton |
| Ersättning av bensin | 1 500 MWh | | - 425 ton |
| Totalt | | 2 133 MWh | - 356 ton |

11.3 Pumpning av flytgödsel och biogödsel

Den flytgödsel som tillförs biogasanläggningen kommer huvudsakligen från Änggården som ligger 2,5 km bilväg från biogasanläggningen. Fågelvägen är avståndet dock inte mer än 1,5 km. Genom att pumpa gödsel in till anläggningen skulle behovet av diesel minska samtidigt som användningen av elektricitet skulle öka. Mängden flytgödsel som transporteras från Änggården uppgår till cirka 3 100 m³ och samtidigt transporteras cirka 5 000 m³ biogödsel tillbaka för att spridas på åkermark runt gården.

Så som beskrivs i bilaga C antas här att behovet av elektricitet är 0,2 kWh/ton och km vilket ger ett totalt behov av 2,4 MWh elektricitet eller 5,1 MWh primärenergi. Samtidigt undviks lastbilstransporter med ett energibehov på 8,4 MWh diesel eller 9,2 MWh primärenergi, se kapitel 2 och 7.

Om det antas att den elektricitet som används är svensk medel minskar emissionerna av CO₂-ekvivalenter med närmare 2,2 ton, se också Tabell 27.

Tabell 27: Förändrad användning av primärenergi och emissioner när pumpning ersätter lastbilstransport

| Aktivitet | Omfattning | Primärenergi | Emissioner |
|-------------------------|------------|------------------|-----------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. |
| Lastbilstransport | 8 100 ton | - 9,2 MWh | - 2,3 ton |
| Pumpning (svensk medel) | 8 100 ton | 5,1 MWh | 91 kg |
| Totalt | - | - 4,1 MWh | - 2,2 ton |

Kostnaden för att etablera en tryckledning för att pumpa flytgödsel och biogödsel beskrivs närmare i bilaga C. Där framgår bland annat att kostnadsbilden varierar mellan 400 – 900 kr/m för ett komplett pumpsystem.

Här sätts kostnaden till 300 kr/m för själva tryckledningen inklusive grävning. Därutöver tillkommer två stycken pumpar för att möjliggöra pumpning av flytgödsel och biogödsel i båda riktningarna samt ett radiosystem för start och stopp av pumparna till en total kostnad på 750 000 kr.

Den totala kostnaden för pumpsystemet uppgår därmed till 1,2 miljoner kr. Med en kalkylränta på 5 % och en avskrivningstid på 20 år för tryckledningen och 10 år för övriga investeringar uppgår kapitalkostnaden därmed till drygt 130 000 kr/år.

Mängden material som ska pumpas uppgår 3 100 ton flytgödsel och 5 000 ton biogödsel. Med en antagen drift och underhållskostnad för pumpningen på maximalt 1 kr/m³ uppgår kostnaden till cirka 8 000 kr/år. Den totala kostnaden för pumpningen sätts därför till 140 000 kr/år.

Samtidigt minskar kostnaden för lastbilstransporten av flytgödsel och biogödsel. På den aktuella sträckan bedöms transportkapaciteten med lastbil uppgå till 140 ton/h. Med en timtaxa på 850 kr blir transportkostnaden strax över 6 kr/ton exklusive framkörningsavgift. Totalt uppgår kostnaden för att transportera flytgödsel och biogödsel därmed till cirka 50 000 kr/år.

Nettokostnaden för att etablera en pumpledning blir därmed 90 000 kr/år.

Kostnaden för att minska emissionerna av växthusgaser blir därmed **cirka 40 kr/kg CO₂-ekvivalent eller 0,4 öre/kWh fordonsgas**. Om den elektricitet som användes vore helt CO₂-neutral sjunker kostnaden med någon krona per kg.

11.4 Oxidering av metanläckage

På Söderåsens biogasanläggning är metanläckaget från uppgraderingen den i särklass största källan till emissioner av växthusgaser. Därutöver tillkommer metanläckaget från biogasproduktionen som också har stor betydelse.

Olika uppgraderingstekniker ger olika stora metanläckage men som tidigare nämnts baseras föreliggande analys på befintlig teknik och andra processlösningar undersöks inte. Däremot kan det vara möjligt att komplettera den befintliga anläggningen med olika lösningar för att minska metanläckaget.

Avfall Sverige (2007) anger till exempel att metanläckaget från en uppgraderingsanläggning skulle kunna förbrännas i en panna tillsammans med någon form av stödbränsle (eftersom metanhalten i restgasen normalt är för låg för antändning och självuppehållande förbränning). Andra lösningar som också nämns är regenerativ termisk oxidation (RTO), flamlös oxidation eller katalytisk oxidation.

Av dessa finns det idag några installationer av *RTO* i Sverige varför denna teknik används som exempel här. Tekniken bygger på en bädd av keramiskt material som hettas upp till 1 000 °C. Därefter leds den metanhaltiga restgasen in i bädden och metanet oxideras. Värmen som bildas värmer upp den keramiska bädden i strömningsriktningen och därför vänds flödet med jämna mellanrum så att processen i princip är självgående efter att den startats upp (Avfall Sverige, 2007; Megtec, 2009). Reduceringen av metan är minst 95 % och normalt ytterligare något mer (Elmeklo, 2009).

Utöver restgasen från uppgraderingen är det också möjligt att koppla andra gasflöden till samma applikation, till exempel ventilationsluft från biogasanläggningens mottagningshall. Här genomförs dock endast beräkningar för oxidering av metanläckaget från uppgraderingen.

Investeringskostnaden för systemet kan uppgå till cirka 2 miljoner kr vilket dock är en relativt grov uppskattning då det beror på de platsspecifika förhållandena (Elmeklo, 2009).

Här sätts dock kostnaden till 2 miljoner kr vilket motsvarar närmare 200 000 kr/år med en avskrivningstid på 15 år och en kalkylränta på 5 %. Underhållskostnaderna sägs vara mycket låga (Megtech, 2009) och den totala kostnaden sätts därför till 200 000 kr/år.

Om 90 % av metanläckaget kan oxideras innebär det att emissionerna minskar med närmare 500 ton CO₂-ekvivalenter till en kostnad på 0,4 kr/kg CO₂-ekvivalent. Uttryckt per kWh fordonsgas motsvarar det en kostnad på 0,9 öre/kWh.

Emissionerna av NO_x från den keramiska bädden anges av Megtec (2009) till <5 mg/Nm³. Med ett flöde på 150 Nm³/h motsvarar det 9 kg NO₃⁻-ekvivalenter/år.

Tabell 28: Förändrade emissioner vid oxidering av metanläckaget från uppgraderingsanläggningen

| Aktivitet | Omfattning | Primärenergi | Emissioner |
|-------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. |
| Oxidering av CH ₄ | 28 500 m ³ | – | - 484 ton |
| Emissioner av NO _x | 6,6 kg | – | |

11.5 Täckning av biogödsellager

Den biogödsel som produceras vid Söderåsens biogasanläggning lagras idag i 5 stycken brunnar á 5 000 m³. Diametern uppgår till 36 m och i dagsläget är de inte täckta. Som beskrivits i kapitel 6 antas att emissionerna uppgår till 5,9 kg CO₂- respektive 1,6 kg NO₃⁻-ekvivalenter per ton biogödsel. Ett sätt att minska dessa emissioner är att täcka lagren med tak. Principiellt finns det två lösningar där den enklare lösningen är ett regntätt tak som antas minska emissionerna av NH₃ med 90 % (Jordbruksverket, 2007) samtidigt som biogödseln inte späds ut med regnvatten. Observera att denna lösning inte antas påverka metanläckaget.

Ett mer avancerat alternativ är att täcka lagren med gastäta tak som möjliggöra uppsamling av biogas. Den här lösningen skulle ha stor betydelse för att minska emissionerna av växthusgaser men lagrens storlek kan göra det svårt att hitta lämpliga lösningar. Hermansson (2009) uppger till exempel att det största dubbelmembrantak i deras sortiment har en diameter på cirka 30 m. Dessutom är det inte helt okomplicerat att bygga den här typen av tak på befintliga behållare.

I föreliggande analys inkluderas därför inte möjligheten till gasuppsamling från befintliga biogödsellager. En alternativ lösning är dock att bygga en ny behållare med gastät lagring där biogödseln tillåts svalna ytterligare innan den lagras i befintliga lager eller att biogödseln aktivt kyls innan den pumpas ut till lagren. Här undersöks effekterna av att komplettera anläggningen med ytterligare en efterrötkammare däremot utreds inte möjligheten att aktivt kyla biogödseln.

Först presenteras dock konsekvenserna av att täcka befintliga biogödsellager. Emissionerna av NH₃ skulle då uppskattningsvis kunna minska med cirka 400 gram/ton samtidigt som de indirekta emissionerna av lustgas bedöms kunna minska med cirka 6 gram/ton. De sammanlagda emissionerna bedöms därmed minska med cirka 70 ton NO₃⁻-ekvivalenter och 90 ton CO₂-ekvivalenter.

Dessutom innebär de minskade emissionerna av NH₃ att biogödselns innehåll av kväve ökar med 16 ton. Om det antas att denna extra växtnäring ersätter mineralgödsel minskar emissionerna med ytterligare cirka 98 ton CO₂-ekvivalenter per år, se bilaga I.

Därutöver minskar volymen biogödsel med 5 000 ton genom att regnvatten inte längre hamnar i behållarna vilket i sin tur minskar transportbehovet, spridningsarbetet och markpackningen. Energibehovet för att fylla och tömma lastbilarna sätts precis som i kapitel 2 till 0,4 kWh/m³ vilket ger ett minskat energibehov på 2 MWh diesel. Det genomsnittliga transportavståndet sätts till 5 km med ett energibehov på 4,5 kWh/km. Med en lastkapacitet på 35 ton minskar behovet av diesel med 6,4 MWh. Energibehovet för spridningen sätts som tidigare till 3 kWh diesel/ton vilket ger ett minskat energibehov på 15 MWh diesel.

Slutligen minskar risken för markpackning och det antas här att det är den konventionella spridningen med tunna som minskar. Därmed minskar emissionerna med cirka 70 ton CO₂-ekvivalenter och cirka 5 ton NO₃-ekvivalenter per år, se bilaga H.

Sammanfattningsvis bedöms att en täckning av biogödselbrunnarna minskar biogassystemets emissioner av CO₂-ekvivalenter med cirka 270 ton, se också Tabell 29. Detta motsvarar ungefär 20 % av de direkta emissionerna av växthusgaser respektive 80 % av nettoemissionerna när också indirekta effekter inkluderas.

Tabell 29: Förändrade emissioner och användning av primärenergi när biogödsellagren täcks

| Aktivitet | Omfattning | Primärenergi | Emissioner |
|--------------------------------|------------|------------------|-----------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. |
| Läckage av NH ₃ | 19,4 ton | | - 92 ton |
| Ersättning av mineralgödsel | 16 ton N | 200 MWh | - 98 ton |
| Transport och spridningsarbete | 5 000 ton | 26 MWh | - 6,4 ton |
| Markpackning | 5 000 ton | 96 MWh | - 70 ton |
| Totalt | | - 322 MWh | - 266 ton |

Kostnaden för att täcka brunnarna med tak uppskattas till totalt 1,5 miljoner kr (Beckman, 2008). Med en avskrivningstid på 10 år och en kalkylränta på 5 % motsvarar det 200 000 kr/år.

Värdet av att det minskade transport- och spridningsarbetet bedöms här till minst 20 kr/ton (Tornerhjelm, 2008). Värdet av att minska volymen uppgår därmed till 100 000 kr/år.

Utan att värdera det extra kväve som stannar i biogödseln blir kostnaden för att täcka biogödsellagren därmed närmare 40 öre/kg CO₂-ekvivalent eller 0,5 öre/kWh fordonsgas.

För att nå ett nollresultat krävs det att den extra växtnäringen som stannar i biogödseln värderas till 100 000 kr/år vilket motsvarar drygt 6 kr/kg N. Samtidigt anger Greppa Näringen (2009) att marknadspriset på mineralgödsel är 15 kr/kg N.

Givet att biogödseln betingar ett sådant värde medför en täckning av brunnarna därmed inte någon kostnad utan en intäkt på cirka 50 öre/kg CO₂-ekvivalent.

En täckning av befintliga brunnar bedöms därför variera från att vara kostnadsneutralt till företagsekonomiskt lönsamt beroende på hur växtnäringen värderas.

Som beskrivits tidigare bedöms det vara svårt att täcka befintliga brunnar med gastäta tak som medger gasuppsamling. Här antas därför att biogasanläggningen kompletteras med ytterligare en efterrötkammare där biogödseln får svalna ytterligare samtidigt som eventuell metanproduktion tas omhand. Här görs det grova antagandet att en uppehållstid på en vecka är tillräckligt för att biogasproduktionen ska klinga av fullständigt. Därmed skulle emissionerna av CH₄ minska med 180 ton/år. Observera att detta är ett osäkert antagande samtidigt som det faktiska metanläckaget från biogödsellagren också är relativt osäkra.

Utöver det minskade metanläckaget krediteras åtgärden för att biogasproduktionen ökar vilket i slutändan minskar användningen av bensin. Samtidigt minskar de positiva effekterna något av att det sker en viss metanförlust i uppgraderingsanläggningen och att det också krävs en del elektricitet för uppgradering och komprimering, se Tabell 30.

Tabell 30: Förändrade emissioner och användning av primärenergi med en ytterligare efterrötkammare

| Aktivitet | Omfattning | Primärenergi | Emissioner |
|--|-----------------------|----------------|-----------------------|
| | | | CO ₂ -ekv. |
| Läckage av CH ₄ från lager | 10 000 m ³ | | -180 ton |
| Läckage av CH ₄ från uppgradering | 142 m ³ | | 2,5 ton |
| Elektricitet för uppgradering | 4 MWh | 8,4 MWh | 0,2 ton |
| Elektricitet för tankning | 3,5 MWh | 7,4 MWh | 0,3 ton |
| Ersatt bensin | 100 MWh | 210 MWh | -28,3 ton |
| Totalt | | 226 MWh | - 205 ton |

Kostnaden för en efterrötkammare på cirka 1 000 m³ bedöms vara 1,5 miljoner kr (Edström et al., 2008). Med en avskrivningstid på 20 år och en kalkylränta på 5 % blir den årliga kapitalkostnaden cirka 120 000 kr.

Utan att beakta värden av den extra produktionen av biogas uppgår kostnaden därmed till cirka 50 öre/kg CO₂ vilket är dyrare än att oxidera metanläckaget från uppgraderingsanläggningen.

Om det antas att biogasen kan värderas till 40 öre/kWh, se kapitel 11.3, sjunker kostnaden till cirka 40 öre/kWh vilket är jämförbart med att oxidera metanläckaget.

11.6 Sammanställning av förbättringsåtgärder

De möjliga förbättringsåtgärder som presenterats här är olika effektiva när det gäller att minska emissionerna av växthusgaser i faktiska tal uttryckt i kr/kg CO₂, se Tabell 31 där åtgärderna listas efter kostnadseffektivitet.

Ur ett ekonomiskt perspektiv är det mest intressant att täcka biogödsellagren och att installera ett flissystem för att producera processvärme. Det ekonomiska utfallet beror dock på hur biogas och kväve värderas. Den i särklass dyraste åtgärden är att etablera en pumpledning för biogödsel och flytgödsel.

Generellt kan det konstateras att ett minskat metanläckage har stor betydelse för att minska emissionerna. Åtgärder som ökar den tillgängliga mängden biogas får också stort genomslag då det antas att den extra biogasen ersätter bensin. Att pumpa biogödsel och flytgödsel har däremot mycket liten betydelse räknat i faktiska emissionsminskningar i det aktuella fallet. Kostnaden per kg CO₂-ekvivalent blir också hög.

Intressant att notera är att det räcker att bygga tak på biogödsellagren samt att använda elektricitet från vattenkraft, vilka kan vara de i praktiken enklaste åtgärderna att implementera, för att biogassystemet ska vara utsläppsneutralt när det gäller växthusgaser. Dessa båda åtgärder medför också mycket små merkostnader alternativt besparingar beroende på hur det extra kvävet värderas.

Det kan också konstateras att om samtliga här presenterade åtgärder skulle genomföras ökar produktionskostnaden med mindre än 2 öre/kWh fordonsgas.

Tabell 31: Sammanställning av föreslagna förbättringsåtgärder

| Åtgärd | Emissionsminskning (ton CO ₂ -ekv.) | Kostnad (kr/kg CO ₂ -ekv.) | Kostnad (öre/kWh fordonsgas) |
|---------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| Tak på biogödsellager | 266 | -0,5 – 0 | -0,6 – 0 |
| Flis för processvärme | 356 | 0 | 0 |
| Förnybar elektricitet | 70 | 0,14 | 0,05 |
| Oxidering av metanläckage | 484 | 0,4 | 0,9 |
| Extra gasuppsamling | 205 | 0,4 | 0,4 |
| Pumpning av biogödsel & flytgödsel | 2 | 40 | 0,4 |
| Totalt | 1 677 | | 1,15 – 1,75 |

12. Diskussion

I föreliggande studie har biogassystemet kring Söderåsens biogasanläggning studerats med avseende på användningen av energi och emissioner som bidrar till växthuseffekten respektive övergödning. Systemstudien inkluderar framförallt sådana aktiviteter som ingått i liknande analyser men i stor utsträckning med nya data. Dessutom har ett antal olika aktiviteter identifierats som inte inkluderats i tidigare studier och därmed har komplexiteten men också förståelsen för vad som har betydelse för biogassystemet egenskaper ökat. Dessutom inkluderar studien förslag på några identifierade förbättringsåtgärder där såväl effekter som kostnader översiktligt beräknats.

12.1 Energianvändning

Söderåsens biogasanläggning använder idag cirka 1 kWh primärenergi för att producera, distribuera och komprimera 5,5 kWh fordonsgas om indirekta effekter, framförallt ersättning av mineralgödsel, inkluderas.

Av de energibärare som används i systemet är det elektricitet som har i särklass störst betydelse för resultatet. Därmed har antagandena om primärenergifaktor för elektriciteten också stor betydelse. Det märks mycket tydligt i det *bästa scenario* som presenterats här där biogassystem till och med medför en minskad energianvändning även utan någon avsättning för fordonsgasen. Detta kan i stor utsträckning förklaras av att den elektricitet som används i systemet antas vara producerad i ett vattenkraftverk istället för att vara svensk elmix. Andra viktiga faktorer är hur den ersatta mineralgödseln har producerats och spridits. Om beräkningarna istället baseras på de antaganden som är minst fördelaktiga för biogassystemet ökar användningen av energi med drygt 50 % vilket ger en energibalans på 3,4.

Det kan till exempel jämföras med produktionen av etanol och biogas från vete där energibalansen oftast är mellan 2 och 3 beroende på antaganden om allokering och systemutvidgning (Börjesson och Tufvesson, 2009). Oavsett om beräkningarna här baseras på hög eller låg användning av primärenergi är den aktuella produktionen betydligt energieffektivare jämfört med att använda odlade grödor vilket inte är särskilt anmärkningsvärt då Söderåsens biogassystem huvudsakligen är baserat på avfall. Intressant är dock att det aktuella biogassystemet i bästa fall kan uppvisa en energibalans som är betydligt bättre än vad Börjesson och Tufvesson (2009) anger för 2:a generationens drivmedel baserat på *Salix* som har en energibalans på cirka 10.

Principiellt är det också viktigt att diskutera vilken typ av elektricitet som ska användas i specifika fallstudier respektive mer generella analyser. I det enskilda fallet är det rimligen så att biogasproduktionen kan baseras på den typ av elektricitet som faktiskt köps in. I en mer generell systemanalys kan det dock diskuteras huruvida beräkningarna ska baseras på en genomsnittlig mix av produktionsanläggningar eller ett marginalresonemang. Trenden idag är dock att huvudsakligen använda medel i systemanalyser.

12.2 Växthusgaser

Produktion av biogas som ska användas som fordonbränsle, så kallad fordonsgas, kan motiveras på flera olika sätt. I dagsläget är det kanske viktigaste argumentet för produktion och användning av förnybar energi, så som biogas, att emissionerna av växthusgaser minskar. Det är därför viktigt

att de biogassystem som implementeras är så effektiva som möjligt vilket i detta avseende innebär att produktionen som sådan ska generera så låga emissioner av växthusgaser som möjligt.

Den fordonsgas som produceras i det aktuella biogassystemet bedöms i basfallet generera cirka 16 gram CO₂-ekvivalenter/kWh om såväl direkta som indirekta effekter inkluderas. Jämfört med bensin innebär det en minskning med över 90 %. Emissionerna påverkas i stor utsträckning av det metanläckage som antas ske från produktion och uppgradering samt lagringen av biogödsel. Enskilt störst betydelse har dock ersättningen av mineralgödsel. I känslighetsanalysen kan det konstateras att dessa har fortsatt stor betydelse men att typen av elektricitet också är mycket viktig. Om det antas att elektriciteten producerats i en naturgaskombi har dessa emissioner lika stor betydelse för systemets totala emissioner av växthusgaser som läckaget av CH₄ och de indirekta emissionerna av N₂O tillsammans.

Läsaren bör också observera att det aktuella systemet belastats med nettoeffekten av att tillsätta propan till naturgasnätet samt att en del av substratet tidigare användes som foder som nu måste framställas på annat sätt. Detta har såvitt vi kunnat se inte inkluderats i tidigare systemanalyser vilket är till nackdel för det aktuella biogassystemet vid en eventuell jämförelse.

Vid en jämförelse med andra förnybara drivmedel uppger till exempel Börjesson och Tufvesson (2008) att etanol från vete och RME från raps genererar cirka 60 respektive 100 gram CO₂-ekvivalenter/kWh förutsatt att respektive biprodukt kan avsättas som foder.

Den fordonsgas som produceras vid Söderåsens biogasanläggning genererar därmed betydligt mindre emissioner än övriga svenska förnybara drivmedel som finns på marknaden idag.

Söderåsens biogasanläggning skulle dessutom med enkla medel, som bedöms vara kostnadsneutrala eller till och med kunna generera en viss vinst, kunna sänka sina nettoemissioner av växthusgaser till mindre än noll.

12.3 Övergödning

När det gäller biogassystemets effekter på övergödningen är dessa i princip fullständigt kopplade till lagring och hantering av biogödsel och de gödselmedel som ersatts av dessa. I basfallet uppgår utsläppen till drygt 6 gram NO₃⁻-ekvivalenter/kWh vilket är något lägre jämfört med vad som beräknats för etanol av Börjesson och Tufvesson (2008) och klart bättre än för RME. Resultatet för biogassystemet beror framförallt på vilka antaganden som görs för spridningsförluster av kväve.

12.4 Förbättringsåtgärder

Söderåsens biogasanläggning är en modern anläggning med en effektiv produktion när det gäller användningen av energi och uppkomna emissioner. Trots det finns det ett antal förbättringar som skulle kunna genomföras. Denna studie gör dock inga anspråk på att ha identifierat samtliga möjliga förbättringsåtgärder.

Inledningsvis kan det konstateras att effekterna av en specifik åtgärd beror på vilka antaganden som gjorts med avseende på exempelvis de emissioner som kan undvikas. Åtgärder för att komma tillrätta med relativt osäkra problem, till exempel metanläckage från biogödsellagren, blir därmed också relativt svåra att värdera. Samtidigt baseras de kostnadsberäkningar som genomförts på

förhållandevis grova schabloner. Här är dock det primära syftet att kvantifiera och rangordna olika åtgärder och för det ändamålet bedöms tillgänglig data vara fullt tillräcklig.

Huruvida en åtgärd är intressant att genomföra avgörs av dess kostnadseffektivitet i relation till andra möjliga åtgärder. Här delas de olika åtgärderna in i tre olika kategorier.

Företagsekonomiskt kostnadseffektiva

Dessa åtgärder bedöms i sämsta fall vara kostnadsneutrala och i bästa fall generera ett visst överskott till företaget. Detta är därmed åtgärder som kan eller bör genomföras ur ett strikt företagsekonomiskt perspektiv. I det aktuella fallet bedöms en täckning av biogödsellagren samt en övergång till flis för att producera processvärme hamna inom denna kategori.

Samhällsekonomiskt kostnadseffektiva

Dessa åtgärder medför kostnader som inte kan räknas hem på företagsnivå om företaget inte inkluderar andra faktorer så som marknadsföringsvärde med mera. Åtgärderna kan dock vara samhällsekonomiskt intressanta jämfört med kostnaderna för andra åtgärder.

Sådana beräkningar är av naturliga skäl mycket komplexa och ligger inte inom ramen för föreliggande studie. Som ett exempel anger dock Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyl- och analysmetoder (SIKA, 2008) en kalkylkostnad på **1,5 kr/kg CO₂** för transportsektorn.

Det kan jämföras med koldioxidskatten på drivmedel som 2008 var strax över **1 kr/kg CO₂**. I en utvärdering av klimatinvesteringsprogrammet (Naturvårdsverket, 2008) anges att statens kostnad för de olika klimatinvesteringarna 2003 – 2008 uppgår till cirka 0,1 kr/kg CO₂. Samtidigt ligger kostnaden för utsläppsrätter idag på cirka 0,1 – 0,15 kr/kg CO₂.

Här görs ingen bedömning av vilken nivå som är mest relevant att använda i det specifika fallet. Det kan dock konstateras att samtliga åtgärder förutom pumpning av biogödsel och flytgödsel medför kostnader som är avsevärt lägre än den kalkylkostnad som rekommenderas av SIKA (2008) och också är avsevärt lägre än nuvarande skatt på koldioxid. Jämfört med priset på utsläppsrätter är det dock endast en övergång till förnybar elektricitet som är kostnadseffektivt.

Övriga

Dessa åtgärder är sådana som inte bedöms vara kostnadseffektiva vare sig ur ett företags- eller samhällsekonomiskt perspektiv. De bör därför inte genomföras om minskade emissioner av växthusgaser är det enda som beaktas. Bland de identifierade åtgärderna är det endast pumpningen som faller in under denna kategori. Anledningen till att pumpning faller dåligt ut i det aktuella fallet är att volymerna som kan transporteras på detta sätt är relativt små.

Då pumpning generellt medför höga kapitalkostnader och låga driftskostnader innebär det att i ett system där stora volymer kan pumpas från en punkt till en annan kan pumpning vara kostnadseffektivt. Det kan också vara kostnadseffektivt vid mycket korta transportavstånd eller där en ledning skulle medföra en stor minskning av transportavståndet. Andra fördelar som inte beaktats här är exempelvis att pumpning medför mindre buller och utsläpp av andra föroreningar jämfört med lastbilstransport vilket kan värderas högt i känsliga områden.

13. Slutsatser

Ett syfte med föreliggande studie är att presentera data specifika för Söderåsens biogassystem. De faktiska värdena för energibalans och miljöpåverkan kan därför inte rakt av användas för andra biogassystem även om många delresultat är av mer generell natur. Ett annat syfte är att beskriva en modell för hur en energi- och miljösystemstudie kan genomföras för en specifik biogasanläggning och vilka parametrar som är viktiga att beakta.

Specifikt för Söderåsens biogasanläggning gäller att:

- Produktionen av fordonsgas beräknas ha en energibalans på cirka 5,5. Känslighetsanalysen visar att systemet i sämsta fall får en energibalans på 3,4 och i bästa fall medför en minskad energianvändning även utan att beakta den producerade biogasen när förutsättningarna ändras.
- Emissionerna av växthusgaser uppgår till 16 gram/kWh fordonsgas med en variation från -50 – 125 gram/kWh. I basfallet domineras de direkta effekterna av metanläckaget från anläggningen. Dessa uppvägs mer än väl av de minskade emissionerna av lustgas från produktionen av mineralgödsel. Om det istället antas att elektriciteten producerats med naturgas som bränsle är det användningen av elektricitet som har störst betydelse för emissionerna. Typen av elektricitet har också större betydelse än om den ersatta mineralgödseln producerats med eller utan lustgasrening.

Jämfört med bensin sänker fordonsgasen som producerats på Söderåsens biogasanläggning i basfallet emissionerna av växthusgaser med närmare 95 %. I bästa fall sjunker emissionerna med närmare 120 % och i sämsta fall sjunker de med 60 %.

De emissioner som här antagits i basfallet är därmed klart bättre än motsvarande data för etanol från vete och RME från raps som i andra studier bedöms sänka emissionerna med cirka 80 % respektive 65 % förutsatt att biprodukterna används som foder.

- Bidraget till övergödningen beräknas uppgå till cirka 6 gram NO_3 -ekv./kWh och variera från -3 – 16 gram/kWh. En mycket stor andel av emissionerna är kopplade till lagring och spridning av biogödsel. En eventuell täckning av biogödsellagren skulle därför medföra en betydande förbättring.
- Den påverkan på åkermark som uppstår när biogödsel ersätter mineralgödsel är inte försumbar och bör därför inkluderas i liknande systemanalyser, särskilt om biogödseln sprids på åkermark som är känslig för packskador.
- Föreliggande studie har identifierats flera möjliga åtgärder för att sänka emissionerna av växthusgaser. De åtgärder som har störst betydelse för att minska emissionerna leder till ett minskat läckage av CH_4 och/eller medför en ökad produktion av fordonsgas samt ökar mängden tillgängligt kväve i biogödseln.

- Om anläggningen täcker biogödsellagren och installerar en flispanna, vilket inte bedöms medöra några nettokostnader, minskar emissionerna av växthusgaser till -13 gram/kWh.
- För övriga åtgärder bedöms nästan samtliga medföra kostnader under 50 öre/kg CO₂, vilket är hälften av nuvarande koldioxidskatt och en tredjedel av den kalkylkostnad som presenteras av SIKÅ (2008). Om dessa åtgärder genomförs sjunker emissionerna till - 60 gram/kWh vilket motsvarar en reduktion på cirka 120 % jämfört med bensin.
- Att pumpa en del biogödsel och flytgödsel har i föreliggande studie visat sig vara en mycket dyr lösning med liten effekt på de totala emissionerna av växthusgaser. Anledningen till detta är framförallt de relativt små volymer som är aktuella för pumpning. Pumpning kan dock ge andra miljövinster som inte beaktats här.
- Att genomföra de föreslagna förbättringsåtgärderna skulle öka produktionskostnaden med mindre än 2 öre/kWh fordonsgas. Om hela summan läggs på priset till slutkund bedöms priset öka med ett par procent.

14. Referenser

- Agriwise (2009) Exempel på drivmedelsåtgång för traktorer vid olika arbetsoperationer, Databoken, 2009, www.agriwise.org
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Moitzi, G. och Amon, T. (2006) *Greenhouse gas and ammonia emissions abatement by slurry treatment*, International Congress Series, 1293: 295 – 298
- Anker Thyø, K. och Wenzel, H. (2007) *Life Cycle Assessment of biogas from Maize silage and from Manure – for transportation and for heat and power production under displacement of natural gas based heat works and marginal electricity in northern Germany*, 2nd Draft, Xergi A/S
- Arvidsson, J. (2008) *Jordpackning vid stallgödselspridning – en beräkningsmodell till stallgödselprogrammet STANK*, Inst. för mark och miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Arvidsson, J. and Håkansson, I. (1991) *A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction*, Soil Tillage Research, 20, 319-332.
- Arvidsson, J. och Håkansson, I. (1992) *En beräkningsmodell för skördeförkluster orsakade av jordpackning*, rapport nr 82, Avd. för jordbearbetning, Inst. för Markvetenskap, SLU.
- Avfall Sverige (2007) Frivilligt åtagande – inventering av utsläpp från biogas- och uppgraderingsanläggningar, rapport 2007:2, Avfall Sverige Utveckling
- Beckman, A. (2008) *Försäljare, MPG Miljöprodukter AB*, personlig kommunikation hösten 2008
- Benjaminsson, J. (2006) *Nya renings- och uppgraderingstekniker för biogas*, rapport 163, Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö
- Berglund, M. och Börjesson, P. (2006) *Assesment of energy performance in the life cycle of biogas production*, Biomass and Bioenergy 30:254 – 266
- Bertilsson, J. (2009) *Forskningsledare, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, SLU*, personlig kommunikation våren 2009
- Bioenergiportalen (2009) Energilösningen på Ekenäs Gård, <http://www.bioenergiportalen.se/?p=3095>, hämtad 2009-05-13
- Björnsson, L. (2008) *Biogasgruppen vid avdelningen för bioteknik, LTH*, personlig kommunikation under 2008
- Buchhave, K. (2007) *Bigadan A/S*, personlig kommunikation december 2007
- Börjesson, P. och Berglund, M. (2003) *Miljöanalys av biogassystem*, rapport 45, Miljö och Energisystem, Lunds Tekniska Högskola
- Börjesson, P. och Berglund, M. (2006) *Environmental systems analysis of biogas systems – Part I: Fuel-cycle emissions*, Biomass and Bioenergy, 30:469 – 485

- Börjesson, P. och Berglund, M. (2007) *Environmental systems analysis of biogas systems – Part II: The environmental impact of replacing various reference systems*, Biomass and Bioenergy, 31:326 – 344
- Börjesson, P. och Tufvesson, L. (2008) *Agricultural crop-based biofuels – resource efficiency and environmental performance*, submitted to *Journal of Cleaner Production*.
- Christensson, J. (2007) *Rötresttransport från en gårdsbaserad biogasproduktion, en fallstudie*, examensarbete, Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp
- Clemens, J., Trimborn, M., Weiland, P. och Amon, B. (2006) *Mitigation of greenhouse emissions by anaerobic digestion of cattle slurry*, Agriculture Ecosystems & Environment, 112: 171 – 177
- Concawe (2007) *WELL-to-TANK Report, Version 2c*, Well-to-Wheels analyses of future automotive fuels and power trains in the European context, EUCAR, Concawe och the Institute for environment and Sustainability of the EU Commission's Joint Research Center
- Dahlgren, S. (2008) *Presentation vid sideevent till World Bioenergy 2008*, <http://www.gasforeningen.se/upload/files/seminarier/world%20bioenergy/stefan%20d.pdf>, hämtad 2008-10-20
- Davis, J., Haglund, C. (1999) *Life cycle inventory (LCI) of fertiliser production: Fertiliser products used in Sweden and Western Europe*, SIK-report 654, The Swedish Institute for Food and Biotechnology. Göteborg, Sweden.
- Dustan, A. (2002) Review of methane and nitrous oxide emissions factors for manure management in cold climates, rapport 299, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Edström, M., Pettersson, O., Nilsson, L. och Hörndahl, T. (2005) *Jordbrukssektorns energianvändning*, Lantbruk & Industri, rapport 342, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- Edström, M., Jansson, L-E., Lantz, M., Johansson, L-G., Nordberg, U. och Nordberg, Å. (2008) *Gårdsbaserad biogasproduktion – System, ekonomi och klimatpåverkan*, Kretslopp & Avfall, rapport 42, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- EG (2002) *Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1774/2002 av den 3 oktober 2002 om hälsobestämmelser för animaliska biprodukter som inte är avsedda för att användas som livsmedel*, Europeiska Gemenskapernas officiella tidning
- Elmeklo, H. (2008) *Försäljningschef Megtech Systems AB*, personlig kommunikation våren 2008
- Ekdalen (2008) *Ekdalens Maskinstation*, www.ekdalen.se, hämtad 2009-05-12
- Energimyndigheten (2007) *Energiläget 2007*, Statens Energimyndighet
- Energimyndigheten (2008) *Koldioxidvärdering av energianvändning – Vad kan du göra för klimatet? Underlagsrapport*, Statens Energimyndighet
- Energimyndigheten (2009) *Prisblad för biobränslen, torv m.m. Nr 1/2009*, Energimyndigheten

- Energistyrelsen (2008) *Forudatninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*, Energistyrelsen
- Erlingsson, M. (2009) *Marknadsdirektör Yara*, personlig kommunikation våren 2009
- E.ON Gas Sverige AB, LRF, LRF Konsult, Svenska Biogasföreningen och Svenska Gasföreningen (2007) *Gårdsproduktion av biometan – En jämförelse av produktionskostnader och marknadsvärde för olika avsättningsalternativ*, En del av ett samarbete mellan LRF, Svenska Gasföreningen och E.ON Gas Sverige AB.
- E.ON (2009) *El – miljöval*
<http://www.eon.se/templates/Eon2TextPage.aspx?id=48599&cepslanguage=SV>
- EU (2007) *Integrated Pollution Prevention and Control, reference document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals – Ammonia, Acids and Fertilisers*, Commission of the European Communities
- EU (2008) *Proposal for a Directive of the European parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources, COM(2008) 19 Final*, Commission of the European Communities
- Eveborn, D., Baky, A., Norén, A., Palm, O. (2008) *Erfarenheter och kunskapsläge vid tömning av slamavskiljare*, rapport 41, Institutet för Jordbruks- och Miljöteknik, Uppsala
- Fischer, T. (2008) *E.ON Gas AB*, personlig kommunikation sommaren 2008
- Flysjö, A., Cederberg, C. och Strid, I. (2008) *LCA-databas för konventionella fodermedel – miljöpåverkan i samband med produktion, Version 1*, rapport 772, Institutet för Livsmedel och Bioteknik, SIK.
- FNR (2006) *Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung*, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland (2007) *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Gasföreningen (2005) *Biogasanvisningar BGA 05*, Svenska Gasföreningen
- Gasföreningen (2008) *Gasol*, Svenska Gasföreningen
- Gasföreningen (2009) *Aktuella priser*, <http://www.gasbilen.se/Tanka/AktuellaPriser.aspx> hämtad 2009-05-13, Svenska Gasföreningen
- Ghafoori, E., Flynn, P.C. och Feddes, J.J. (2007) *Pipeline vs. Truck transport of beef cattle manure*, Biomass and Bioenergy, 31:168 – 175

- Gissén, C. (2008) *Forskningsassistent, Område Jordbruk*, Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp, personlig kommunikation hösten 2008
- Greppa Näringen (2009) *Stallgödselkalkyl*,
<http://www.greppa.nu/stallgodsel/varderadinstallgodsel.4.1c0ae76117773233f780001828.html>, hämtad 2009-05-13
- Grönkvist, S., Stenkvist, M. och Paradis, H. (2008) *Nordeuropeisk Energikarta*, IVA
- Hammarström, U. och Yahya, M-R. (2000) *Uppskattning av representativa bränslefaktorer för tunga lastbilar, Intervjuundersökning*, VTI rapport 445, Statens väg- och transportforskningsinstitut,
- Hansson, K. (2008) *NSR AB*, personlig kommunikation hösten 2008
- HBEFA (2004) *Handbook Emissions Factors for Road Transport, Version 2.1*, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape
- Helsingborg (2007) *Data om Helsingborg 2007*, Helsingborgs Kommun
- Hermansson, H (2009) Projektör SBI Lantbruk, personlig kommunikation våren 2009
- Holmgren, M. (2008) *Vattenfall Power Consultant*, Presentation om frivilligt åtagande vid den Nordiska Biogaskonferensen i Malmö 2008-03
- Hushållningssällskapet (2008) *Försöksprojekt Miljövänliga och Uthålliga odlingsformer*,
<http://www.odlingssystem.se/db.asp>, hämtad 2008-10-02
- IEA (2008) *Energy balances of OECD Countries*, IEA Statistics, International Energy Agency
- Ingelstam, E., Rönngren, R. och Sjöberg, S. (1999) *TEFYMA, Handbok för teknisk fysik, fysik och matematik*, Sjögrens Bokförlag AB, Helsingborg
- IPCC (2006) *2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston, H.S., Buendia, L. Miwa, K. Ngara, T. och Tanabe, K. (eds). Volume 4: Agricultural, Forestry and Other Land Use, IGES, Japan
- Ivarsson, S. (2008) *E.ON Gas AB*, personlig kommunikation, sommaren 2008
- Iwars, U. (1992) *Transport av flytgödsel i rörledning*, rapport 143, Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala
- Jansson, L-E. (2007) *Biogas på gården*, LRF
- Jarhein, C. (2007) *IGF Gasprodukter AB*, personlig kommunikation hösten 2007
- Jensen, J. (1993) *The Nordic methane project*, Danish Gas Technology Centre a/s, Hørsholm
- Jenssen, T. K., Kongshaug, G. (2003) *Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production*, The International Fertilizer Society, Proceedings No. 509, ISBN 0 85310 1450.

- Johansson, S. (2008) *VD Transportfirman KDT*, personlig kommunikation hösten 2008
- Johansson, M. och Nilsson, T. (2007) *Transporter i gårdsbaserade biogassystem – Framtagning av beräkningsprogram för kostnader och emissioner*, examensarbete, Miljö- och Energisystem, LTH
- Johnsson, H. och Mårtensson, K. (2002) *Kväveläckage från svensk åkermark – Beräkningar av normalutlakning för 1995 och 1999*, rapport 5248, Naturvårdsverket
- Jordbruksverket (2001) *Gödselproduktion, lagringsbehov och djurtäthet i olika djurhållningssystem med grisar*, rapport 2001:13, Jordbruksverket
- Jordbruksverket (2006) *God jordbrukarsed för att begränsa ammoniakförluster*, Jordbruksinformation nr 13, Jordbruksverket
- Jordbruksverket (2007) *Gödsel och miljö – lagring och spridning av gödsel – höst och vinterbevuxen mark*, Jordbruksverket
- Jordbruksverket (2008) *Riktlinjer för gödsling och kalkning 2009*, Jordbruksinformation 26, Jordbruksverket
- Jönsson, H.G. (2008) *Astimac AB*, personlig kommunikation hösten 2008
- Karlsson, T. (2008) *Gasstationer CNG teknik Processkontroll AB*, personlig kommunikation våren 2008
- Karlsson, S. och Rodhe, L. (2002) *Översyn av Statistiska Centralbyråns beräkning av ammoniakavgången i jordbruket – emissionsfaktorer för ammoniak vid lagring och spridning av stallgödsel*, Uppdragsrapport, Institutet för Jordbruks- och Miljöteknik, Uppsala
- Knutsson, P. (2008) *Anläggningsföreståndare Söderåsens biogasanläggning*, personlig kommunikation vid flera tillfällen under 2008
- Kristensson, I., Pettersson, A. och Johansson, K. (2007) *Biogas på gasnätet utan propantillsatts*, rapport SGC 176, Svenskt Gastekniskt Center AB
- KTBL (2005) *Faustzahlen für die Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.*, Darmstadt
- Lantz, M., Larsson, G. och Hansson T. (2006) *Förutsättningar för förnybar energi i svensk växthusodling*, rapport 57, Miljö- och Energisystem, Lunds Tekniska Högskola
- Lantz, M. (2007) *Ökat utnyttjande av befintliga biogasanläggningar*, rapport 63, Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola
- Lantz, M., Svensson, M., Björnsson, L. och Börjesson, P. (2007) *The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden – Incentives, barriers and potentials*, Energy policy, 35: 1830 – 1843
- Lindgren, M., Pettersson, O., Hansson, P-A. och Norén, O. (2002) *Jordbruks- och anläggningsmaskinernas motorbelastning och avgasemissioner – samt metoder att minska bränsleförbrukning och avgasemissioner*, rapport 308, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala

- Linné, M. (2004) *Miljökonsekvensbeskrivning för biogasanläggning i Bjuvs kommun*, Biomil AB
- LivsmedelsSverige (2008) *Information om morot*,
http://www.livsmedelssverige.org/livsmedel/vegetabilier/rotfrukter/rotfrukt_morot.htm, hämtad 2008-10-02
- Ljungblom, I. (2002) *Undersökning av plankton i anlagda våtmarker i Helsingborgs stad*, Miljökontoret, Helsingborgs Stad
- Ljungar, S. (2008) *Staffan Ljungars Åkeri*, personlig kommunikation hösten 2008
- Lloyd, O. (2008) *Lloyd Engineering AB*, personlig kommunikation, 2008-10-14
- Naturvårdsverket (2006) *Utsläpp av metan och lustgas från jordbrukssektorn*, rapport 5506, Naturvårdsverket
- Naturvårdsverket (2008) *Effekter av investeringsprogrammen LIP och KLIMP – regeringsuppdrag juni 2008*, rapport 5861, Naturvårdsverket
- Megtech (2009) Datablad Vocsidizer, http://www.megtec.com/documents/UK_Vocsidizer.pdf
- Nordel (2008) *Annual statistics 2007*, Nordel
- Norin, E. (2007) *Alternativa hygieniseringsmetoder*, rapport SGC 179, Svenskt Gastekniskt Center AB
- Näslund, M. (2004) *Energigasteknik*, Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö
- Pach (2007) *Ammonia Production: Energy Efficiency, CO₂ Balances and Environmental Impact*, Proceedings No: 601, The International Fertiliser Society
- Pedersen, J. (2007) *Transport af gylle – Et praktisk studie over metoder til flytning af gylle*, rapport 61, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret
- Persson, M. (2003) *Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas*, rapport 142, Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö
- Persson, M. (2006) *Basdata om biogas*, Svenskt Gastekniskt Center AB
- Persson, A., Rydstrand, C. och Hedenskog, P. (2005) *Allt eller inget – Systemgränser för byggnaders uppvärmning*, rapport version B, Ångpanneföreningen
- Preem (2008) *Produktinformation Propan 95*, Preem
- Rasmussen, H. (2008) *Inspektor på Wrams Gunnarstorps Gods*, Personlig kommunikation
- Riksbanken (2008) *Valutakursen, månadsgenomsnitt mittkurser maj 2008*,
<http://www.riksbank.se/templates/Page.aspx?id=15867>, hämtad 2008-06-13

- Rodhe, L., Ascue, J., Tersmeden, M., Ringmar, A och Nordberg, Å. (2008) *Växthusgaser från lager med nötflytgödsel – Förhållanden i gårdsbehållare, metodikutveckling av gasmätning samt bestämning av emissioner från nötflytgödsel*, rapport 370, Lantbruk och Industri, Institutet för Jordbruks- och Miljöteknik, Uppsala
- Rodhe, L. (2009) *Forskare vid Institutet för jordbruks- och miljöteknik*, personlig kommunikation våren 2009
- Roos, C.J. (2007) *A guide to Pumping Manure Slurries in Centralized Biogas Digester Systems*, Northwest CHP Application Center, Olympia USA
- Roslund, S. (2008) VD, Semix Consult AB, personlig kommunikation hösten 2008
- SCB (2007) *Utsläpp av ammoniak till luft i Sverige 2005*, Statistiska meddelanden MI 37 SM 0701, Statistiska Centralbyrån
- SCB (2008) *Årliga energibalanser 2005 – 2006*, Statistiska meddelanden EN 20 SM 0705, Statistiska Centralbyrån
- SGC (2005) *Energigaser och miljö*, Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö
- SIKA (2008) *Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 4 SIKA PM 2008:3*
- Sommer, S.G., Møller, H.B. och Petersen, S.O. (2001) *Reduktion av drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling*, DJF rapport Nr. 31, Danmarks Jordbruksforskning
- Sommer, S.G., Petersen, S.O., Sørensen, P., Poulsen, H.D. och Møller, H.B. (2007) *Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage*, Nutr Cycl Agroecosystem 78:27 – 36
- Sørensen, C.G., Jacobsen, B.H., Sommer, S.G., och Guul-Simonsen, F. (2003) *Håndtering af gylle ved brug af rørtransport – en teknisk-økonomisk analyse*, rapport nr 90, Danmarks JordbruksForskning
- Sørensen, P. och Birkmose, T. (2002) *Kvaestofudvaskning efter gödskning med afgasset gylle*, Grøn Viden, Markbrug nr 266, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Danmarks Jordbruksforskning
- SOU (2008) *Svensk klimatpolitik, Betänkande av Klimatberedningen*, SOU 2008:24
- Svahn, J. (2006) *Energioptimering av biogasanläggning – Hur primärenergibehovet till biogasanläggning kan minskas med energiåtervinning och isolering*, Examensarbete, Umeå Universitets Tekniska Högskola
- Tornerhjelm, R. (2008) VD *Wrangs Gunnarstorps Gods*, personlig kommunikation under 2008
- Uppenberg, S., Almemark, M., Brandel, M., Lindfors L-G., Marcus, H-O., Stripple, H., Wachtmeister, A. och Zetterberg, L. (2001) *Miljöfaktabok för bränslen Del 1. Huvudrapport*, rapport B 1334A-2, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Vattenfall (2005) *Livscykelanalys – Vattenfalls el i Sverige*, Vattenfall

Vattenfall (2009) *Vattenel – el från vattenkraft*,

http://www.vattenfall.se/www/vf_se/vf_se/506695fxret/506725el/906826vatte/index.jsp

Wapnö (2008) *Miljöarbetet i fokus*, <http://www.wapno.se/Miljo.htm>, hämtad 2008-10-17

Wetterberg, C. (2000) *Miljöanpassade flytgödselspridare – en uppföljning*, miljöteknikdelegationen, rapport 2000:7

Bilaga A Karakteriseringsindex

I föreliggande studie sammanfattas resultatet bland annat med hjälp av olika karakteriseringsindex. Med hjälp av dessa index kan olika emissioners betydelse för en viss miljöeffekt kvantifieras. Det är också möjligt att en viss emission kan påverka flera olika typer av miljöeffekter. Kväveoxider kan till exempel ha betydelse för både övergödning och försurning. Föreliggande studie fokuserar dock på växthuseffekten och övergödning.

Växthuseffekten påverkas av flera så kallade växthusgaser som absorberar värmestrålning med varierande effektivitet. Vid en jämförelse av olika växthusgaser relateras respektive molekyls absorptionsförmåga till koldioxid givet en viss tidsperiod. Här inkluderas CO₂, CH₄ samt N₂O och koldioxidekvivalenterna gäller med tidshorisonten 100 år, se också Forster *et al.* (2007).

När det gäller övergödning avses här vattensystem där en ökad tillförsel av näringsämnen kan leda till en ökad tillväxt av olika organismer i systemet. När dessa ska brytas ned åtgår det syre vilket kan leda till syrebrist. Emissioner till såväl luft och vatten kan påverka övergödningen som här uttrycks i form av nitratekvivalenter på samma sätt som används av Flysjö *et al.* (2008).

Tabell 32: Karakteriseringsindex

| Emissioner | Koldioxidekvivalenter (g CO ₂ -ekv./g) | Nitratekvivalenter (g NO ₃ -ekv./g) |
|------------------|--|---|
| CO ₂ | 1 | |
| CH ₄ | 25 | |
| N ₂ O | 298 | |
| NO ₃ | | 1 |
| NO _x | | 1,35 |
| NH ₃ | | 3,64 |

Bilaga B Primärenergi och emissioner

För att möjliggöra sammanställning och analys av system som inkluderar flera olika energibärare är det nödvändigt att uttrycka dessa i samma enhet. Ett sätt att göra det är att använda begreppet primärenergi.

Definitionen på primärenergi kan variera men i princip kan mängden primärenergi för en viss energibärare beräknas genom att beakta alla de förluster och all den insatsenergi som uppkommer från utvinning av en energiresurs, som inte genomgått någon omvandling av människan, tills att en specifik energibärare är tillgänglig för ett specifikt ändamål (Energimyndigheten, 2008; Grönkvist *et al.*, 2008; Persson *et al.*, 2005).

Här används samma definition som i IEA (2008) där primärenergi definieras som den första energibäraren i en förädlingskedja som i praktiken kan användas för flera olika energitjänster.

För kärnkraft, geotermi och solvärme sätts därför värme som primärenergi. För vattenkraft och vindkraft räknar IEA (2008) den producerade elektriciteten som primärenergi. Ett annat sätt att räkna används till exempel av Persson *et al.* (2005) där den kinetiska energin i fallande vatten sätts som primärenergi för vattenkraft vilket ger en något högre primärenergifaktor då inte all rörelseenergi omvandlas till elektricitet.

Primärenergibegreppet som sådant säger ingenting om huruvida det är fossil eller förnybar energi eller vilka emissioner i övrigt som energianvändningen för med sig. Enligt Persson *et al.* (2005) bör primärenergi därför också delas in i förnybar respektive icke förnybar energi. För förnybara energibärare bör det enligt samma källa också anges om det är fritt flödande förnybar energi (vind, sol, strömmande vatten etc.) eller icke fritt flödande (biobränslen, avfall, spillvärme etc.).

Här görs dock inte denna distinktion. Däremot kombineras energianalysen med en miljöanalys som bland annat omfattar emissioner av växthusgaser.

I ett energisystemperspektiv används ofta marginalbegreppet som ett sätt att visa vilka energibärare som påverkas av att en specifik användning av energi ökar eller minskar. I första hand används marginalbegreppet när det gäller elektricitet men det kan också vara aktuellt för såväl fossila som förnybara energibärare (Energimyndigheten, 2008). I föreliggande studie baseras beräkningarna i basfallet på representativa värden för den svenska mixen av energibärare och i känslighetsanalysen inkluderas resonemanget om energibärare på marginalen.

Elektricitet

I Sverige svarar vattenkraft och kärnkraft för cirka 45 % vardera av den totala produktionen av elektricitet. Beroende på tillgången till vatten kan produktionen dock variera mellan olika år vilket har betydelse för emissioner och primärenergifaktorer för den svenska elmixen. Här används data för produktionen år 2007 (Nordel, 2008). Primärenergifaktorerna för kärnkraft, vattenkraft och vindkraft baseras på IEA (2008) och i övrigt används de faktorer som presenteras av Persson *et al.* (2005), se också Tabell 33.

Tabell 33: Svensk elmix år 2007 (IEA, 2008; Nordel, 2008; Persson *et al.*, 2005)

| Energislag | Leverans (TWh) | Andel (%) | Primärenergifaktor |
|-------------------------------------|----------------|--------------|--------------------|
| Vattenkraft | 65,5 | 45,2 | 1,0 |
| Kärnkraft | 64,3 | 44,3 | 3,0 |
| Övrig värmekraft – kondens | 0,6 | 0,4 | 2,5 |
| Övrig värmekraft – kraftvärme | 7,1 | 4,9 | 1,7 |
| Övrig värmekraft – ind. mottryck | 6,1 | 4,2 | 1,7 |
| Övrig värmekraft – gasturbiner etc. | 0,0 | 0,0 | 2,8 |
| Vindkraft | 1,4 | 1,0 | 1,0 |
| Import | 1,3 | 0,9 | 2,5 |
| Totalt | 146,4 | 100,0 | 2,0 |

Utöver den primärenergifaktor på 2,0 som framgår i Tabell 33 tillkommer en distributionsförlust som för det svenska elnätet sätts till 6 % (Energimyndigheten, 2008). **Primärenergifaktorn för svensk elmix blir därmed 2,1.**

När det gäller elektricitet på marginalen har kolkondens historiskt sett ansetts vara den elproduktion som ligger på marginalen i det nordiska elsystemet och som påverkas av en ökad eller minskad användning av elektricitet. I praktiken är det dock ekonomiska faktorer som avgör vilka produktionsanläggningar som ligger på marginalen. I en analys är det också viktigt att beakta tidsaspekten. Handlar det om vilken marginalproduktion som är aktuell idag eller under en viss investerings livslängd. Enligt Energimyndigheten (2008) går det inte heller att med säkerhet säga vilken produktion som ligger på marginalen i framtiden. Det kan vara naturgasbaserade anläggningar eller nya effektiva kolkraftverk alternativt biobränslebaserad kondenskraft. Här presenteras därför data för elektricitet från vattenkraft, svensk elmix, naturgaskombi och kolkondens. För kolkondens och gaskombi på marginalen antar Energimyndigheten (2008) en primärenergifaktor på 3,0 respektive 2,2.

I Tabell 34 presenteras slutligen de här antagna emissionerna av koldioxid- respektive nitratekvivalenter för olika typer av elproduktion.

Tabell 34: Emissioner vid elproduktion (Energimyndigheten, 2007, Uppenberg *et al.*, 2001, Vattenfall, 2005)

| Emissioner | Svensk elmix | Vattenkraft | Naturgaskombi | Kolkondens |
|---------------------------------------|--------------|-------------|---------------|------------|
| CO ₂ -ekvivalenter (g/kWh) | 38 | 4,5 | 462 | 936 |
| NO ₃ -ekvivalenter (g/kWh) | 0,17 | 0,006 | 0,51 | 0,94 |

Fossila bränslen

Det energisystem som omfattas av föreliggande analys inkluderar flera olika fossila energibärare. Här inkluderas därför data för bensin, diesel, gasol och naturgas.

Precis som för elektricitet kan det i vissa lägen vara motiverat att använda ett marginalresonemang för fossila bränslen, till exempel beroende på aktuell tidshorisont (Energimyndigheten, 2008). De emissioner som uppstår vid produktion och distribution av fossila bränslen är dock relativt små jämfört med de som uppstår vid förbränning. Emissionerna vid förbränning påverkas inte heller av bränslets ursprung vilket gör att resonemanget om marginalbränslen inte är lika betydelsefullt som för elektricitet.

För produktion och distribution redovisas typiska värden för dagens bränslemix baserat på Uppenberget *et al.* (2001) samt för fossila bränslen på marginalen baserat på Concawe *et al.* (2007). Observera dock att de fossila bränslen som här ligger på marginalen fortfarande kommer från konventionella källor. Det som varierar är primärt vart de fossila bränslena utvunnits. Naturgas på marginalen antas till exempel komma i pipelines från Mellanöstern. När det gäller gasol produceras den antingen direkt vid utvinning av råolja, vid oljeraffinering eller genom avskiljning vid naturgasutvinning. Av gasolen som säljs i Sverige kommer ca 70 % från naturgas och resterande 30 % från olja. En stor del av gasolen kommer från Nordsjön och inhemska raffinaderier, resten upphandlas på världsmarknaden (Gasföreningen, 2008). Enligt Concawe *et al.* (2007) är all den gasol som produceras i Europa redan in-tecknad och en ökad användning leder till att gasol utvinns vid avlägsna gasfält vilket kräver ett relativt omfattande transportarbete.

När det gäller andra emissioner än växthusgaser används Uppenberget *et al.* (2001) genomgående då Concawe *et al.* (2007) inte inkluderar sådana emissioner. Precis som för elektricitet inkluderas emissionerna från marginalbränslena endast i känslighetsanalysen.

I Tabell 35 återfinns de emissionsdata och primärenergifaktorer för produktion och distribution av de olika energibärarna som används i föreliggande studie. Dessutom inkluderas de emissioner av koldioxid som uppstår vid fullständig förbränning av de olika bränslena. Observera att för diesel används inte uppgifterna för fullständig förbränning utan där används de data som redovisas av HBEFA (2004).

Som en jämförelse anger EU (2008) att emissionerna av växthusgaser för bensin och diesel schablonmässigt kan sättas till cirka 300 g CO₂-ekv./kWh.

Tabell 35: Produktion och distribution av fossila bränslen

| | Bensin | Diesel | Gasol | Naturgas |
|--|-------------|------------------|-------------|-------------|
| Energiinnehåll (MWh/m³)¹ | 9,0 | 10,0 | 25,9* | 11,0* |
| Primärenergifaktor² | 1,1 | 1,1 – 1,2 | 1,1 | 1,1 – 1,2 |
| Produktion och Distribution | | | | |
| CO₂-ekvivalenter (g/kWh)² | 19,1 – 45,0 | 12,6 – 51,1 | 10,8 – 28,4 | 16,7 – 50,4 |
| NO_x-ekvivalenter (g/kWh)² | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Fullständig förbränning | | | | |
| CO₂-ekvivalenter (g/kWh)² | 263,9 | 259 ³ | 236,5 | 205,2 |

¹ SCB (2008) och Preem (2008)

² Uppenberget *et al.* (2001) och Concawe *et al.* (2007)

³ Avser inte fullständig förbränning (HBEFA, 2004)

* Gäller för 1 000 m³

Bilaga C Pumpning av slam och flytgödsel

För att pumpa en vätska från en punkt till en annan åtgår det en viss mängd energi. Hur mycket beror dels på ledningens egenskaper så som längd, diameter och material. Energibehovet beror också på vätskans egenskaper samt strömningshastighet och typ av pump med mera.

För att beräkna de totala tryckförlusterna och därmed också energibehovet för ett visst system är det nödvändigt att beakta samtliga ingående komponenter så som raka röravsnitt, rörkrökar och ventiler med mera. I formel C1 presenteras hur motståndet kan beräknas för raka rör (Sørensen *et al.*, 2003) och för exempel på förluster i rörkrökar och ventiler med mera rekommenderas till exempel Sørensen *et al.* (2003) och Iwars (1992). I de totala tryckförlusterna är det också nödvändigt att beakta höjdskillnaden mellan start- och slutpunkt. Sørensen *et al.* (2003) rekommenderar också att de beräknade förlusterna ökas med en reservkapacitet motsvarande cirka 25 – 40 % av det beräknade tryckfallet.

$$H = \lambda \frac{Lv^2}{2Dg} \quad [C1]$$

| | |
|-----------|---|
| λ | friktionsfaktorn för det specifika rörmaterialiet |
| D | Rörledningens invändiga diameter (m) |
| L | Rörledningens längd (m) |
| v | Hastighet (m/s) |
| g | Jordens tyngdacceleration |
| H | Motståndet i rörledningen (meter vattenpelare) |

Utifrån formel C1 kan det konstateras att den pumpade vätskans strömningshastighet har stor betydelse för tryckförlusterna. Givet ett visst flöde har rörets diameter därmed också en stor betydelse eftersom en större diameter ger en betydligt större tvärsnittarea. Därmed kan samma flöde upprätthållas med en lägre strömningshastighet och lägre energiförbrukning. För att undvika sedimentation i tryckledningen bör flytgödsel och sannolikt också biogödsel dock pumpas med en viss hastighet. Exakt hur låg hastighet som kan accepteras beror på den aktuella gödselns egenskaper och i litteraturen förekommer uppgifter mellan 0,5 – 2,5 m/s (Ghafoori *et al.*, 2007; Sørensen *et al.*, 2003; Roos, 2007).

I föreliggande studie har den faktiska förbrukningen av elektricitet för att pumpa slam från Findus till biogasanläggningen uppmätts till **0,2 kWh/ton** och km. Detta kan jämföras med ett beräknat energibehov på 0,05 kWh/ton och km för två olika system där gödsel respektive biogödsel pumpas 50 km respektive 10 km (Johansson och Nilsson, 2007; Ghafoori *et al.*, 2007). I en fallstudie redovisar dock Pedersen (2007) bland annat ett fall där nötgödsel pumpas 400 m med en traktordriven pump. Dieselförbrukningen för att pumpa cirka 3 000 ton gödsel uppges vara 70 dm³ vilket ger ett bränslebehov på 0,6 kWh/ton och km. Med en antagen verkningsgrad på 40 % (Börjesson och Berglund, 2003) motsvarar det drygt 0,2 kWh/ton och km. Samtidigt anger Jönsson (2008) ett beräknat energibehov på mindre än 0,1 kWh/ton och km för att pumpa flytgödsel cirka 5 km.

Med tanke på att energibehovet påverkas i stor utsträckning av ledningens dimensioner och flödes hastigheten bedöms den uppmätta förbrukningen ligga förhållandevis högt men i nivå med uppgifter i litteraturen. Behovet av elektricitet för att pumpa slam från Findus till biogasanläggningen sätts därför till 0,2 kWh/ton och km. Samma schablon används också för att beräkna elförbrukningen vid eventuell pumpning av flytgödsel och biogödsel.

Kostnad för att etablera en rörledning

Kostnaden för att anlägga en tryckledning beror på en rad faktorer som till exempel terrängförhållanden och ledningsdimensioner. Det förekommer också att kostnader som anges i litteraturen i vissa fall endast avser rördragning och i andra fall inkluderar pumpar och brunnar med mera vilket försvårar jämförelsen av olika referenser. Kostnaden för rör beror bland annat på rörets diameter och materialval. Christensson (2007) har till exempel sammanställt kostnader för rör i PVC eller slang i PEM från några olika leverantörer där priset varierar mellan cirka 50 – 130 kr/m beroende på material och dimensioner. Samtidigt anger Jönsson (2008) att kostnaden är cirka 200 kr/m för ett PE-rör på 160 mm. Slutligen ger Pedersen (2007) ett riktvärde på 190 kr/m¹ för material och grävning för ett PVC-rör på 160 mm.

Kostnaden för att gräva i egen åkermark kan enligt Jönsson (2008) vara så låg som 30 – 40 kr/m. Samtidigt anger Jansson (2007) kostnaden för att gräva ned biogasledningar till 80 kr/m. Om det är nödvändigt att korsa hinder av olika slag tillkommer dock ytterligare kostnader som kan vara betydande. Jansson (2007) anger till exempel att det kosta 12 – 60 000 kr att korsa en väg och att kostnaden för sprängning kan uppgå till 1 000 kr/m. Det poängteras visserligen att dessa siffror är grova schabloner men det ger ändå en bild av terrängens betydelse.

Ett komplett system inkluderar dock inte bara grävning och rörmaterial utan också pumpar och annan utrustning, arbete och projektering med mera. Som ett exempel på kostnaden för ett komplett system beskriver Jönsson (2008) ett system där 40 000 m³ gödsel ska pumpas 5 km. Den totala kostnaden uppgår där till cirka 2 miljoner eller 400 kr/m exklusive grävning. Som ett riktvärde svarar rör med mera för 2/3 av investeringen och maskiner svarar för 1/3. Ett annat exempel är Wapnö (2008) som på sin hemsida anger att företaget investerat 2 miljoner kr för ett system där gödsel pumpas 2,5 km. Den totala kostnaden skulle därmed uppgå till cirka 800 kr/m.

När det gäller pumpning av biogödsel sker det idag endast hos NSR i Helsingborg som etablerat en 10 km lång ledning för att transportera biogödsel ut i jordbrukslandskapet. Kostnaden för ledning med mera anges av Hansson (2008) till något under 8 miljoner vilket ger en total kostnad på närmare 800 kr/m. Enligt Johansson och Nilsson (2007) kan 2/3 av kostnaden kopplas till rördragning, tillstånd och satellitbrunnar. Övriga kostnader är kopplade till byggnader, pumpar och styrsystem med mera. Kostnaden för ledningsdragning och satellitbrunnar uppgår därmed till cirka 530 kr/m.

På motsvarande sätt anger Söderåsens Bioenergi att kostnaden för att etablera en tryckledning från Findus till biogasanläggningen kostar närmare 900 kr/m totalt. Kostnaden för grävning och material uppgår dock till 480 kr/m.

¹ För valutaomräkning används medelvärdet för maj 2008 där 1 DKK = 1,25 SEK (Riksbanken, 2008)

En annan kostnadsnivå anges av Ghafoori *et al.* (2007) som uppskattar investeringsbehovet till cirka 900 kr/m² för endast tryckledning. Kostnadsuppskattningen bygger dock på kostnaden för vattenledningar i Kanada och är rimligen inte lika relevant som de faktiska kostnadsnivåer som redovisats här.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att kostnaden varierar mellan olika projekt vilket sannolikt beror på att alla har olika förutsättningar och att olika kostnadsposter har inkluderats eller inte inkluderats i prisuppgifterna.

I det fall som är aktuellt i föreliggande studie, se kapitel 9, sätts kostnaden till 300 kr/m för tryckledningen inklusive grävning. Därutöver tillkommer två stycken pumpar för att möjliggöra pumpning av flytgödsel och biogödsel i båda riktningarna samt ett radiosystem för start och stopp av pumparna till en total kostnad på 750 000 kr.

Utöver kapitalkostnaderna tillkommer kostnader för drift och underhåll som enligt Jönsson (2008) är mindre än 1 kr/ton.

² För valutaomräkning används medelvärdet för maj 2008 där 1 USD = 6,0 SEK (Riksbanken, 2008)

Bilaga D Förbränning av biogas

I föreliggande systemanalys sker förbränning av biogas dels i anläggningens gaspanna för att generera processvärme och dels i facklan som primärt används vid driftstopp i uppgraderingsanläggningen. Därutöver sker den huvudsakliga förbränningen av biogas hos slutanvändaren vilket dock inte inkluderas i föreliggande studie.

När det gäller fackling av biogas har det i föreliggande studie inte gått att identifiera några emissionsdata. Jarhein (2007) uppger också att det finns flera olika typer av facklor där endast de allra dyraste ger en garanterad uppehållstid och förbränningstemperatur. I de enklaste varianterna sker förbränningen med öppen låga vilket gör att förbränningen och därmed också emissionerna påverkas i mycket hög grad av väder och vind. I brist på emissionsdata för facklor används samma data som för förbränning i en gaspanna vilket sannolikt är ett optimistiskt antagande. Observera att endast de emissioner som har betydelse för att beräkna CO₂- och NO₃-ekvivalenter enligt bilaga A inkluderas här.

I Tabell 36 redovisas emissioner vid förbränning av biogas och naturgas i olika typer av pannor, från medelstora fastighetspannor till värmeverk. När det gäller skillnaden mellan förbränning av biogas och naturgas kan uppgifterna från Energistyrelsen (2008) tolkas som att naturgas medför högre emissioner av CH₄ och NO_x jämfört med biogas. I föreliggande studie används de data som presenteras av Energistyrelsen (2008), dels för att de gäller för biogas och dels för att uppgifterna är de senast publicerade. Observera att emissionerna av CO₂-ekvivalenter därmed blir avsevärt högre jämfört med övriga referenser vilket framförallt beror på höga emissioner av N₂O.

Tabell 36: Emissioner vid förbränning av biogas (mg/kWh bränsle)

| Emissioner | Referenser | | | | Valda värden |
|---------------------------------------|------------|-------|-------|-----------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| CH ₄ (mg/kWh) | 6,8 | 14,4 | 0,4 | | 14,4 |
| N ₂ O (mg/kWh) | | 7,2 | 1,8 | 3,6 | 7,2 |
| NO _x (mg/kWh) | 34,2 | 100,8 | 176,4 | 108 – 216 | 100,8 |
| CO ₂ -ekvivalenter (g/kWh) | 0,2 | 2,5 | 0,3 | 1,1 | 2,5 |
| NO ₃ -ekvivalenter (g/kWh) | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,1 – 0,3 | 0,1 |

¹ Börjesson och Berglund (2006), Gäller förbränning av biogas

² Energistyrelsen (2008), Gäller förbränning av biogas

³ Uppenberg *et al.*, (2001), Gäller förbränning av naturgas

⁴ SGC (2005), Gäller förbränning av naturgas

Bilaga E Lagring av flytgödsel

Flytgödsel från svin är ett av många substrat som tillförs Söderåsens biogasanläggning och sett till hur mycket biogas som kan produceras från gödseln är det ett av de mindre viktiga substraten. Tidigare miljöanalyser av biogassystem (Börjesson och Berglund, 2007) har dock visat att tillförsel av flytgödsel kan ha mycket stor betydelse för de totala emissionerna av växthusgaser.

Anledningen är att konventionell lagring av flytgödsel ger upphov till relativt stora mängder CH₄ och detta läckage kan minska kraftigt om flytgödseln används för att producera biogas. Enligt Börjesson och Berglund (2007) kan denna indirekta effekt vara nog så viktig jämfört med de direkta effekter som uppnås när den producerade biogasen ersätter fossila bränslen. Förutom CH₄ kan det också förekomma en del emissioner av N₂O men jämfört med CH₄ har det liten betydelse för de totala emissionerna av växthusgaser (Sommer *et al.*, 2001). Dessutom sker det också ett visst läckage av kväve i form av NH₃ som har en övergödande och försurande effekt (Börjesson och Berglund, 2003). Emissioner av NH₃ ger också indirekt upphov till N₂O (IPCC, 2006). Ett läckage av kväve medför också att gödseln får sämre gödnings effekt vilket kan leda till ett ökat behov av mineralgödsel eller till lägre skördar. Nedan presenteras hur emissionerna av CH₄, N₂O och NH₃ kan se ut från konventionell lagring av flytgödsel och i bilaga F redogörs för de antagna emissionerna från den producerade biogödseln.

IPCC (2006) anger flera mer eller mindre detaljerade metoder för att kvantifiera produktionen av CH₄ från olika typer av gödsel, olika hanteringssystem för gödsel och vid olika temperatur. Ett sätt att beräkna emissionerna av CH₄ redovisas i formel E1 nedan och det är också denna metod som används av Naturvårdsverket (2006).

$$EF = VS * B_0 * 0,67 * MCF \quad (E1)$$

EF = Emissioner av CH₄ (kg)

VS = Mängden gödsel (kg VS)

B₀ = Maximal produktion av CH₄ (m³ CH₄/kg VS)

k = 0,67 (kg/m³), används för att räkna om m³ CH₄ till kg

MCF = Konverteringsfaktor som anger hur stor andel av den maximala produktionen av CH₄ som faktiskt produceras (%)

Mängden gödsel anges i kg organiskt material och här avses enligt IPCC (2006) endast organiskt material från träck och urin. Strömedel ska därmed inte inkluderas. Enligt data från Jordbruksverket (2001) svarar dock strö för en mycket liten del av det organiska materialet när det gäller svinggödsel som är aktuellt i detta fall. Därför bortses från att en del av VS i flytgödseln är strömedel. Svinggödseln som används vid Söderåsens biogasanläggning antas här ha en TS-halt på 6,5 % varav 75 % VS.

Den maximala metanproduktionen, B₀, varierar beroende på vilken typ av gödsel som avses och på gödselns sammansättning. Rekommendationen från IPCC (2006) är att använda uppmätta och publicerade värden för respektive land men det anges också ett standardvärde som för svinggödsel

är $0,45 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg VS}$ med en felmarginal på $\pm 15 \%$. Detta standardvärde används också av Naturvårdsverket (2006) för att beräkna emissionerna från svensk gödselhantering.

MCF varierar beroende på gödselns sammansättning och hur den hanteras, vid vilken temperatur den lagras och hur länge den lagras med mera. Vid en genomsnittlig temperatur på $10 \text{ }^\circ\text{C}$ anger IPCC (2006) MCF till 0,1 respektive 0,17 beroende på förekomsten av svämtäcke som sägs påverka metanläckagets storlek. Samtidigt framhålls att konverteringsfaktorn, precis som den maximala produktionen av CH_4 , kan variera mellan olika länder och därför kan det vara lämpligt att ta fram mer nationsspecifika faktorer. Naturvårdsverket (2006) använder dock en konverteringsfaktor på 0,1 för svenska förhållanden. Här refererar man till en studie genomförd av Dustan (2002) som gjort en genomgång av diverse studier av emissioner från lagring av stallgödsel under kalla förhållanden.

I en ny studie anger Rodhe *et al.* (2008) dock att konverteringsfaktorn för nötflyt lagrad under svämtäcke i Uppsala var så låg som 0,025. Visserligen anger man att den maximala metanpotentialen för den aktuella gödseln var högre än standardvärdet från IPCC men även med hänsyn till detta uppmättes en konverteringsfaktor under 4 %.

Föreliggande analys baseras dock på flytgödsel från svin. Samtidigt är förhållandena för Södersåsens biogasanläggning sannolikt mer lika danska förhållanden än de i Uppsala vilket bör leda till en högre metanbildning. Om formel E1 används tillsammans med standardvärdena från IPCC blir de beräknade emissionerna av CH_4 cirka $0,03 \text{ kg CH}_4/\text{kg VS}$ vilket ger $1,46 \text{ kg CH}_4/\text{ton}$ för den aktuella gödseln.

Det kan jämföras med data från Sommer *et al.* (2001) som för danska förhållanden anger att emissionerna av CH_4 är cirka $0,055 \text{ kg CH}_4/\text{kg VS}$ för svinggödsel. Här antas dock att gödseln lagras i stallet i 15 dygn innan den pumpas ut till lagringsbrunnen. Om emissionerna från stallet utesluts blir emissionerna från lagret cirka $0,037 \text{ kg CH}_4/\text{kg VS}$. Emissionerna av CH_4 är följaktligen något högre per kg VS enligt Sommer *et al.* (2001) jämfört med vad som beräknats här. De danska beräkningarna bygger på en modell som inkluderar temperaturens variation över året, gödselns sammansättning och lagringstiden. Det antas att svinggödseln körs ut en gång per år i april och att lagret fylls på med gödsel från stallet två gånger per månad. Om 30 % av gödseln spreds i september anges också att emissionerna från lagret skulle minska med 5 – 10 %. Att temperaturen har stor betydelse för läckaget av CH_4 har också visats av Clemens *et al.* (2006) som rapporterar om försök där emissionerna av växthusgaser är $1,34 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./kg VS}$ om nötgödsel lagras i $20 \text{ }^\circ\text{C}$ i 105 dygn. Om lagringstemperaturen i stallet var $11 \text{ }^\circ\text{C}$ sjönk emissionerna till närmare $0,8 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./kg VS}$.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att emissionerna av CH_4 från lagring av gödsel beror på en rad olika faktorer och att beräknade eller uppmätta data sannolikt är behäftade med relativt stora osäkerheter. I basfallet används dock de värden som beräknats med formel E1 tillsammans med standardvärdena från IPCC.

När det gäller N₂O anger IPCC (2006) att dessa kan beräknas enligt formel E2 nedan.

$$N_2O = N_{tot} * EF * \frac{44}{28} \quad (E2)$$

N₂O = Emissioner av lustgas (kg)

N_{tot} = Totalt mängd kväve i gödseln (kg)

EF = Emissionsfaktor för direkta emissioner av N₂O beroende på gödselhanteringsystem

För flytgödsel anger IPCC (2006) emissionsfaktorn EF till 0,005 kg N₂O-N/kg utsöndrat N. Här antas flytgödseln innehålla 5 kg N/ton och därmed skulle emissionerna av N₂O bli 39 gram/ton flytgödsel. I tabell 37 nedan sammanfattas de beräknade emissionerna av växthusgaser. Här används dessa antaganden även om Rodhe *et al.* (2008) i sin studie uppmätte så låga emissioner att de låg inom felmarginalen för mätinstrumentet. Som basfall antas i föreliggande studie att emissionerna av CH₄ och N₂O från lagring av flytgödsel från svin är 50 kg CO₂-ekv./ton.

Tabell 37: Beräknade emissioner av växthusgaser från lagring av svingödsel

| | CH ₄ (kg/ton) | N ₂ O (g/ton) | CO ₂ -ekv. (kg/ton) |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Svingödsel | 1,5 | 39 | 49,2* |

* Enligt bilaga A

Vidare antas att dessa emissioner reduceras fullständigt när gödseln skickas till en biogasanläggning. Visserligen sker det en viss lagring av gödseln i lagringsbrunnar vid stallet innan den transporteras vidare till biogasanläggningen men enligt Sommer *et al.* (2007) finns det en viss inkubationstid innan det sker någon produktion av CH₄ från svingödsel eftersom den innehåller lite anaeroba bakterier. Här antas därför att det inte hinner påbörjas någon produktion av CH₄ innan gödseln når biogasanläggningen. Detta förutsätter sannolikt att lagringsbrunnarna töms relativt väl och att omrörningen är begränsad så att kvarlämnad gödsel inte fungerar som ymp.

Emissionerna av NH₃ vid konventionell lagring av flytgödsel varierar beroende på mängden torrsbstans, kol/kvävekvot och pH samt temperatur, luftväxling över lagringsbehållaren och gödselytans storlek med mera. Låga förluster kan uppnås med låg temperatur och lågt pH samt hög kol/kväve-kvot (Jordbruksverket, 2006). Förlusterna påverkas i mycket hög grad av olika former av täckning. En flytgödselbehållare med svämtäcke läcker till exempel 50 – 60 % mindre kväve än motsvarande behållare utan svämtäcke och om behållarna har ett tättslutande tak kan emissionerna minska med 90 – 95 % (Jordbruksverket, 2006; 2007). Enligt Jordbruksverket (2007) är förlusterna från flytgödsel som lagras utan täckning cirka 7 – 9 % av den totala mängden kväve. Med svämtäcke skulle förlusterna därmed uppgå till cirka 2,8 – 4,5 % av den totala mängden kväve. Samtidigt antar SCB (2007) att lagringsförlusterna för flytgödsel från svin är 4 % av den totala mängden kväve.

Här antas att svingödseln som används av Söderåsens biogasanläggning tidigare lagrades under svämtäcke och att förlusterna då uppgick till 4 %. Med ett kväveinnehåll på 5 kg/ton blir förlusterna av därmed 200 gram/ton vilket motsvarar 240 gram NH₃ eller 880 gram NO₃⁻-ekvivalenter/ton svingödsel, se också bilaga A.

De indirekta emissionerna av N₂O från emissioner av NH₃ kan enligt IPCC (2006) beräknas enligt formel E3;

$$N_2O = N \times EF \times \frac{44}{28} \quad (E3)$$

N₂O = indirekta emissioner av lustgas

N = emissioner av kväve i form av NH₃-N (kg N)

EF = emissionsfaktor som här sätts till 0,01 kg N₂O-N/kg NH₃-N

Med antagandet att emissionerna uppgår till 200 gram/ton blir de indirekta emissionerna av N₂O 3,14 gram eller 936 gram CO₂-ekvivalenter/ton. I Tabell 38 nedan sammanfattas de totala emissionerna av koldioxid- och nitratekvivalenter från konventionell lagring av stallgödsel som används i föreliggande studie.

Tabell 38: Emissioner av CO₂- och NO₃⁻-ekvivalenter från konventionell lagring av svingödsel

| | CO ₂ -ekv. (kg/ton) | NO ₃ ⁻ -ekv. (kg/ton) |
|------------|--------------------------------|---|
| Svingödsel | 50 | 0,9 |

Bilaga F Lagring av biogödsel

Hantering och lagring av den producerade biogödseln kan se olika ut på olika biogasanläggningar. På Söderåsens biogasanläggning pumpas materialet från röt-kammaren via en värmeväxlare vidare till en efterrötkammare. När materialet kommer in i efterrötkammaren håller det en temperatur på cirka 32 °C och med en uppehållstid på några dagar tillåts materialet svalna samtidigt som ytterligare biogasproduktion samlas upp. Därefter pumpas biogödseln vidare till de otäckta brunnar där den lagras innan spridning. Det organiska materialet i biogödseln är dock inte helt nedbrutet i och med att det passerat biogasanläggningen. Samtidigt finns det gott om mikroorganismer som i avsaknad av syre kan fortsätta metanproduktionen med risk för metanläckage från biogödsellagren. Storleken på dessa metanläckage varierar bland annat på biogödselns sammansättning och temperatur. Observera att vissa källor anger data per ton biogödsel och andra per m³. Här används genomgående ton.

Som ett exempel på temperaturens betydelse kan bland annat nämnas försöks som presenterats av Clemens *et al.* (2006). I denna studie har bland annat produktionen av CH₄ mätts upp från rötd flytgödsel vid olika temperaturer i labbskala. Som exempel kan nämnas att förlusterna var 0,7 kg CH₄/ton biogödsel om denna lagras i 30 °C i 75 dagar. Om den istället lagrades i 20 °C sjönk emissionerna med 80 % ned till 0,14 kg CH₄/ton och om temperaturen var 11 °C var metanproduktionen inte större än 0,005 kg. Motsvarande försök med en blandning av flytgödsel och stärkelse uppvisade ett liknande men inte lika tydligt temperaturberoende. I samma studie genomfördes försök i pilotskala där emissionerna uppmättes för en vinterperiod på 100 dagar och en sommarperiod på 140 dagar. Temperaturerna för respektive period redovisas dock inte. Under vinterperioden var emissionerna av CH₄ och N₂O cirka 0,1 kg/m³ respektive 0,04 kg/ton rötd gödsel. Den ackumulerade produktionen var linjär för hela perioden och emissionerna av CH₄ var signifikant lägre (40 %) för rötd gödsel jämfört med orötd. Däremot gick det inte att påvisa några signifikanta skillnader mellan rötd och orötd gödsel när det gäller emissioner av lustgas. Under sommarperioden var emissionerna av CH₄ och N₂O 1,2 respektive 0,07 kg/ton och metanproduktionen klingade av mot slutet av perioden. För rötd gödsel var metanemissionerna följaktligen 10 gånger högre under sommarmånaderna jämfört med den aktuella vinterperioden. För orötd gödsel var skillnaden dubbelt så stor.

Utöver temperaturberoendet beror den potentiella restgasproduktionen också på substratsammansättning och att enbart jämföra olika studier med avseende på m³ rötrest ger sannolikt inte någon rättvisande bild. Bland annat har mängden organiskt material och typen av organiskt material stor betydelse för hur mycket CH₄ som kan komma att bildas. Till exempel är det framförallt hydrolysstegets som är mycket temperaturberoende och en rötrest som innehåller mycket hydrolyserat material kan ge betydligt mer CH₄ vid låga temperaturer än en rötrest med en mindre mängd hydrolyserat material (Björnsson, 2008).

På Söderåsens biogasanläggning har avdelningen för Bioteknik vid LTH bland annat genomfört försök för att bestämma restgaspotentialen för den biogödsel som lämnar efterrötkammaren. Försöken har genomförts på så sätt att den avsvalnade biogödseln som lämnar efterrötkammaren återigen hettats upp till aktuell processtemperatur på cirka 37 °C samtidigt som den rörts om. Därefter har biogasproduktionen uppmätts tills den klingat av (Björnsson, 2008). Generellt kan

det konstateras att under dessa betingelser sker huvuddelen av metanproduktionen under de första dagarna för att sedan klinga av. Den uppmätta mängden restgas har dock varierat betydligt mellan de olika försök som genomförts. Detta antas bero på att substratsammansättningen inte varit den samma för de olika tillfällena och att materialet varit olika väl nedbrutet. Det kan också bero på anläggningens funktion vid det aktuella tillfället då olika processtörningar sannolikt skulle kunna ge en högre potentiell restgasproduktion.

I genomsnitt har den maximala restgasproduktionen uppmätts till cirka 1,4 Nm³/ton biogödsel vilket motsvarar drygt 0,9 kg CH₄. Med en produktion på 48 000 ton biogödsel per år motsvarar det 67 200 Nm³ CH₄ eller 3 % av mängden fordonsgas som injekteras in på naturgasnätet. Detta är dock det maximala läckaget av CH₄ från lagringsbrunnarna och i praktiken är förlusterna sannolikt betydligt lägre än så. En av de viktigare anledningarna till detta är att temperaturen är betydligt lägre i lagringsbrunnarna än de 37 °C som försöken har genomförts vid. Hur stora metanförluster som uppkommer vid Söderåsens biogasanläggning beror därmed sannolikt på hur snabbt biogödseln avsvagnar ned till omgivningens temperatur. Genomsnittstemperaturen i Helsingborg var till exempel 9 °C år 2006 (Helsingborg, 2007) och vid denna temperatur är produktionen av CH₄ sannolikt mycket begränsad. Samtidigt är medeltemperaturen normalt cirka 15 °C under sommarmånaderna (Ljungblom, 2002) vilket sannolikt leder till en något större risk för metanläckage.

Här sätts produktionen av CH₄ till 0,15 kg CH₄/ton biogödsel vilket motsvarar 15 % av den maximala restgaspotentialen. Detta följer i grova drag det temperaturberoende som anges av Clemens *et al.* (2006). Läsaren bör dock observera att detta antagande rymmer relativt stora osäkerheter och känslighetsanalysen inkluderar därför ett intervall på +/- 50 %.

När det gäller direkta emissioner av N₂O anger IPCC (2006) att dessa är försumbara för rötad gödsel vilket inte stämmer med uppgifterna från Clemens *et al.* (2006). Här följs dock riktlinjerna från IPCC vilket innebär att några direkta emissioner av N₂O inte inkluderas i beräkningarna. Däremot inkluderas emissioner på 8,3 gram N₂O/ton enligt formel E2 i känslighetsanalysen.

När det gäller emissioner av NH₃ från rötad gödsel kan det inledningsvis konstateras att det inte finns några samstämmiga uppgifter i litteraturen om att emissionerna skulle öka eller minska jämfört med orötad gödsel (Amon *et al.*, 2006; Clemens *et al.*, 2006). På Söderåsens biogasanläggning tillförs dessutom en stor mängd andra substrat vilket gör det än svårare att bedöma emissionerna av NH₃. Här antas därför att förlusterna är i samma storleksordning som för orötad svingödsel. Då brunnarna inte är täckta sätts därför förlusterna till 7 % av den totala mängden kväve vilket motsvarar 451 gram NH₃/ton biogödsel. De indirekta emissionerna av N₂O beräknas med formel E3 till **7,1 gram/ton**.

Tabell 39: Emissioner från lagring av biogödsel

| | CO ₂ -ekv. (kg/ton) | NO ₃ -ekv. (kg/ton) |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Lagring av biogödsel | 5,9 | 1,6 |

Bilaga G Spridning av olika gödselmedel

Den biogödsel som produceras på Söderåsens biogasanläggning har en TS-halt på några procent och hanteras som flytgödsel. Spridningen sker dels med konventionell traktor och tunna, dels med matarslangsystem och biogödseln ersätter huvudsakligen mineralgödsel. Den ersätter också den flytgödsel och det slam som tidigare spreds som gödningsmedel och som nu tillförs biogasanläggningen och sprids som biogödsel. Av betydelse i föreliggande systemanalys är dels hur mycket diesel som nu används för att sprida biogödseln och hur mycket som tidigare användes för att sprida flytgödsel, mineralgödsel och slam. Andra faktorer som också inkluderas här är hur kväveförlusterna skiljer sig åt mellan olika gödselslag.

Energianvändning vid spridning av olika gödselslag

Hur mycket diesel som går åt för att sprida de olika gödselslagen beror på vilken utrustning som används, teknik, skiftesstorlek och avstånd från gården till fälten. Följaktligen varierar drivmedelsförbrukningen mellan olika referenser beroende på olika antaganden.

För spridning av flytgödsel anger Edström *et al.* (2005) till exempel att drivmedelsbehovet är cirka 2,5 kWh/ton inklusive lastning, transport till fält (2 km) och spridning. Lastning och spridning uppskattas svara för 30–40 % av behovet. Samtidigt antar Berglund och Börjesson (2003) att energibehovet uppgår till 7 kWh/ton varav 30 % härrör från lastning och transport. Ur den litteraturstudie som också redovisas framgår det dock att angivna data i litteraturen varierar betydligt. Dessa data kan jämföras med uppgifter från KTBL (2005) som anger en drivmedelförbrukning på 11–12 dm³/ha vilket motsvarar cirka 3 kWh/ton med en giva på 37 ton/ha. Här sätts energibehovet till **3 kWh/ton** inklusive lastning och transport till fälten. I känslighetsanalysen prövas betydelsen av att variera drivmedelsförbrukningen mellan 2,5 och 7 kWh/ton.

För matarslangsystem anger Wetterberg (2000) att det är relativt stora skillnader i drivmedelsförbrukning beroende på gödselns ts-halt och pumpavstånd med mera. Uppmätt dieselförbrukning varierade mellan 0,24–0,41 dm³/m³ gödsel. Behovet av drivmedel är därmed i samma storleksordning som vid spridning med traktor och tunna vilket också konstateras av Wetterberg (2000). Här sätts därför drivmedelbehovet till 3 kWh/ton.

För spridning av mineralgödsel anger KTBL (2005) en drivmedelsförbrukning på cirka 1,1–1,6 dm³ diesel/ha. Samtidigt anger Agriwise (2008) ett drivmedelsbehov på 0,5 dm³/ha med helburen spridare. Då biogödseln inte ersätter all mineralgödsel antas dock att det fortfarande sker en sådan spridning och därmed kan biogassystemet inte krediteras för en minskad drivmedelsförbrukning vid spridning av mineralgödsel. I praktiken sker dock sannolikt en viss minskning av drivmedelsbehovet vilket alltså inte beaktas här.

När det gäller emissioner av växthusgaser från olika traktoroperationer har det inom ramen för föreliggande studie inte framkommit några data utöver CO₂ och där antas samma data som för lastbilstransport, se bilaga B. I övrigt inkluderas endast emissioner av NO_x och där visar Lindgren *et al.* (2002) och Börjesson och Berglund (2003) att emissionerna uttryckt per dm³ bränsle är relativt lika för många olika traktoroperationer. För harvning, plöjning, spridning av urin, kletgödsel och mineralgödsel etc. varierar emissionerna mellan cirka 27–34 gram/dm³ (Lindgren *et al.*, 2002). Här antas därför att emissionerna av NO_x är 30 gram/dm³ diesel vilket motsvarar 4,15 gram NO₃⁻-ekvivalenter/kWh, se också bilaga A.

Ammoniakavgång från olika gödselslag

För flytgödsel och biogödsel påverkas förlusterna av kväve i form av ammoniak i stor utsträckning av spridningsteknik och väderförhållanden. När det gäller flytgödsel kan förlusterna under goda förutsättningar vara under 5 % av den totala mängden ammoniumkväve men förlusterna kan i värsta fall också vara upp mot 70 % (Karlsson och Rodhe, 2002).

Här antas dock att gödseln sprids under goda förhållanden och att förlusterna av ammoniumkväve uppgår till 5 % vid spridning. Detta är samma antagande som Börjesson och Berglund (2003) gör i sin miljöanalys av biogassystem. För den svinggödsel som används i föreliggande analys innebär det att förlusterna uppgår till 0,15 kg NH₃/ton med antagandet att gödseln innehåller 2,4 kg NH₄-N/m³ (Greppa Näringen, 2009). Samma resonemang används för biogödsel vilket innebär att emissionerna uppgår till 0,21 kg NH₃/ton.

När det gäller det förtjockade slammet från Findus antas att det hanteras som tjock flytgödsel och ammoniakemissionerna antas uppgå till 5 %.

För mineralgödsel antas att emissionerna uppgår till 1 % (Rodhe, 2009).

Kväveutlakning från olika gödselslag

Kväveutlakningen från spannmålsodling på lerjordar, vilket bedöms vara representativt i föreliggande studie, antas vara cirka 20 kg/ha när de gödglas med mineralgödsel (Johnsson och Mårtensson, 2002) vilket motsvarar cirka 90 kg NO₃⁻-ekv. Sørenssen och Birkmose (2002) redovisar försök där kväveutlakningen jämförs mellan mineralgödsel, biogödsel och nötgödsel. Dessa försök genomfördes på lerblandade sandjordar och läckaget uppgick i absoluta tal till 74, 82 respektive 89 kg N/ha.

Baserat på dessa data antas att kväveläckaget ökar med 10 % när biogödseln från Söderåsens biogasanläggning ersätter mineralgödsel och att läckaget minskar med 10 % när biogödseln ersätter flytgödsel.

I faktiska tal innebär det att läckaget sätts till 90 kg NO₃⁻-ekv./ha som gödglas med mineralgödsel och 100 respektive 110 kg/ha för biogödsel respektive flytgödsel. När det gäller slammet från Findus antas samma läckage som för flytgödsel.

Storleken på kväveläckaget beror dock på en rad olika faktorer (Johnsson och Mårtensson, 2002) och de data som används här är därför behäftade med relativt stora osäkerheter. I känslighetsanalysen varierar därför läckaget med +/- 50 %.

Bilaga H Markpackning och markkol

Markpackning är ett generellt problem vid växtodling som leder till skördeförluster på grund av försämrade förutsättningar för grödornas rotsystem att utvecklas och fungera väl. Risken för markpackning ökar framför allt med 1) ökad lerhalt i åkerjorden, 2) ökad markfuktighet, 3) tyngre jordbruksmaskiner och högre axeltryck samt 4) smalare däck och högre däcktryck (Arvidsson, 2008). Lerhalten på Wrams Gunnarstorps åkermark, där biogasanläggningen är belägen, är i genomsnitt hela 65 %. Det innebär att den är känslig för packskador, framförallt på höst och vår vid blöta förhållanden och när tunga fältmaskiner används. En grov uppskattning är att skördeförlusterna på Wrams Gunnarstorp kan uppgå till så mycket som 25 % på grund av packskador vid ogynnsamma odlingsförhållanden och väderlek (Rasmussen, 2008).

En ökad användning av biogödsel som gödselmedel i stället för mineralgödsel kan därför öka risken för packskador om spridningen sker med tunga traktorekipage. Totalvikten för ett traktorekipage med en flytgödseltunna på 25 m³ kan vara mellan 50 och 60 ton när denna är fullastad. Som jämförelse bedöms ett traktorekipage med en fullastad mineralgödselspridare väga cirka 10 ton. Ett sätt att minska risken för packskador vid spridning av biogödsel är att utnyttja ett så kallat slangspridarsystem där biogödseln pumpas i matarslangar från en lagringsbrunn till en spridarmaskin på fälten. Denna spridarmaskin väger cirka 16 ton när maskinens matarslang är helt upprullad på maskinen (och innehåller biogödsel) respektive cirka 8 ton när maskinens matarslang är helt utrullad. Spridarmaskinen har en spridarramp som är 24 meter bred och är utrustad med lågtrycksdäck vilket minskar risken för markpackning ytterligare. Spridningsbredden för mineralgödsel uppskattas också ligga kring 24 meter medan spridningsbredden vid biogödselspridning med traktor och gödseltunna idag ligger kring 12 meter. Denna bredd kan dock komma att öka till 24 meter i framtiden genom att flytgödseltunnor utrustas med bredare spridningsramp.

På Wrams Gunnarstorp utnyttjas slangspridarsystem i allt större omfattning och ersätter traditionell spridning via traktor och flytgödseltunna. En målsättning är att uppemot 90 % av gårdens åkermark ska gödulas via slangspridare i framtiden. På resterande andel åkermark bedöms spridning via traktor och tunna vara nödvändig då denna åkermark ligger alltför avsides för att slangspridarsystem ska vara ett realistiskt alternativ (Rasmussen, 2008).

En övergång från mineralgödsel till biogödsel innebär att markens mullhalt successivt kommer att öka vilket är positivt för markens strukturuppbyggnad. En långsiktigt ökad mullhalt via gödning med biogödsel kan således till viss del motverka ökade packskador från tyngre spridningsutrustning jämfört med när mineralgödsel sprids. På Wrams Gunnarstorp tillämpas också anpassad markbearbetning för att minska risken för packskador och för att förbättra markstrukturen. Traditionell plöjning med ordinära traktorer har ersatts med djupkultivering (med så kallad alvluckrare) med bandgående traktorer.

I föreliggande beräkningar uppskattas hur markpackningen förändras på Wrams Gunnarstorps åkermark när biogödsel ersätter mineralgödsel och när slangspridningssystem ersätter traditionell spridning med traktor och flytgödseltunna. Förändrad markpackning uttrycks i form av förändrade skördenivåerna vid odling av jordbruksgrödor vilket i sin tur innebär indirekta miljöeffekter. Dessutom uppskattas miljöeffekterna i form av växthusgasbalansen av ökad mullhalt när biogödsel ersätter mineralgödsel.

Markpackning

Vid Sveriges lantbruksuniversitet och avdelningen för jordbearbetning har en beräkningsmodell för markpackning utvecklats med namnet JORDPACK, som bland annat utnyttjas i kalkylprogrammet STANK för miljöriktad växtnäringensrådgivning (Arvidsson, 2008). JORDPACK, som beskrivs närmare i Arvidsson och Håkansson (1991, 1992), behandlar effekterna av jordpackning i följande fyra delar:

1. Effekter på årets gröda av återpackning i matjorden efter plöjning.
2. Effekter i matjorden som finns kvar efter det att fältet plöjts.
3. Effekter av packning i alven.
4. Effekter av körning i växande gröda (främst i vall).

Denna beräkningsmodell har här utnyttjats för att analysera hur spridning av biogödsel påverkar markpackningen på Wrams Gunnarstorps åkermark. I Tabell 40 beskrivs antagen data för respektive spridningssystem som legat till grund för beräkningarna i JORDPACK.

Tabell 40: Data för respektive spridningssystem som legat till grund för beräkningar av markpackning på Wrams Gunnarstorp åkermark.

| Parameter | Spridningssystem/Gödselmedel | | |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Mineralgödsel | Biogödsel Traktor & tunna | Biogödsel Slangspridning |
| Arbetsbredd (m) | 24 | 12 (24) | 24 |
| Totalvikt (ton) | 10 | 55 | 16 |
| Ringtryck (kPa) | 150 | 150 | 75 (150) |

I modellen beräknas packskadorna utifrån fyra olika spridningstidpunkter som är vårbruk, försommar, tidig höst respektive sen höst. Här antas att spridning av biogödsel respektive mineralgödsel framför allt sker under vårbruket varför endast denna spridningstidpunkt inkluderas i denna analys. Markpackningen räknas om och uttrycks i form av skördeförstär (i procent) av den odlade grödan som i detta fall antas vara vete. Beräkningsmodellen baseras på ett mycket stort försöksmaterial i form av fältförsök som pågått under många år och som är placerade över hela landet (Arvidsson, 2008). Trots detta finns osäkerheter i beräkningarna varför resultaten ska ses som en ungefärlig uppskattning om storleksordningen av packskadorna och inte som exakta beräkningar.

När skördeförstärerna på grund av markpackning räknas om till miljöpåverkan utnyttjas livscykeldata för spannmålsodling (vete) i södra Sverige, baserat på Börjesson och Tufvesson (2008), se Tabell 41. I dessa data ingår direkta och indirekta energiinsatser vid odling (uttryckt som primärenergi) och emissioner från dessa energiinsatser, samt biogena emissioner från åkermarken vid odling. För en mer detaljerad beskrivning se Börjesson och Tufvesson (2008).

Tabell 41: Miljöpåverkan vid veteodling i södra Sverige¹

| Miljöeffektkategori | Miljöeffekt (per hektar veteodling) |
|---------------------|-------------------------------------|
| Växthuseffekt | 2,9 ton CO ₂ -ekv |
| Övergödning | 209 kg NO ₃ -ekv |
| Primärenergi | 4,2MWh ³ |

¹ Avser en skördenivå om 7,5 ton vete per hektar med 15 % vattenhalt. Baserat på Börjesson och Tufvesson (2008).

³ Primärenergiinsats, vilket motsvarar cirka 13 % av energiinnehållet i veteskörden.

I Tabell 42 redovisas hur spridningssystemen för mineralgödsel och biogödsel påverkar markpackningen, uttryckt som minskade skördeförluster i procent. Spridning av mineralgödsel beräknas ge lägst markpackningsskador varför packskadorna från spridning av biogödsel relateras till dessa. Alltså visas endast ökningen av packskador vid spridning av biogödsel jämfört med mineralgödsel. Generellt sett ger spridning av mineralgödsel mycket små markpackningsskador. Som framgår av Tabell 42 innebär spridning av biogödsel med slangspridningssystem också mycket små packskador och skördeförluster, cirka 1-2 % jämfört med spridning av mineralgödsel. Spridning av biogödsel med traktor och flytgödseltunna ger dock stora packskador och skördesänkningar, drygt 20 %. I framtiden kan dock dessa halveras till drygt 10 % genom att flytgödseltunnan utrustas med en dubbelt så bred spridningsramp.

Tabell 42: Uppskattade markpackningsskador vid spridning av biogödsel i relation till spridning av mineralgödsel.

| Gödselmedel/spridningssystem | Relativa markpackningsskador uttryckt som minskade skördenivåer (%) | |
|---|---|-----------|
| | Genomsnitt | Intervall |
| Mineralgödsel | 0 | 0 |
| Biogödsel – slangspridningssystem (lågtrycksdäck) | 1,0 | 0,7 – 1,3 |
| Biogödsel – slangspridningssystem (vanliga däck) | 1,5 | 1,0 – 2,0 |
| Biogödsel – traktor och flytgödseltunna (24 m) | 10 | 7 – 13 |
| Biogödsel – traktor och flytgödseltunna (12 m) | 20 | 15 – 25 |

I Tabell 43 redovisas den ökade miljöpåverkan markpackningsskadorna ger genom att skördenivåerna minskar och att livscykelemissionerna per mängd spannmål därmed ökar. Som diskuterats ovan medför dagens spridning av biogödsel med traktor och flytgödseltunna (12 meter) en relativt stor negativ miljöpåverkan via ökade markpackningsskador och sänkta skördenivåer, jämfört med spridning av mineralgödsel. Däremot medför spridning av biogödsel med slangspridningssystem en liten negativ miljöpåverkan jämfört med spridning av mineralgödsel.

Tabell 43: Uppskattad ökad miljöpåverkan på grund av markpackning när biogödsel ersätter mineralgödsel

| Gödselmedel/spridningssystem | Ökad miljöpåverkan på grund av markpackningsskador – genomsnitt (per ha åker) | | |
|---|---|---|--------|
| | CO ₂ -ekv/ha (kg) | NO ₃ ⁻ -ekv/ha (kg) | kWh/ha |
| Mineralgödsel | 0 | 0 | 0 |
| Biogödsel – slangspridningssystem (lågtrycksdäck) | 30 | 2,1 | 42 |
| Biogödsel – slangspridningssystem (vanliga däck) | 45 | 3,1 | 56 |
| Biogödsel – traktor och flytgödseltunna (24 m) | 320 | 23,0 | 444 |
| Biogödsel – traktor och flytgödseltunna (12 m) | 610 | 43,9 | 861 |

Baserat på växtnäringsinnehållet i biogödseln från Söderåsens biogasanläggning behövs teoretiskt mellan 40 - 50 ton biogödsel per hektar åkermark för att tillgodose grödornas växtnäringsbehov (Rasmussen, 2008). I praktiken sprids dock en lägre mängd biogödsel, cirka 30 ton per hektar, som kompletteras med mineralgödsel för att bland annat få en bättre balans mellan tillförseln av

kväve och fosfor. Dessutom sprids kväve i form av mineralgödsel respektive biogödsel vid olika tidpunkter under odlingsäsongen (mineralgödsel i mars och biogödsel i april-maj) (Rasmussen, 2008). I denna analys görs dock ett förenklat antagande om att antingen tillförs all växtnäring via biogödsel eller via mineralgödsel. På detta sätt kan miljöpåverkan som beskrivs i Tabell 43 också uttryckas per ton biogödsel, se Tabell 44.

Tabell 44: Uppskattad ökad miljöpåverkan på grund av markpackning när biogödsel ersätter mineralgödsel

| Gödselmedel/spridningssystem | Ökad miljöpåverkan på grund av markpackningsskador – genomsnitt (per ton biogödsel ¹) | | |
|---|--|----------------------|------|
| | CO_2 -ekv (kg) | NO_3^- -ekv/ha (g) | kWh |
| Mineralgödsel | 0 | 0 | 0 |
| Biogödsel – slangspridningssystem (lågtrycksdäck) | 0,7 | 47 | 0,9 |
| Biogödsel – slangspridningssystem (vanliga däck) | 1,0 | 69 | 1,2 |
| Biogödsel – traktor och flytgödseltunna (24 m) | 7,1 | 511 | 9,9 |
| Biogödsel – traktor och flytgödseltunna (12 m) | 14 | 976 | 19,2 |

¹ Givna av biogödsel antas vara 45 ton per hektar vilket motsvarar spannmålsgrödans totala näringsbehov.

Markkol

Det finns idag inga resultat från studier över hur tillförsel av biogödsel från biogasproduktion påverkar markens kolförråd jämfört med till exempel spridning av mineralgödsel. Fältförsök pågår dock vid SLU Alnarp och resultat från dessa väntas inom något/några år (Gissén, 2008). I denna analys görs därför en grov uppskattning av hur kolinnehållet i marken kan påverkas av gödning med biogödsel baserat på teoretiska beräkningar som behöver verifieras i praktiska fältförsök.

I de olika substrat som används för biogasproduktion finns kol bundet i olika former där den mest svårnedbrytbara är lignin. Halten lignin varierar oftast mellan 2,5 till 5 % uttryckt som kol (C) av det totala kolinnehållet i substrat som organiskt hushållsavfall, slakteriavfall, flytgödsel med mera (Berglund och Börjesson, 2003). I biogasprocessen bedöms i princip inget lignin brytas ner utan allt återfinns i biogödsel och bildar stabil humus i åkermarken. Andra kolföreningar som cellulosa, stärkelse, fett och protein bryts alla ner men i olika grad från cirka 60 till 85 %, med ett totalt genomsnitt om cirka 65 – 70 %. Resterande del som inte brutits ner i biogasprocessen återfinns i biogödseln men delar av dessa kolföreningar bedöms successivt brytas ner i åkermarken, vilket innebär att det är bara en mindre andel av dessa kolföreningar som bildar stabil humus. Totalt antas här att mellan 5 – 10 % av biogödseln kolhalt bildar stabil humus i åkermarken.

Biogödseln från Söderåsens biogasanläggning innehåller cirka 3,5 % torrsubstans varav 60-65 % bedöms utgöra kol (C). Det kan jämföras med kolinnehållet i de ursprungliga substraten som varierar mellan cirka 40-50 % (Berglund och Börjesson, 2003). Ett grovt antagande i denna analys är därför att mängden kol i den aktuella biogödseln uppgår till cirka 2 %.

I Tabell 45 sammanfattas den miljövinna som fås när biogödsel ersätter mineralgödsel i form av ökad kolinbindningen i åkermarken. Dessa beräkningar bygger på antagandet att 45 ton

biogödsel tillförs per hektar och år för att bli jämförbara med beräkningarna ovan gällande markpackning. I praktiken uppgår dock biogödselgivan till cirka 30-35 ton per hektar och år då resterande behov av växtnäring tillgodoses av mineralgödsel (se avsnitt 3.1).

Tabell 45: Uppskattad ökad kolinbindning i Wrams Gunnarstorps åkermark när biogödsel ersätter mineralgödsel

| <i>Ökad koltillförsel</i> | <i>Genomsnitt</i> | <i>Intervall</i> |
|---|-------------------|------------------|
| Per hektar och år | | |
| - Kg kol (C) | 80 | 50-110 |
| - Kg koldioxidekvivalenter (CO ₂) | 290 | 180-380 |
| Per ton rötrest | | |
| - Kg kol (C) | 1,8 | 1,1-2,4 |
| - Kg koldioxidekvivalenter (CO ₂) | 6,6 | 4,0-8,7 |

Som framgår av resultaten i Tabell 45 beräknas den årliga inbindningen av kol i åkermarken vid återföring av biogödsel kunna uppgå till motsvarande cirka 80 kg kol (C) per hektar när denna växtnäringsresurs ersätter mineralgödsel. Som jämförelse bedöms inbindningen av kol uppgå till i genomsnitt till cirka 150 kg kol (C) när halm lämnas efter veteodling jämfört med när det skördas (avser 5 ton skörd) (Börjesson och Tufvesson, 2008). Med andra ord, tillförseln av biogödsel uppskattas här kunna motsvara drygt halva betydelsen för markens kolhalt (och mullhalt) jämfört med när en potentiell halmskörd sparas på fältet.

Bilaga I Ersättning av mineralgödsel

När olika substrat utnyttjas för biogasproduktion fås samtidigt en rötrest eller biogödsel som kan användas som gödselmedel på åkermark. Detta innebär en indirekt energi- och miljövinst genom att behovet av mineralgödsel minskar, förutsatt att substratet inte tidigare utnyttjades som gödselmedel. Produktionen av mineralgödsel är relativt energikrävande och medför utsläpp av framför allt av växthusgaser. När flytgödsel rötas fås också en indirekt energi- och miljövinst eftersom andelen växttillgängligt kväve ökar vilket minskar behovet av kompletterande mineralgödsel (Börjesson och Berglund, 2007).

Besparing av mineralgödsel

Biogödseln från Söderåsens biogasanläggning antas här innehålla 3,5 kg N/m³ i form av ammoniumkväve (NH₄-N) inklusive ammoniakförluster under lagring samt utspädning av biogödseln med regnvatten. Innehållet av fosfor motsvarar ungefär 0,6 kg P/m³. Den totala mängden rötrest uppgår till cirka 53 000 m³ per år (inklusive regnvatten) vilket då motsvarar ungefär 185 ton kväve (NH₄-N) respektive 32 ton P.

Energianvändning och emissioner vid tillverkning av mineralgödsel

I Tabell 46 beskrivs energiåtgång och emissioner vid dagens tillverkning av mineralgödsel som används i föreliggande studies basfall. Observera att emissionerna av lustgas (N₂O) på 15 g/kg N avser anläggningar utan lustgasrening. Denna teknik införs dock i allt högre grad vilket kan ge cirka 70 – 90 % lägre lustgasutsläpp per kg kvävegödsel (Jenssen och Kongshaug, 2003). Enligt Erlingsson (2009) kommer Yara, som har 65 % av marknaden för kvävegödsel i Sverige, att ha installerat lustgasrening på samtliga fabriker i norra Europa i slutet av år 2009. För den aktuella analysperioden antas att 45 % av all kvävegödsel tillverkats med katalytisk lustgasrening och i känslighetsanalysen visas effekterna av att all gödsel respektive ingen gödsel tillverkats på detta sätt. När det gäller användningen av energi anger EU (2007) att bästa tillgängliga teknik för att producera ammoniak kräver 9,3 – 10,7 MWh/ton N. I känslighetsanalysen visas effekten av att energianvändningen varierar med +/- 25 % där den högre användningen antas motsvara fabriker utanför Nordeuropa som inte är lika energieffektiva.

Tabell 46: Energianvändning och emissioner vid tillverkning av mineralgödsel¹

| Energibehov & Emissioner | Kvävegödsel (per kg N) | Fosforgödsel (per kg P) |
|---|------------------------|-------------------------|
| Primärenergi (kWh) | 12,5 | 6,9 |
| CO ₂ (kg) | 3,2 | 2,9 |
| NO _x (g) | 8,0 | 18 |
| CH ₄ (g) | 3,1 | 7,2 |
| N ₂ O (g) ² | 15 | 0,29 |
| CO₂-ekvivalenter (kg)³ | 6,1 | 3,17 |
| NO₃⁻-ekvivalenter (g) | 10,8 | 24,3 |

¹ Baserat på Börjesson och Tufvesson (2008), Davis och Haglund (1999), Jenssen och Kongshaug (2003) och Pach (2007).

² Om produktion sker i anläggningar med katalytisk lustgasrening minskar emissionerna med cirka 80 % (Jenssen och Kongshaug, 2003).

³ Antar att 45 % av produktionen sker med katalytisk lustgasrening

Bilaga J Ersättning av foder

En del av det substrat som tillförs Söderåsens biogasanläggning består av morotsavfall och annat fast grönsaksavfall som tidigare delvis användes som foder till nötkreatur och delvis lades ut som viltfoder. I föreliggande studie antas därför att detta substrat inte är ett avfall utan en biprodukt och att det därmed ska föra med sig en del energianvändning och emissioner in i biogassystemet, se också kapitel 1.

Beräkningarna genomförs för morotsavfallet och det antas att 1 kg torrsubstans från morötter ersätts med 1 kg torrsubstans från korn (Bertilsson, 2009).

Mängden morötter som ska ersättas uppskattas till 2 500 ton vilket motsvarar 275 ton TS med en antagen TS-halt på 11 % (LivsmedelsSverige, 2008; Hushållningssällskapet, 2008). Emissioner och energiåtgång för korn baseras på Flysjö *et al.* (2008) och återfinns i Tabell 47.

Tabell 47: Miljöpåverkan vid produktion av korn i södra Sverige (Flysjö *et al.*, 2008)

| | Primärenergi | Klimatpåverkan | Övergödning |
|-------------------|----------------|------------------------------------|---|
| Våtvikt (83 % TS) | 0,8 kWh/kg | 390 g CO ₂ -ekv./kg | 39 g NO ₃ ⁻ -ekv./kg |
| Torr vara (TS) | 0,97 kWh/kg | 470 g CO ₂ -ekv./kg | 47 g NO ₃ ⁻ -ekv./kg |
| Totalt* | 267 MWh | 130 ton CO₂-ekv. | 13 ton NO₃⁻-ekv. |

* Beräknat för 275 ton TS

Därutöver tillkommer transporter från Findus till de olika gårdar och andra platser där morötterna används. Transportavståndet sätts till 1,5 mil tur och retur och returtransporterna antas vara tomma. Lastkapaciteten sätts till 15 ton och bränsleförbrukningen till 4 kWh/km, se kapitel 2. Användningen av primärenergi uppgår därmed till 21 MWh och emissionerna blir 5,4 ton CO₂-ekvivalenter respektive 67 kg NO₃⁻-ekvivalenter.

I systemanalysen belastas biogassystemet med den miljöpåverkan som uppstår vid produktion av korn med avdrag för de transporter av morötter från Findus till olika foderkonsumenter som numera inte behöver genomföras. Sammantaget belastas biogassystemet därmed med 246 MWh primärenergi, 124 ton CO₂-ekvivalenter och 12,7 ton NO₃⁻-ekvivalenter.

Reports from the Department of Environmental and Energy Systems Studies

Lars Nilsson, Eric D. Larson, **A System-Oriented Assessment of Electricity Use and Efficiency in Pumping and Air-Handling**, IMES/EESS Report No. 1, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 1990.

Tomas Ekwall, **Energy Demand for Residential Air Conditioning in Developing Countries**, IMES/EESS Report No. 2, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, February 1991.

Tomas Ekwall, **Elektrotermiska processer i svensk industri**, IMES/EESS Report No. 3, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1991.

Per Svenningsson, **Omvandling av energi - hur stort är primärenergibehovet för att leverera energi till slutlig användning?**, IMES/EESS Report No. 4, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 1991.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--91/3001--SE + (1-121)

ISBN 91-88360-01-6

Johan Callin, Björn Svennesson, Eric White, **Energy and industrialization, The choice of technology in the paper and pulp industry in Tanzania**, Master Thesis, IMES/EESS Report No. 5, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, February 1991.

Mattias Lundberg, **Samproduktion av el och värme med gasturbiner och gasmotorer, En analys av hur mycket el som kan produceras med kraftvärmeteknik som har högt el till värmeförhållande**, IMES/EESS Report No. 6, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 1991.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--91/3002--SE + (1-140)

ISBN 91-88360-00-8

Brita Olerup, **Att genomföra förändringar - En effektivare energi-användning**, IMES/EESS Report No. 7, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 1991.

Anders Mårtensson, **Energy Efficiency Improvement by Measurement and Control. A case study of reheating furnaces in the steel industry**, IMES/EESS Report No. 8, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 1992.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--92/3003--SE + (1-48)

ISBN 91-88360-02-4

Deborah Wilson, **Evaluating Alternatives: Aspects of an Integrated Approach Using Ethanol in Thailand's Transportation Sector**, IMES/EESS Report No. 9, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 1993.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--93/3004--SE + (1-42)

ISBN 91-88360-04-0

P. Schlyter, G. Bengtsson, **Bedömning av kronutglesning hos gran och tall i fält och i storskaliga flygbilder**, IMES/EESS Report No. 10, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 1993.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--93/3005--SE + (1-33)

ISBN 91-88360-06-7

Anders Mårtensson, **Supply Quality Control at Large Scale Integration of Renewable Energy Sources of Electricity in the Swedish National Grid**, IMES/EESS Report No. 11, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 1993.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--93/3006--SE + (1-29)

ISBN 91-88360-08-3

Anders Mårtensson, **Evaluating Energy Efficiency Improvements - A Case Study on Information Technology for Steel Heating Furnaces**, IMES/EESS Report No. 12, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, July 1993.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--93/3007--SE + (1-41)

ISBN 91-88360-09-1

Lars Lundahl, **The Wind Water Tunnel at IMES- A Facility for Empirical Studies of Aerosol Deposition**, IMES/EESS Report No. 13, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 1994.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--94/3008--SE + (1-36)

ISBN 91-88360-11-3

Joel Swisher, **Dynamics of Electric Energy Efficiency in Swedish Residential Buildings**, IMES/EESS Report No. 14, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 1994.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--94/3009--SE + (1-25)

ISBN 91-88360-18-0

Joel Swisher, Lena Christiansson, **Dynamics of Energy Efficiency in Lighting and Other Commercial Uses in Sweden**, IMES/EESS Report No. 15, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1994.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--94/3010--SE + (1-33)

ISBN 91-88360-15-6

Richard Weston, **Aerosol Deposition: Process Modelling Experiments**, IMES/EESS Report No. 16, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1994.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--94/3011--SE + (1-50)

ISBN 91-88360-14-8

Pål Börjesson, **Energianalyser av biobränsleproduktion i svenskt jord- och skogsbruk - idag och kring 2015**, IMES/EESS Report No. 17, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, July 1994.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--94/3012--SE + (1-63)

ISBN 91-88360-20-2

Annika Carlsson, **Developing a Methodology to Assess Environmental Effects of Consumption Patterns - A Case Study**, IMES/EESS Report No. 18, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 1994.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--94/3013--SE + (1-61)

ISBN 91-88360-19-9

Annika Carlsson, **Swedish Food Consumption and the Environment - a Trend Analysis During the Period of Consumerism**, IMES/EESS Report No. 19, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 1995.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--95/3014--SE + (1-40)

ISBN 91-88360-21-0

Britt-Marie Johnsson, **Axis och miljö - en nulägesrapport**, IMES/EESS Report No. 20, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1996.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--96/3015--SE + (1-62)

ISBN 91-88360-26-1

Lena Christiansson, **Dynamics of Electricity Efficiency in Commercial Air-Distribution Systems in Sweden**, IMES/EESS Report No. 21, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, April 1996.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--96/3016--SE + (1-24)

ISBN 91-88360-28-8

Mindaugas Raulinaitis, **Biomass for Heat and Electricity: a Sustainable Resource in the Lithuanian Energy System**, IMES/EESS Report No. 22, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, August 1996.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--96/3017--SE + (1-48)

ISBN 91-88360-29-6

Jürgen Salay, **Electricity Production and SO₂ Emissions in Poland's Power Industry**, IMES/EESS Report No. 23, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 1996.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--96/3018--SE + (1-38)

ISBN 91-88360-31-8

Annika Carlsson, **Greenhouse Gas Emissions in the Life-Cycle of Carrots and Tomatoes**, IMES/EESS Report No. 24, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 1995.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--97/3019--SE + (1-74)

ISBN91-88360-35-0

Sophia Chong, **Institutions in an Era of Global Warming on Institutional Dynamics in the European Union**, IMES/EESS Report No. 25, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 1997.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--98/3020--SE + (1-22)

ISBN91-88360-38-5

Johannes Stripple, **The Image of Climate Change: On Organisational Cognition and Responses**, IMES/EESS Report No. 26, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 1999.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--98/3021--SE + (1-24)

ISBN91-88360-39-3

Jessica Johansson and Ingrid Wigstrand, **Källsortering för ökad återvinning hos Skanska Prefab, (Increased recovery through source separation at Skanska Prefab)**, IMES/EESS Report No. 27, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 1998.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--98/3022--SE + (1-168)

ISBN91-88360-41-5

Joakim Nordqvist, **Rural Residential District Heating in North China**, IMES/EESS Report No. 28, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3023--SE + (1-75)

ISBN91-88360-45-8

Jannice Hansson, **Miljöledningssystem i Skanska Väg, Region Syd**, IMES/EESS Report No. 29, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3024--SE + (1-xx)

ISBN91-88360-46-6

Peter Helby, **Voluntary agreements, implementation and efficiency. European relevance of case study results. Reflections on transferability to voluntary agreement schemes at the European level.** IMES/EESS Report No. 30, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3025--SE + (1-64)

ISBN91-88360-47-4

Jonas Kågström, Kerstin Åstrand and Peter Helby, **Voluntary agreements, implementation and efficiency. Swedish country study report. Covering the EKO-Energi programme. With case studies in pulp and paper and heavy vehicle manufacturing.** IMES/EESS Report No. 31, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3026--SE + (1-105)

ISBN91-88360-48-2

Peter Helby, **Renewable energy projects in Sweden: An overview of subsidies, taxation, ownership and finance.** IMES/EESS Report No. 32, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3027--SE + (1-36)

ISBN91-88360-49-0

Peter Helby, **Renewable energy projects in Denmark: An overview of subsidies, taxation, ownership and finance.** IMES/EESS Report No. 33, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2000.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--00/3028--SE + (1-52)

ISBN91-88360-50-4

Pål Börjesson, **Framtida tillförsel och avsättning av biobränslen i Sverige - Regionala analyser.** IMES/EESS Report No. 34, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 2001.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--01/3029--SE + (1-49)

ISBN91-88360-51-2

Bengt Johansson, Pål Börjesson, Karin Ericsson, Lars J Nilsson and Per Svenningsson, **The Use of Biomass for Energy in Sweden – Critical Factors and Lessons Learned.**

IMES/EESS Report No. 35, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, August 2002.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--02/3030--SE + (1-46)

ISBN 91-88360-53-9

Birgitta Henecke and Jamil Khan, **Medborgardeltagande i den fysiska planeringen – en demokratiteoretisk analys av lagstiftning, retorik och praktik.**

IMES/EESS Report No. 36, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, November 2002.

ISSN 1102-3651

ISSN 1404-6741

ISRN LUTFD2/TFEM--02/3031--SE + (1-44)

ISBN 91-7267-134-3

Pål Börjesson, Göran Berndes, Fredrik Fredriksson and Tomas Kåberger, **Multifunktionella bioenergiödlingar.**

IMES/EESS Report No. 37, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, November 2002.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--02/3032--SE + (1-112)

ISBN 91-88360-54-7

Pål Börjesson, Anders Christian Hansen, Peter Helby, Anders Roos, Håkan Rosenqvist and Linn Takeuchi, **Market development for sustainable bioenergy systems in Sweden. (The BIOMARK project).**

IMES/EESS Report No. 38, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3033--SE + (1-193)

ISBN 91-88360-55-5

Nilla Emanuelsson, Lotta Strömberg, **Förslag på energisystemlösningar för bostäder tillhörande Högestads och Christinehofs Fideikommiss AB.**

IMES/EESS Report No. 39, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/5001--SE + (1-105)

Lena Neij, Per Dannemand Andersen, Michael Durstewitz, Peter Helby, Martin Hoppe-Kilpper, Poul Erik Morthorst, **Experience curves: a tool for energy policy programmes assessment.** IMES/EESS Report No. 40, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3034--SE + (1-146)

ISBN 91-88360-56-3

Peter Joelson, **Environment and Economy in Symbiosis? Experiences of Environment Management with Environmental Management System from Small Swedish Energy Enterprises.**

IMES/EESS Report No. 41, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/5002--SE + (1-94)

Linn Takeuchi, **Subcontractors and Component Suppliers in the Swedish Wind Power Industry.**

IMES/EESS Report No. 42, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3035--SE + (1-95)

ISBN 91-88360-60-1

Petter Rönnborg, **Borta med vinden: En analys av konkurrensen mellan leverantörer av vindkraftverk i Sverige.**

IMES/EESS Report No. 43, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3036--SE + (1-76)

ISBN 91-88360-62-8

Maria Berglund and Pål Börjesson, **Energianalys av biogassystem.**

IMES/EESS Report No. 44, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3037--SE + (1-90)

ISBN 91-88360-63-6

Pål Börjesson and Maria Berglund, **Miljöanalys av biogassystem.**

IMES/EESS Report No. 45, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3038--SE + (1-80)

ISBN 91-88360-64-4

Kerstin Åstrand och Lena Neij, **Styrmedel för vindkraftens utveckling i Sverige.**

IMES/EESS Report No. 46, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, November 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3039--SE + (1-102)

ISBN 91-88360-65-2

Jamil Khan, **Planering av biogasanläggningar.**

IMES/EESS Report No. 47, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, July 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3040--SE + (1-54)

ISBN 91-88360-66-0

Bengt Johansson, **Nationella mål och flexible mekanismer.**

IMES/EESS Rapport Nr. 48, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, November 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3041--SE + (1-28)

ISBN 91-88360-67-9

Ole Langnißss, **Governance Structures for Promoting Renewable Energy Sources.**

IMES/EESS Report No. 49, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2003.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--03/3042--SE + (1-280)

ISBN 91-88360-68-7

Anna Evander, **Framtida utformning av CDM.**

IMES/EESS Report No. 50, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--04/5003--SE + (1-67)

Maria Andersson, **Utvärdering av miljöarbetet på Forsmark relaterat till införande av ett miljöledningssystem - med inriktning mot avfallshantering och upphandling.**

IMES/EESS Report No. 51, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--04/5004--SE + (1-74)

Linda Gustavsson, **Utvärdering av miljöarbetet på Ringhals kärnkraftverk – efter införandet av ett certifierat miljöledningssystem.**

IMES/EESS Report No. 52, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--04/3043--SE + (1-90)

ISBN 91-88360-69-5

Max Åhman, **Government policy and environmental innovation in the automobile sector in Japan.**

IMES/EESS Report No. 53, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2004

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--04/3044--SE + (1-31)

ISBN 91-88360-70-9

Pål Börjesson, **Energianalys av drivmedel från spannmål och vall.**

IMES/EESS Report No. 54, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 2004.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--04/3045--SE + (1-16)

ISBN 91-88360-71-7

Max Åhman, **Den svenska cement- och kalkindustrin – Konsekvenser av EU:s system för handel med utsläppsrätter.**

IMES/EESS Report No. 55, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2004.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--04/3046--SE + (1-39)

ISBN 91-88360-73-3

Bengt Johansson, **Klimatpolitiska styrmedels funktion och möjliga effekter.**

IMES/EESS Report No. 56, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, December 2004.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--04/3047--SE + (1-90)

ISBN 91-88360-74-1

Mikael Lantz, Gunnel Larsson och Torbjörn Hansson, **Förutsättningar för förnybar energi i svensk växthusodling.**

IMES/EESS Report No. 57, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, February 2006.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--år/3048--SE + (1-99)

ISBN 91-88360-78-4

Linn Takeuchi Waldegren, **The Project Based Mechanisms of the Kyoto Protocol - Credible Instruments or Challenges to the Integrity of the Kyoto Protocol.**

IMES/EESS Report No. 58, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 2006.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--06/3049--SE + (1-156)

ISBN 91-88360-81-4

Pål Börjesson, **Energibalans för bioetanol - en kunskapsöversikt.**

IMES/EESS Report No. 59, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, March 2006.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--06/3050--SE + (1-17)

ISBN 91-88360-82-2

Pål Börjesson, **Livscykelanalys av Salixproduktion.**

IMES/EESS Report No. 60, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2006.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--06/3051--SE + (1-21)

ISBN 91-88360-83-0

Pål Börjesson, **Produktionsförutsättningar för biomassa inom svenskt jordbruk.**

IMES/EESS Report No. 61, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2007.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--07/3052--SE + (1-87)

ISBN 91-88360-85-7

Pål Börjesson, **Förädling och avsättning av jordbruksbaserade biobränslen.**

IMES/EESS Report No. 62, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, May 2007.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--07/3053--SE + (1-117)

ISBN 91-88360-86-5

Mikeal Lantz, **Ökat utnyttjande av befintliga biogasanläggningar.**

IMES/EESS Report No. 63, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, September 2007.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--07/3054--SE + (1-123)

ISBN 91-88360-87-3

Karin Ericsson och Pål Börjesson, **Potentiell avsättning av biomassa för produktion av el, värme och drivmedel inklusive energikombinat - Regionala analyser och räkneexempel**
IMES/EESS Report No. 64, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2008.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2 / TFEM--08/3055--SE + (1-66)

ISBN 91-88360-88-1

Pål Börjesson, **Ful- eller finetanol?**

IMES/EESS Report No. 65, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, June 2008.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--08/3056--SE + (1-26)

Pål Börjesson, Karin Ericsson, Lorenzo Di Lucia, Lars J. Nilsson, Max Åhman, **Hållbara drivmedel - finns de?**

IMES/EESS Report No. 66, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, november 2008.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--08/3057--SE + (1-107)

ISBN 91-88360-91-1

Pål Börjesson, Karin Ericsson, Lorenzo Di Lucia, Lars J. Nilsson, Max Åhman, **Sustainable vehicle fuels- Do they exist?**

IMES/EESS Report No. 67, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, January 2009

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--06/3058--SE + (1-103)

ISBN 91-88360-83-0

Max Åhman, **Energi för Vägtransporter – utsikter mot 2020 och därefter.**

IMES/EESS Report No. 68, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, februari 2009.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--09/3059--SE + (1-44)

ISBN 91-88360-94-6

Mikael Lantz, Anna Ekman, Pål Börjesson, **Systemoptimerad produktion av fordonsgas – En miljö och energisystemanalys av Söderåsens biogasanläggning.**

IMES/EESS Report No. 69, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden, juni 2009.

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--09/3060--SE + (1-110)

ISBN 91-88360-95-4