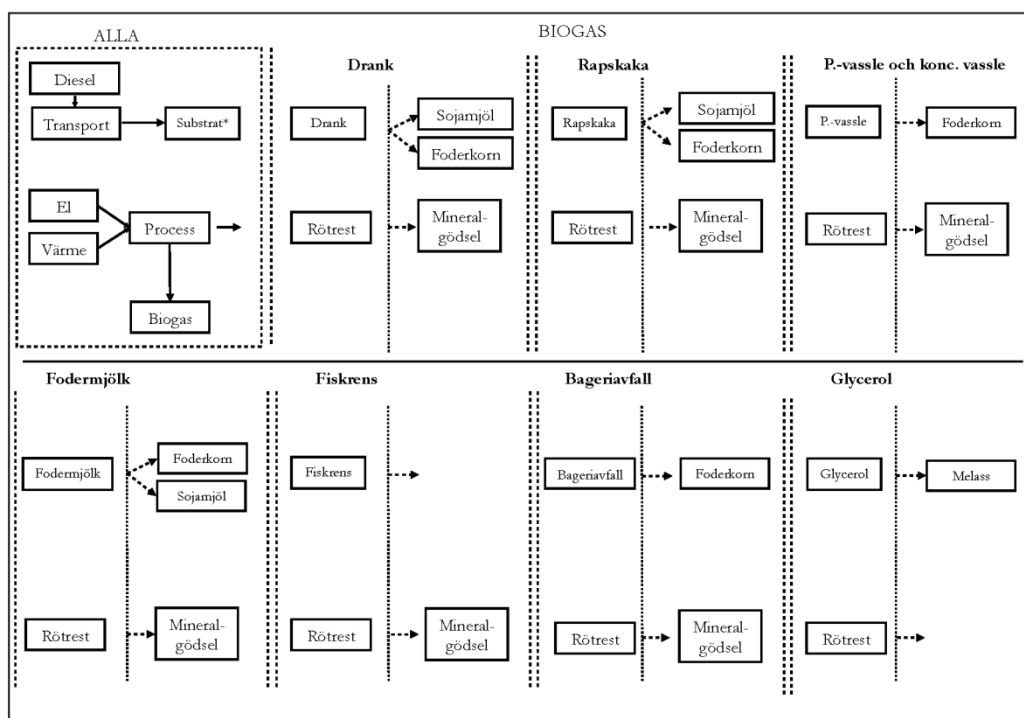


Livscykelanalys av biogas från restprodukter



Linda Tufvesson & Mikael Lantz
Miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola

Juni 2012

SGC:s FÖRORD

FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller dylikt i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC:s hemsida www.sgc.se.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verkssamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD).

SGC har följande delägare:

Energigas Sverige, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Arla Foods
Göteborg Energi AB
Lunds Energikoncern AB (publ)
Stockholm Gas AB
AGA Gas AB
NSR AB
E.ON Gas Sverige AB
Triventus Biogas AB
Norrmejerier
Energimyndigheten

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Martin Ragnar

Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Avdelningen för miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn
	Rapport
	Utgivningsdatum mars 2012
	Författare Linda Tufvesson & Mikael Lantz

Dokumenttitel och undertitel

Livscykelanalys av biogas från restprodukter

Sammandrag

Syftet med detta projekt är att göra livscykelanalyser av olika biogassystem där biogas produceras från restprodukter. De restprodukter som inkluderas är drank, rapskaka, permeatvassle, koncentrerad permeatvassle, fodermjölk, fiskrens, bageriavfall och glycerol. De miljöeffektkategorier som ingår är klimatpåverkan, övergödning, försurning, fotokemiska oxidanter (marknära ozon), partiklar samt energibalans.

Beräkningarna baseras på tre olika beräkningsmetoder; systemutvidgning, energiallokering samt ekonomisk allokering. Resultaten presenteras per MJ fordonsgas. En jämförelse görs även med den beräkningsmetodik som tagits fram för hållbarhetskriterier inom EU's direktiv om förnybar energi (RED).

En generell slutsats är att alla studerade restprodukter lämpar sig mycket väl för produktion av biogas om de inte skulle ha någon avsättning som djurfoder i dagsläget. Samtliga substrat reducerar emissionerna av växthusgaser jämfört med bensin och diesel och uppfyller också kraven enligt RED's hållbarhetskriterier. Resultatet visar också att de undersökta biogassystem är komplexa och att många olika parametrar påverkar resultatet. Dessa parametrar finns både inbyggda i själva livscykelanalysmetodik, men även i de indata som används. Hur miljöprestandan förändras om restprodukterna måste ersättas med djurfoder testas i systemexpansionen. I samtliga fall utom för fiskrens där det inte finns något alternativt djurfoder, ökar biogasens miljöpåverkan betydligt. Samtliga substrat ger dock fortfarande en reduktion av växthusgaser jämfört med fossila bränslen men emissionerna som påverkar försurning och övergödning blir högre.

Nyckelord

Biogas, restprodukter, livscykelanalys, miljöaspekter, Sverige

Omfång	Språk	ISRN
54	Svenska Sammandrag på engelska	ISRN LUTFD2/TFEM—12/3067—SE + (1-54)
ISSN	ISBN	
ISSN 1102-3651	ISBN 978-91-86961-02-2	

Intern institutionsbeteckning

Rapport nr 76

Organisation, The document can be obtained through LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies P.O. Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44	Type of document
	Report
	Date of issue
	March 2012
Authors	
Linda Tufvesson & Mikael Lantz	

Title and subtitle

Life Cycle Assessment of biogas produced from residues

Abstract

The purpose of this study is to carry out life cycle assessments for different biogas systems where biogas is produced from different residues. The investigated residues are distiller's waste, rapeseed cake, whey permeate, concentrated whey permeate, fodder milk, fish residues, bakery residues and glycerol. The environmental impact categories included are climate change, eutrophication, acidification, photochemical ozone creation potential, particles and energy balance. The calculations include emissions from technical systems, especially the energy input in various operations and processes.

Three different calculation methods have been applied, system expansion, energy allocation and economic allocation. The results are presented per MJ of vehicle gas.

A general conclusion is that all studied residues are very well suited for production of biogas if there is no demand for them as animal feed today. All biogas systems also reduce the emissions of greenhouse gases compared to petrol and diesel and meet the requirements presented in the EU renewable energy directive (RED). The results of the study also show that the investigated biogas systems are complex and many different parameters affect the result. These parameters are both integrated in the life cycle assessment method, but also in the inventory data used.

How the environmental performance change if the residues have to be replaced by animal feed is tested in the system expansion. In all cases, except for fish residues where there is no alternative animal feed, the environmental impact of the produced biogas increases considerably. The production of biogas from all investigated substrates still leads to a reduction of greenhouse gas emissions compared to fossil fuels, however, the emissions affecting acidification and eutrophication will be higher.

Keywords

Biogas, residues, life cycle assessment, environmental aspects, Sweden

Number of pages	Language	ISRN
54	Swedish, English abstract	ISRN LUTFD2/TFEM—12/3067—SE + (1-54)
ISSN		ISBN
ISSN 1102-3651		ISBN 978-91-86961-02-2

Department classification

Report No. 76

Förord

Denna rapport har initierats av Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) som också fungerat som samordnare för projektet. Finansiering har erhållits från E.ON Gas Sverige AB, Arla Foods, Lunds Energikoncern AB (publ), Göteborgs Energi AB, AGA Gas AB, NSR AB, Stockholm Gas AB, Norrmejerier samt Triventus Biogas AB som samtliga här tackas. Även Pål Börjesson (Lunds Universitet) tackas också för värdefull input och hjälp med granskning av rapporten.

Till projektet har också en referensgrupp knutits vilka har bidragit med värdefulla och konstruktiva kommentarer och synpunkter under arbetets gång. Vi vill särskilt tacka Charlotte Thedeén och Håkan Schyl (Stockholm Gas), Inger Larsson (Arla Foods), Göran Strandberg (Lunds Energi), Roger Rothman (NSR), Camilla Wolf-Watz (Norrmejerier), Roland Nilsson (E.ON), Daniel Aulik (Energigas Sverige), Tisse Jarlsvik och Eric Zinn (Göteborgs Energi), Ragnar Sjödahl (AGA), Martina Braglin och Anders Hjort (Triventus), Linda Hedlund (LRF), samt avslutningsvis Mattias Svensson (SGC, samordnare).

Lund, mars 2012

Författarna

Sammanfattning (utökad)

I denna studie har olika biogassystem där biogas produceras från restprodukter studerats. Syftet är att göra livscykelanalyser för uppgraderad biogas från restprodukter som idag används som foder under svenska förhållanden. Syftet är också att analysera om de studerade systemen uppfyller de hållbarhetskriterier som anges i EU's Renewable Energy Directive (RED).

Studien omfattar produktion av fordonsgas från åtta olika restprodukter som idag används som foder (drank, rapskaka, permeatvassle, koncentrerad permeatvassle, fodermjolk, fiskrens, bageriavfall och glycerol). Den funktionella enheten i studien är satt till "miljöpåverkan per MJ drivmedel" och studerade miljöeffektkategorier är växthusgaser, övergödning, försurning, bildning av fotokemiska oxidanter, partiklar. Dessutom presenteras energibalansen för respektive system.

I studien ingår transport av substrat till biogasanläggningen, processenergi för produktion, uppgradering och komprimering av färdig fordonsgas samt metanläckage har inkluderats. Även transport, lagring och spridning av rötrest ingår. I systemexpansionen utvidgas systemet och omfattar då, förutom de delar som redan nämnts, även rötrestkrediteringen när rötresten ersätter mineralgödsel, den foderersättning som måste ske då substraten istället används för biogasproduktion samt transport av djurfoder. Här ingår också koncentration av vassle.

Resultaten i denna studie skiljer sig från tidigare studier genom att det i denna studie finns ett antagande om att de olika substraten i dagsläget har avsättning som djurfoder och att detta måste beaktas när de olika systemens miljöpåverkan beräknas. Den påverkan som detta antagande har på miljöprestandan för respektive system framgår av den systemexpansion som görs.

Resultatet visar att produktion av biogas ger upphov till betydligt lägre emissioner av växthusgaser jämfört med bensin och diesel. Utsläppen av växthusgaser härrör främst från metanläckage samt transport och spridning av rötrest. Vid systemexpansion ökar emissionerna av växthusgaser vilket framförallt beror på att biogassystemen belastas med produktion av foder. Detta får särskilt stor betydelse för substrat som är attraktiva som fodermedel, till exempel fodermjolk.

Om beräkningarna görs enligt den metodik som gäller för hållbarhetskriterierna inom EU's RED blir resultatet ungefär det samma som när systemexpansion inte tillämpas. Undantaget är biogas från rapskaka då denna ses som en samprodukt och en del av emissionerna som uppstår vid odlingen allokeras till rapskakan. Samtliga substrat ger dock en fordonsgas som uppfyller hållbarhetskriterierna, vilken innebär att emissionerna av växthusgaser minskar med minst 35 %.

I tabellen visas reduktion av växthusgaser jämfört med bensin och diesel med och utan systemexpansion. Samtliga substrat reducerar emissionerna men jämfört

med de resultat som redovisas av Börjesson *et al.* (2010) tycks det vara mer effektivt att använda energigrödor direkt snarare än att använda restprodukter som sedan ska ersättas med djurfoder. I praktiken kan det dock finnas begränsningar i avsättningen av restprodukter som djurfoder och då leder biogasproduktion till en stor klimatnytta.

Tabell. Reduktion av växthusgaser för respektive biogassystem.

Substrat	Ingen, fysikalisk eller ekonomisk allokering	Systemexpansion	Enligt RED's hållbarhetskriterier
Drank	90 %	42 %	91 %
Rapskaka	95 %	50 %	54 %
Permeatvassle	87 %	48 %	89 %
Konc. P.-vassle	92 %	48 %	92 %
Fodermjolk	92 %	28 %	92 %
Fiskrens	95 %	112 %	93 %
Bageriavfall	95 %	59 %	93 %
Glycerol	95 %	82 %	93 %

Om biogassystemen inte belastas med produktion av djurfoder är utsläppen som påverkar övergödning och försurning låga och bidraget kommer främst från rötrestlagren. Vid systemexpansion ökar dock emissionerna betydligt och överskrider i vissa fall emissionerna från bensin och diesel. Tidigare studier har visat att detta också gäller då biogas produceras direkt från odlade grödor. Därmed kan det konstateras att olika biogassystem har för- och nackdelar och att det vid en analys av systemen är mycket viktigt att inte begränsa beräkningarna till att gälla enbart klimatprestanda.

Bidraget till bildandet av fotokemiska oxidanter är lågt. Även utsläpp av partiklar är låga för de olika substraten.

Energibalanserna för de studerade substraten ligger mellan 2,8 och 5,5 där vasslesubstraten har lägst energibalans och rapskakan högst. Dessa energibalanser är relativt lika dem som fås för biogas från hushållsavfall, livsmedelsavfall och gödsel i Börjesson *et al.* (2010), medan de är något högre än de som fås för biogas producerat från odlade grödor i samma rapport. Vid systemexpansion sjunker energibalanserna något och ligger mellan 1,5 och 3,3, vilket beror på den energiinsats som behövs vid produktion av djurfoder.

En slutsats i denna rapport är att alla studerade restprodukter lämpar sig mycket väl för produktion av biogas om de inte skulle ha någon avsättning som djurfoder i dagsläget. Samtliga substrat medför minskade emissioner av växthusgaser jämfört med fossila bränslen och uppfyller även kraven enligt hållbarhetskriterierna inom RED. Hur miljöprestandan förändras om restprodukterna måste ersättas med djurfoder testas i systemexpansionen. I samtliga fall ökar biogasens miljöpåverkan betydligt. Samtliga substrat ger dock fortfarande en reduktion av växthusgaser jämfört med fossila bränslen men emissionerna som påverkar försurning och övergödning ökar.

Extended summary

In this study different biogas systems where biogas is produced from residues are studied. The purpose is to carry out life cycle assessments for upgraded biogas from residues that are currently used as animal feed under Swedish conditions. The purpose is also to analyse whether the studied systems meet the sustainability criteria in the EU Renewable Energy Directive (RED).

The study includes the production of vehicle fuel from eight different residues that are currently used as animal feed (distillers waste, rapeseed cake, permeate whey, concentrated permeate whey, fodder milk, fish residues, bakery residues and glycerol). The functional unit is "environmental impact per MJ of fuel" and studied environmental impact categories are greenhouse gases, eutrophication, acidification, photochemical ozone creation potential and particles. Also the energy balance for each investigated system is presented.

The study includes the transportation of substrates to the biogas plant, process energy for production, upgrading, and compression of the vehicle fuel as well as methane losses. Also, transportation storage and spreading of digestate are included.

When system expansion is applied the system is enlarged and includes also replacement of mineral fertilisers with digestate and replacement of fodder with crops as well as transportation of animal feed. Also, the concentration of whey is included.

The results in this study differ from previous studies due to the assumption that there are a demand for the residues as an animal feed today. Thus, cultivated crops must replace the residues. The impact this assumption has on the environmental performance of each system has been investigated in the system expansion.

The results show that the production of biogas decreases the emissions of greenhouse gases compared to petrol and diesel. Greenhouse gas emissions are derived primarily from methane leakage and the transportation and spreading of the digestate. In the system expansion the emissions of greenhouse gases are increased, mainly due to the production of animal feed. This is particularly important for residues that are attractive as animal feed, for example milk used as fodder.

If the calculations are conducted according to the methodology described for the sustainability criteria within RED, the result is approximately the same as when system expansion is not applied. The exception is biogas from rapeseed cake as this is seen as a co-product and some of the environmental performance from cultivation is allocated to the rapeseed cake. However, all residues fulfil the sustainability criteria, which means emissions of greenhouse gases by at least 35 %.

The table below shows the reduction of greenhouse gas emissions compared to petrol and diesel with and without system expansion. All biogas systems results in reduced emissions but compared to the results reported by Börjesson *et al.* (2010) it seems to be more efficient to use energy crops directly rather than using by-products which needs to be replaced by animal feed. However, there may exist practical limitations in the use of by-products as feed and in such cases biogas leads to significant climate benefits.

Table. Reduction of greenhouse gases for the different biogas systems.

Substrate	No, physical or economical allocation	System expansion	Sustainability criteria within RED
Distillers waste	90 %	42 %	91 %
Rapeseed cake	95 %	50 %	54 %
Permeate whey	87 %	48 %	89 %
Conc. P.-whey	92 %	48 %	92 %
Milk used as feed	92 %	28 %	92 %
Fish residues	95 %	112 %	93 %
Bakery residues	95 %	59 %	93 %
Glycerol	95 %	82 %	93 %

If production of animal feed is not included, the emissions affecting acidification and eutrophication are low and the contribution are mainly connected to storage of digestate. With system expansion the emissions increase significantly and exceeds in some cases the emissions from petrol and diesel. Previous studies have shown that this also applies when biogas is produced directly from crops. Thus, it is clear that different biogas systems have pros and cons and that it is important not to limit the calculations solely to climate change.

The contribution to photochemical ozone creation potential is low, as well as the particles released from the different biogas systems.

The energy balance for the different biogas systems is between 2.8 and 5.5 where the biogas produced from whey has the lowest value and rapeseed cake the highest. The calculated energy balances are relatively similar to those obtained for biogas produced from household waste, food waste and manure, whereas they are slightly higher than those obtained for the biogas produced from cultivated crops. When system expansion is applied the energy balances decreases somewhat and is between 1.5 and 3.3, due to the energy input needed in the production of animal feed.

A general conclusion drawn from this study is that all investigated residues are very well suited for biogas production if there is no market for them as animal feed. All systems results in reduced emissions of greenhouse gases compared to fossil fuels and also meet the sustainability criteria in RED. In the system expansion where the residues are replaced by cultivated crops the contribution to climate change is increased. The use of all residues for biogas production, however, leads to a reduction of greenhouse gases compared to fossil fuels, while the contribution to acidification and eutrophication increases.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1. Syfte.....	1
1.2. Omfattning.....	1
2. Metod och avgränsningar	2
2.1. Analyserade system.....	2
2.2. Metodik	2
2.2.1 Funktionell enhet	2
2.2.2 Data.....	2
2.2.3 Systemgränser och allokeringar.....	3
2.2.4 Miljöeffektkategorier.....	5
3. Substratbeskrivning.....	6
3.1. Drank	6
3.2. Rapskaka	6
3.3. Permeatvassle och koncentrerad permeatvassle.....	7
3.4. Fodermjölk	7
3.5. Fiskrens	7
3.6. Bageriavfall	7
3.7. Glycerol.....	8
4. Systembeskrivning	9
4.1. Biogassystemet.....	9
4.1.1 Transporter.....	9
4.1.2 Biogasanläggningen.....	9
4.1.3 Uppgradering och komprimering	10
4.1.4 Rötrest.....	10
4.2. Biogassystemet vid systemexpansion	11
4.2.1 Rötresten ersätter konventionellt mineralgödsel	11
4.2.2 Foderersättning	11
4.2.3 Koncentration av vassle.....	12
4.2.3 Transport av foder till bondgården	12
5. Resultat.....	13
5.1. Utsläpp av växthusgaser.....	13
5.1.1. Beräkningsresultat	13
5.2. Utsläpp av övergödande ämnen	14
5.2.1. Beräkningsresultat	14
5.3. Utsläpp av försurande ämnen.....	15
5.3.1. Beräkningsresultat	15
5.4. Utsläpp av ämnen som bidrar till bildning av marknära ozon	16
5.4.1. Beräkningsresultat	16
5.5. Utsläpp av partiklar	17
5.5.1. Beräkningsresultat	17
5.6. Energibalans	18
6. Hållbarhetskriterier inom EU's RED.....	20
6.1. Definition av substrat	20

6.2. Metod för beräkning av växthusgaser för biogas från restprodukter	21
6.3. Metod för beräkning av växthusgasminskning för biogas från samprodukter	21
6.4. Resultat i denna studie vid användning av hållbarhetskriterierna	22
7. Känslighetsanalys	23
7.1. Identifikation av betydande parametrar	23
7.2. Produktion av foder	27
7.3. Ersättning av mineralgödselkväve	27
7.5. Fossil elektricitet	28
7.6. Metanläckage	28
7.7. Förändrade transportavstånd	29
8. Diskussion och slutsatser	30
8.1. Växthusgaser	30
8.2. Bidrag till övergödning och försurning	31
8.3. Fotokemiska oxidanter och partiklar	32
8.4. Energibalanser	32
8.5. Sammanfattande slutsatser	33
Appendix 1 - Indata	38

1. Inledning

Produktionen av biogas ökar idag både nationellt och internationellt vilket leder till en ökad konkurrens om attraktiva substrat. Biogasproducenter undersöker därför möjligheten att utnyttja nya substrat så som biprodukter från livsmedelsindustrier som idag ofta används som djurfoder.

Tidigare livscykelanalyser för produktion av biogas har primärt fokuserat på avfall, slam och energigrödor, se till exempel Börjesson *et al.* (2010) samt Palm och Ek (2010). I stor utsträckning saknas dock livscykelanalyser av biogassystemets miljöeffektivitet när det baseras på substrat som också kan användas som djurfoder. Det är därför viktigt att analysera huruvida en sådan produktion av biogas är försvarbar ur miljösynpunkt när det samtidigt leder till en ökad produktion av foder.

Samtidigt ställer de nyligen införda hållbarhetskriterierna krav på klimatnyttan för olika biodrivmedel. Skulle kraven inte mötas medför detta att drivmedlet belastas med energi- och koldioxidskatt på samma sätt som fossila drivmedel. För biogasproducenten är det därför av stor betydelse att säkerställa att biogas från biprodukter som kan användas som foder uppfyller dessa hållbarhetskriterier.

1.1. Syfte

Syftet med föreliggande studie är att göra livscykelanalyser för uppgraderad biogas från restprodukter som idag används som foder under svenska förhållanden. Syftet är också att analysera huruvida respektive biogassystem uppfyller hållbarhetskriterierna i EU's Renewable Energy Directive (RED).

1.2. Omfattning

Studien omfattar produktion av fordonsgas från åtta olika restprodukter som idag används som foder. För att öka jämförbarheten med andra studier baseras beräkningarna i föreliggande analys på samma metodik som i Börjesson *et al.* (2010) vilken beskrivs närmare i kapitel 2. Här utökas dock det analyserade systemet med produktion av foder för att ersätta de biprodukter som istället används för att producera biogas.

Analysen genomförs för respektive substrat vilket kan ge intryck av att respektive biogasanläggningen endast baserar produktionen på ett substrat. Detta är möjligt i vissa fall men flertalet substrat kommer sannolikt att ingå som ett av flera substrat i en större samrötningsanläggning.

2. Metod och avgränsningar

De beräkningar som presenteras i denna rapport har genomförts enligt de rekommendationer som finns i ISO-standarderna för livscykelanalys, det vill säga ISO 14044 (ISO, 2006). De generella beräkningsförutsättningarna beskrivs nedan medan specifika antaganden för enskilda biogassystem anges i systembeskrivningen.

2.1. Analyserade system

I föreliggande studie inkluderas följande biogassystem:

Biogas från drank
Biogas från rapskaka
Biogas från permeatvassle
Biogas från koncentrerad permeatvassle
Biogas från fodermjölk
Biogas från fiskrens
Biogas från bageriavfall
Biogas från glycerol

2.2. Metodik

2.2.1 Funktionell enhet

Den funktionella enheten (FE) sätts i denna studie till "miljöpåverkan per MJ drivmedel". Detta för att resultaten skall vara jämförbara med föregående livscykelanalys av svenska biodrivmedel där denna funktionella enhet användes (Börjesson *et al.*, 2010).

Även andra funktionella enheter skulle kunna användas i denna studie. Ett exempel är "miljöpåverkan per kilometer transporttjänst". En fördel med en sådan FE är att skillnader i olika fordons bränsleeffektivitet också inkluderas och beaktas. En nackdel är dock att osäkerheten ökar i resultaten då till exempel förbättringar i olika fordons bränsleeffektivitet sker snabbt och att nya tekniker introduceras som till exempel elhybridsteknologin. Genom att presentera resultaten per MJ drivmedel kan läsaren själv fördela dessa per kilometer transporttjänst för de specifika fordon som är aktuella att studera. Genom den i studien valda funktionella enheten bedömer vi att användbarheten av resultaten ökar.

2.2.2 Data

Data som används i studien är insamlad från så aktuella datakällor som möjligt. Målsättningen är att de data som används skall avse "best available technology" (BAT), det vill säga bästa teknik som finns kommersiellt tillgänglig idag.

2.2.3 Systemgränser och allokeringar

Livscykeln längd utgörs av transport av substrat till biogasanläggningen, framställning av biogas, uppgradering till fordonsgas och trycksättning samt lagring, transport och spridning av rötrest. Distribution av drivmedel inkluderas inte. För den koncentrerade vasslen ingår även elförbrukningen då vasslen koncentreras. Livscykeln inkluderar alla väsentliga aktiviteter, processer och insatsvaror som har en signifikant påverkan på resultatet. Insatser i form av byggnader och övrig infrastruktur är inte inkluderade. Miljöpåverkan för substraten när de når systemgränsen för denna studie, det vill säga när de påbörjar transporten till biogasanläggningen, antas vara noll. Detta för att kunna svara på studiens frågeställning huruvida substratet skall användas för biogasproduktion eller som djurfoder. Även om man skulle kunna argumentera för att substraten kan antas ha en miljöpåverkan när de tas in i studien så kommer denna vara den samma oavsett hur substratet används.

För biodrivmedelssystem som genererar biprodukter tillämpas så kallad systemutvidgning i de fall det är möjligt. För att göra en systemexpansion krävs det att det finns en tydligt identifierad alternativ produkt som biprodukterna ersätter och att det då finns livscykelinventeringsdata för denna. Detta innebär att systemgränserna utvidgas så att biprodukternas indirekta miljöpåverkan inkluderas i analyserna. I denna studie görs detta då rötresten som fås i biogasprocessen ersätter konventionellt mineralgödsel och när det djurfoder som substratet tidigare haft avsättning som måste ersättas av ett annat djurfoder. I Tabell 1 redovisas de systemutvidgningar som görs i föreliggande studie vilka också illustreras i Figur 1.

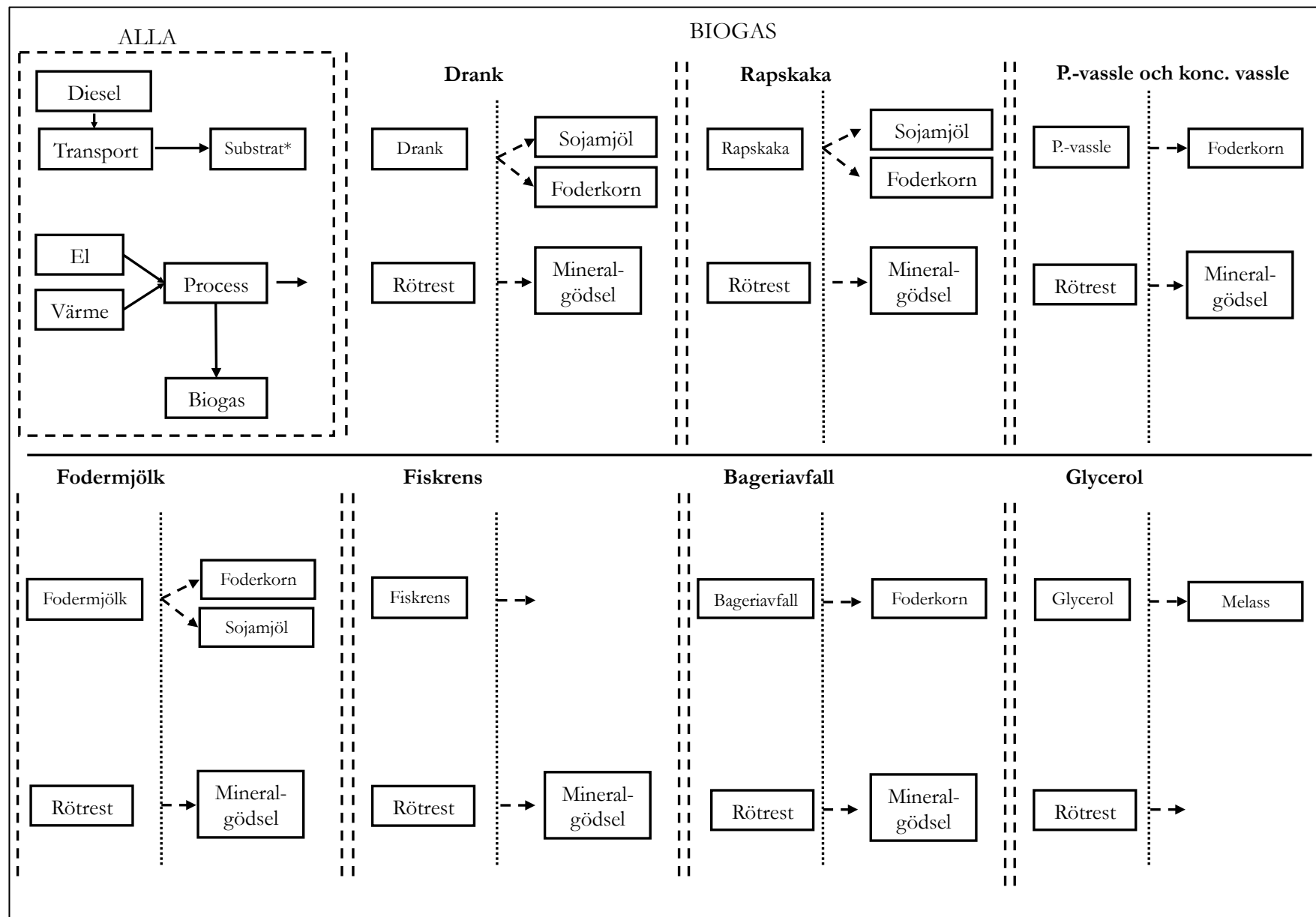
Tabell 1. Beskrivning av de systemutvidgningar som görs i föreliggande studie.

Substrat	Biodrivmedel	Biprodukt	Ersättningsprodukt
Drank	Biogas	a) Rötrest	a) mineralgödsel ¹ b) alternativt djurfoder ²
Rapskaka	Biogas	a) rötrest	a) mineralgödsel ¹ b) alternativt djurfoder ²
Permeatvassle	Biogas	a) rötrest	a) mineralgödsel ¹ b) alternativt djurfoder ²
Konc. P.-vassle	Biogas	a) rötrest	a) mineralgödsel ¹ b) alternativt djurfoder ²
Fodermjök	Biogas	a) rötrest	a) mineralgödsel ¹ b) alternativt djurfoder ²
Fiskrens	Biogas	a) rötrest	a) mineralgödsel ¹ b) - ³
Bageriavfall	Biogas	a) rötrest	a) mineralgödsel ¹ b) alternativt djurfoder ²
Glycerol	Biogas	a) rötrest	a) mineralgödsel ¹ b) alternativt djurfoder ²

¹ 1 kg kväve i ursprunglig råvara ersätter 0,7 kg mineralgödselkväve (motsvarar växttillgängligt kväve samt inklusive förluster vid rötresthantering) och 1 kg fosfor respektive kalium i rötrest ersätter 1 kg fosfor respektive kalium i mineralgödsel (se Appendix).

² Sammanställning över alternativa djurfoder och i vilka mängder dessa behövs för att ersätta substratens användning som djurfoder anges i Appendix.

³ Fiskrens används idag främst som minkfoder. På grund av utfodringssystemens utformning och minskarnas krav på fodermedlet bedöms det inte finnas någon alternativ produkt i dagsläget (Höberg, 2012).



Figur 1. Processchema över biodrivmedelssystem baserade på grödor som inkluderas i denna studie.

Parallellt med systemutvidgning visas också resultatet av studien för både fysikalisk och ekonomisk allokering. Allokering innebär att miljöpåverkan från produktionssystemet fördelas mellan biodrivmedlet och biprodukterna utifrån deras energiinnehåll alternativt ekonomiska värde. Dessutom redovisas resultaten när ingen allokering görs, det vill säga när all miljöpåverkan belastar enbart biodrivmedlet. En fördel med energiallokering är att denna metod är konstant över tid. En nackdel är dock att missvisande resultat kan fås om stora mängder lågvärdiga biprodukter genereras i förhållande till det mer högvärdiga biodrivmedlet. I dessa fall förespråkas i stället ekonomisk allokering som speglar respektive produkts värde. En nackdel är att denna är föränderlig över tid då priserna varierar. I denna studie kommer resultatet för både ingen, fysikalisk och ekonomisk allokering att vara samma de då man inte erhåller några restprodukter mellan vilka miljöpåverkan skall fördelas. Rötresten som erhålls har inget fastställt och tydligt ekonomiskt värde idag och den kan inte heller anses ha ett värmevärde då TS-halten är låg. Samma antagande gjordes i tidigare studie (Börjesson *et al.* 2010). Rötrestens ekonomiska värde kan dock komma att förändras i framtiden.

Inom livscykelanalysmetodik har två olika typer av livscykelanalyser identifierats (Baumann och Tillman, 2004). Den första kallas på engelska för "attributitional" och den andra för "consequential" LCA. I en "attributitional" LCA beräknas miljöpåverkan i ett nuvarande system. Det är på många sätt en tillbakablickande analys där man tittar på ett system som redan är implementerat och syftet med studien är att erhålla ökad kunskap om det analyserade systemets miljöpåverkan. I en "consequential" LCA studeras vilken miljömässig konsekvens en förändring i ett studerat system får. Vid de två typerna av analys brukar hänsyn tas till olika metodologiska aspekter. I en "attributitional" LCA använder man sig av allokering för att fördela miljöpåverkan medan man i en "consequential" LCA använder sig av systemexpansion (Baumann och Tillman, 2004). Även typen av inventeringsdata skiljer sig åt, där man i den första typen använder sig av medeldata och man i den senare av marginaldata. I realiteten brukar en kombination av dess två typer användas. Så är fallet även i denna studie. Först presenteras resultatet av studien då olika allokeringmetoder använts, så kallad "attributitional" LCA, men därefter även då man har utvidgat systemet, "consequential" LCA. Vid systemexpansionen då djurfoderersättning produceras antas antingen sojamjöl, foderkorn eller melass. För dessa foderersättningar så har medeldata för produktionen använts.

2.2.4 Miljöeffektkategorier

De emissioner som ingår i studien är: koldioxid (CO_2), metan (CH_4), lustgas (N_2O), kväveoxider (NO_x), ammoniak (NH_3), svaveldioxid (SO_2), kolväten – exkl. metan (HC), partiklar samt nitrat (NO_3) och fosfat (PO_4) till vatten. De miljöeffektkategorier som beaktas är: växthuseffekt (Global Warming Potential, GWP), övergödningspotential (Eutrophication Potential, EP), försurningspotential (Acidification Potential, AP), bildning av fotokemiska oxidanter (Photochemical Oxidant Creation Potential, POCP), partiklar samt energibalans. I Appendix redovisas de karakteriseringsfaktorer som används vid omräkning av enskilda utsläpp till miljöeffektkategorier.

3. Substratbeskrivning

Substraten som analyseras i föreliggande studie har olika sammansättning som påverkar produktionen av biogas och biogödsel, behovet av insatsenergi och vilken typ av fodermedel som de ersätter. Här ges en kort presentation av respektive substrat tillsammans med antaganden om TS-halt, näringsinnehåll och biogasutbyte som framgår av tabell 2. Övriga data återfinns i Appendix.

Tabell 2. Sammanställning av de studerade substraten och deras egenskaper.

Biomassa	TS-halt	N	P	K	Metanutbyte
	%	% av TS	% av TS	% av TS	Nm ³ /ton TS
Drank	8,0 ¹	4,00 ¹	0,90 ²	1,10 ³	302 ¹
Rapskaka	91 ⁴	5,00 ⁵	1,20 ⁵	0,65 ⁵	422 ⁵
Permeatvassle	5,0 ⁶	0,47 ^{7,8}	0,80 ^{6,7}	2,50 ^{6,7}	309 ⁹
Konc. P.-vassle	16	0,47 ⁸	0,80 ⁶	2,50 ⁶	309 ⁹
Fodermjök	9,0 ⁶	3,90 ⁸	0,80 ⁶	1,00 ⁶	472 ⁹
Fiskrens	41 ¹⁰	5,80 ¹⁰	1,90 ¹⁰	0,40 ¹⁰	662 ¹⁰
Bageriavfall	61 ¹	3,70 ¹¹	0,20 ¹¹	0,40 ¹¹	304 ¹
Glycerol	85 ¹²	0 ⁵	0 ⁵	0 ⁵	423 ^{5,13}

¹ Data hämtad från Carlsson och Uldal (2009).

² Data hämtad från Säll (2008).

³ Data hämtad från Grimm *et al.* (2010).

⁴ Hämtat från Skeby Energi (2012).

⁵ Data är hämtad från Bernesson (2007). För glycerol gäller att utbytet för biogas är 0,3 kg/kg TS, densitet för metan är 0,71 kg/Nm³.

⁶ Data har erhållits från Arla Foods (2012).

⁷ Samma andel som koncentrerad vassle har antagits.

⁸ Kvävehalt beräknat genom metod för bestämning av råproteinhalt (Utbildningsstyrelsen, 2012).

⁹ Utbytet antas vara 80 % av de teoretiskt beräknade enligt Carlsson och Uldal (2009).

¹⁰ Data för fiskrens är hämtade från Achu *et al.* (2012). Utbytet antas vara 80 % av det som har erhållits vid batchförsök i labbskala.

¹¹ Hämtade från Edström *et al.* (2005).

¹² Data hämtade från AarhusKarlshamns (2006).

¹³ Bernesson (2007) beräknat utbyte samt FNR (2006).

3.1. Drank

Drank uppkommer som en biprodukt vid produktion av etanol. Sammansättningen varierar beroende på vilken råvara som produktionen baseras på. Här baseras beräkningarna på den drank som uppkommer vid produktion av spannmålsbaserad etanol.

3.2. Rapskaka

Vid pressning av raps produceras rapsolja men också presskaka, här kallad rapskaka. Sammansättningen påverkas av hur effektiv pressningen är vilket styr hur mycket olja som blir kvar i kakan. Därmed kan biogasutbyte såväl som fodervärde variera mellan olika producenter. Rapskaka produceras framförallt vid mindre anläggningar. Större producenter extraherar mer olja från rapsfröet och producerar istället ett rapsmjöl (Bernesson, 2007).

3.3. Permeatvassle och koncentrerad permeatvassle

Vassle uppkommer som en biprodukt vid tillverkning av ost och för varje kilo ost som produceras fås också 10 kg vassle (Linné *et al.* 2008). Vasslen innehåller kolhydrater och proteiner men av ekonomiska skäl skiljer de flesta mejerierna ut proteinerna innan vasslen säljs som foder. Kvar blir då huvudsakligen mjölksocker. Denna typ av vassle kallas i denna rapport permeatvassle och av grafiska skäl i figurerna för P.-vassle. För att höja TS-halten och därmed också det ekonomiskt rimliga transportavståndet koncentrerar vissa mejerier också permeatvasslen. Denna koncentration görs dock bara om det inte finns avsättning för permeatvasslen i närområdet. I denna studie inkluderas båda dessa substrat och visar därmed biogasens miljöeffekt beroende på avsättningsmöjligheterna för vassle som foder. Den senare av typ av vassle med högre TS-halt benämns i denna rapport som koncentrerad permeatvassle.

3.4. Fodermjolk

Fodermjolk består av diverse olika produkter som inte kunnat säljas i butik alternativt produkter som tagits tillvara då utrustning på mejeriet försköljts med vatten (Arla Foods, 2012). De stora volymerna uppkommer därmed i de större städerna vilket medför relativt långa transportavstånd ut till jordbruket. Detta motiveras dock av att fodermjolk är ett eftertraktat fodermedel (Arla Foods, 2012). På grund av sitt ursprung kan fodermjolkens sammansättning variera mellan olika platser och olika tidpunkter. Föreliggande beräkningar baseras dock på de data som anges i tabell 2.

3.5. Fiskrens

Fiskindustrin producerar stora mängder bi- och avfallsprodukter, uppdelat på fiskrens, slam från reningsanläggningar samt förorenat sköljvatten. Slammet utgör en viktig råvara för biogasproduktion. Fiskrens och kasserad fisk går ofta som djurfoder och fiskmjölsframställning. Föreliggande studie baseras på fiskrens som går färsk som foder utan ytterligare behandling.

3.6. Bageriavfall

Restprodukter från bageriindustrin består av mjölspill, deg, kasserat bröd, felblandad deg och returbröd. Avfallet är oftast en relativt ren produkt, men varierar i konsistens, partikelhalt, TS-halt, kemisk sammansättning och näringsvärde beroende på basråvarorna i tillverkningen. Generellt har avfallet högt organiskt innehåll som bryts ner relativt snabbt och ger högt gasutbyte. Avfallet är även effektivt att transportera då TS/VS-halten är hög.

3.7. Glycerol

Glycerol uppstår bland annat som en biprodukt vid omförestning av rapsolja till RME. Ren glycerol har flera användningsområden inom livsmedelsindustrin, till kosmetika och läkemedel med mera. Dessa avsättningsområden kräver dock en renhetsgrad som normalt inte uppnås vid mindre anläggningar. Föreliggande studie baseras på så kallad råglycerol innehållande 85 % glycerol (Bernesson, 2007).

4. Systembeskrivning

I följande kapitel ges en översiktlig beskrivning av biogassystemen och de antaganden som gjorts gällande bland annat energianvändning, transporter och rötresthantering.

4.1. Biogassystemet

Föreliggande analys baseras på att respektive substrat transporteras till en större samrötningsanläggning för produktion av biogas och att anläggningen för uppgradering finns i direkt anslutning till biogasanläggningen. På samma sätt som i Börjesson *et al.* (2010) inkluderas komprimering men inte distribution av fordonsgas.

Nedan presenteras de antaganden som gjorts för respektive aktivitet i biogassystemet i form av transportavstånd, insatsenergi och metanläckage. Emissioner och primärenergifaktorer återfinns i Appendix.

4.1.1 Transporter

Det finns exempel på biogasanläggningar som ligger i direkt anslutning till den verksamhet som genererar substratet vilket medför att transporterna av substrat sannolikt har en försumbar påverkan på biogassystemets miljöpåverkan. Ett sådant exempel är Norrmejeriers biogasanläggning som ligger vid mejeriet och producerar biogas från permeatvassle. För att ge en mer allmängiltig bild antas dock att samtliga substrat transporteras med lastbil till biogasanläggningen. Transportavståndet antas vara 10 km för drank, vassle och fodermjolk samt 30 km för övriga substrat. Drivmedelsförbrukning och emissioner för respektive substrat presenteras i Appendix.

4.1.2 Biogasanläggningen

För att producera biogas krävs det elektricitet för att driva pumpar och omrörare med mera. Behovet varierar beroende på anläggningens utformning men sätts till 30,2 MJ/ton substrat vilket bedöms vara representativt för en större modern samrötningsanläggning (Lantz *et al.*, 2009). Electriciteten antas vara svensk elmix och data presenteras i Appendix. Förutom elektricitet krävs det även värme för att hålla en processtemperatur på cirka 37 °C. Animaliska biprodukter behöver också hygieniseras vilket normalt sker genom upphettning till 70°C i en timme. Merparten av de substrat som analyseras här hade inte behövt hygieniseras om de rötats ensamma. Som tidigare beskrivits antas att de i praktiken används i en större samrötningsanläggning och att de därmed också hygieniseras. Förutsatt att anläggningen är utrustad med effektiv värmeväxling bedöms dock att detta antagande endast marginellt ökar behovet av värme. Värmebehovet sätts här till 90 MJ/ton för att driva hela anläggningen och precis som i Börjesson *et al.* (2010)

antas att värmen produceras i en biogaspanna. Behovet av biogas bedöms uppgå till 93,6 MJ/ton substrat (Lantz *et al.*, 2009).

4.1.3 Uppgradering och komprimering

När biogasen lämnar reaktorn består den huvudsakligen av metan och koldioxid. För att uppfylla svensk standard för fordonsgas avskiljs koldioxid tills gasen håller en metanhalt på cirka 97 %. Denna uppgradering kan ske med olika tekniker som bland annat finns beskrivna i Benjaminsson (2006) och Biogas Syd (2010). Behovet av processenergi och metanläckage varierar beroende på vald uppgraderingsteknik. Det är också möjligt att ytterligare behandla restgasen från uppgraderingsanläggningen för att minska metanläckaget (Avfall Sverige, 2007; Lantz *et al.*, 2009).

Här antas att behovet av elektricitet uppgå till 1,6 MJ/Nm³ biogas (Lantz *et al.*, 2009) och att metanläckaget uppgår till 0,5 % av den producerade biogasen (Börjesson *et al.*, 2010). I det angivna metanläckaget ingår också emissioner från övriga delar av biogasanläggningen.

För komprimering och drift av tankstationen sätts behovet av elektricitet till 1,3 MJ/Nm³ (Lantz *et al.*, 2009). Både vid uppgradering och komprimering antas, precis som vid biogasproduktionen, elektriciteten vara svensk elmix.

4.1.4 Rötrest

Rötresten som också produceras vid biogasanläggningen antas inte bli avvattnad innan den transporteras med lastbil till gårdar eller satellitbrunnar. Transportavståndet sätts till 10 km och efter lagring sprids biogödseln med traktor och tunna. Drivmedelsförbrukning och emissioner för respektive substrat presenteras i Appendix.

När rötresten lagras innan spridning uppstår emissioner av bland annat NH₃ och N₂O. Emissionerna påverkas av temperatur, biogödselns sammansättning och hur lagren utformas. Emissionerna från biogödseln kan därför variera betydligt mellan olika biogassystem.

Här antas att lagren är utrustade med tak och att emissionerna av NH₃ uppgår till 1 % av den totala mängden kväve i biogödseln (Lantz *et al.*, 2009). Vidare antas att det inte uppstår några direkta emissioner av N₂O från biogödsellagren. De indirekta emissionerna av N₂O beräknas enligt formel 1 nedan baserat på IPCC (2006).

$$N_2O = N \times EF \times \frac{44}{28} \quad [\text{Formel 1}]$$

N₂O = indirekta emissioner av lustgas

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

EF = emissionsfaktor som här sätts till 0,001 kg N₂O-N/kg NH₃-N

4.2. Biogassystemet vid systemexpansion

Vid systemexpansionen utvidgas systemet och omfattar då, förutom ovanstående delar, bland annat den miljöpåverkan som fås då rötresten ersätter konventionellt mineralgödsel och den miljöpåverkan som uppstår då substratet ersätts med annat djurfoder.

4.2.1 Rötresten ersätter konventionellt mineralgödsel

I denna studie antas att rötresten ersätter konventionellt mineralgödsel. Mängden mineralgödsel som kan ersättas av den erhållna rötresten för respektive substrat samt data för produktion av konventionell mineralgödsel finns i Appendix.

I systemexpansionen ingår även den miljöpåverkan som fås från emissioner av ammoniak (NH_3) och lustgas (N_2O) från spridningen av rötresten. Emissionerna av NH_3 sätts här till 5 % av den totala mängden ammoniumkväve vilket förutsätter god spridningsteknik och lämpliga väderförhållanden (Lantz *et al.*, 2009). Motsvarande emissioner vid spridning av mineralgödsel sätts till 1 % av den totala mängden ammonium (Lantz *et al.*, 2009). Emissionerna av N_2O beräknas enligt Formel 1. Genomsnittlig rötrestgiva antas vara 30 ton per hektar och år, baserat på antaganden i Börjesson *et al.* (2010). Gödsling med rötrest i stället för med mineralgödsel antas i genomsnitt öka kväveläckaget med 10 %. Det genomsnittliga kväveläckaget antas vara 25 kg N per hektar och år, också detta baserat på Börjesson *et al.* (2010).

De substrat som används för biogasproduktion innehåller kol bundet i olika former, där lignin är mest svårnedbrytbar. I biogasprocessen bryts i princip inget av ligninet ner utan återfinns i rötresten och bildar vid spridning på åkermarken stabil humus. Detta gör att man vid studier av biogassystem brukar inkludera markkolsförändringar till följd av rötrestspridningen. I denna rapport inkluderas dock inte de markkolsförändringar som kan uppstå på grund av spridning av rötresten. Detta då det antas att restprodukterna, om de inte används för biogasproduktion, går som djurfoder, och både den erhållna rötresten respektive gödseln kommer att hamna på åkermarken och därmed blir markkolsförändringarna oberoende av användningsområde. I Börjesson *et al.* (2010) inkluderas dock dessa i beräkningarna.

4.2.2 Foderersättning

Om restprodukter som ingår i denna studie används för biogasproduktion innebär detta att annat djurfoder måste produceras för att täcka det bortfall av djurfoder som biogasproduktionen innebär och denna miljöpåverkan inkluderas då vid systemexpansion. Detta antagande bygger på att substraten används som djurfoder innan man bestämmer att det skall användas för biogasproduktion. Ett undantag är fiskrens som idag främst används som minkfoder. Minkar har behov av en kost bestående av främst protein och fett och tål inte större mängder vegetabilier. Detta tillsammans med fodersystemets utformning på gårdarna

innebär att det i realiteten inte finns något lämpligt foderalternativ (Högberg, 2012). Av denna anledning finns det i beräkningarna inget alternativt foder för fiskrens inkluderat. I Appendix finns redovisat hur mycket sojamjöl, foderkorn eller melass som behövs för att ersätta respektive substrat som foder när dessa istället går till biogasproduktion.

4.2.3 Koncentration av vassle

I basfallet belastas biogassystemet med den elanvändning som krävs för att koncentrera vassle. Här antas dock att det är nödvändigt att koncentrera vassle för att kunna avsätta den som foder. I systemexpansionen krediteras biogassystemet därför för denna energiinsats.

4.2.3 Transport av foder till bondgården

Här antas att transportavståndet till gården är samma som till biogasanläggningen för alla substrat utom för permeatvassle och koncentrerad permeatvassle. För dess två antas istället en transportsträcka på 50 km då detta är fallet med den vassle som studeras i denna studie.

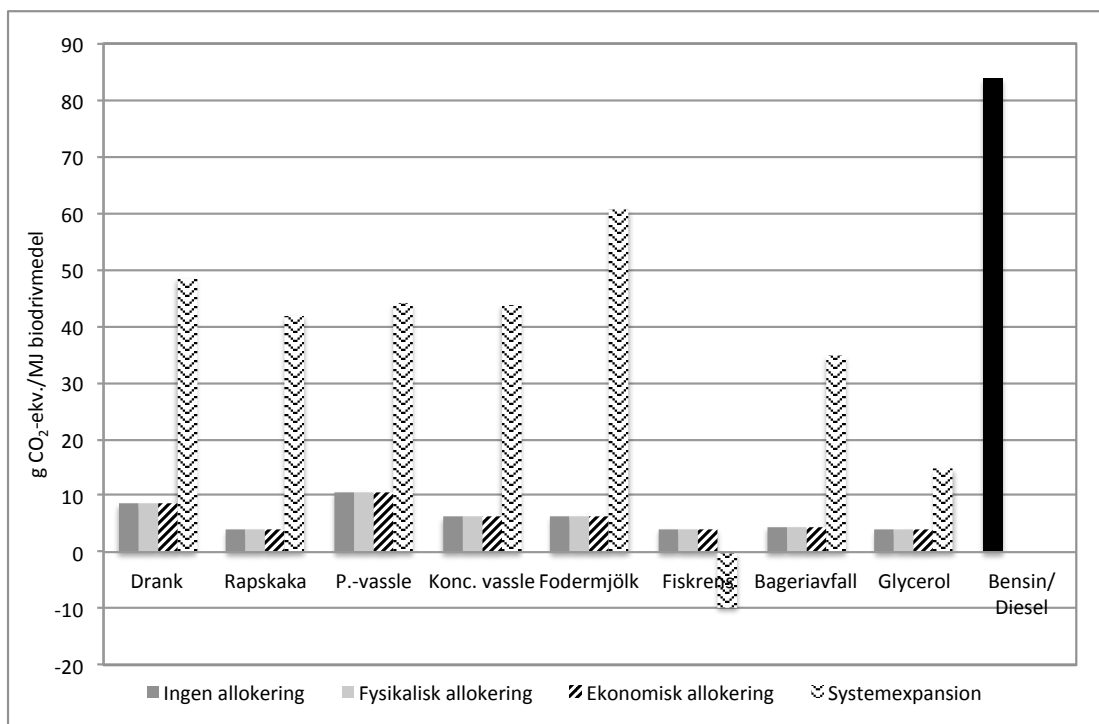
5. Resultat

I följande kapitel redovisas resultaten i form av sammanlagd miljöpåverkan för respektive miljöeffektkategori beroende på val av beräkningsmetodik, dvs. ingen allokering, fysikalisk allokering, ekonomisk allokering samt systemexpansion. Eftersom rötresten inte har något effektivt värmevärde och även bedöms ha ett marginellt ekonomiskt värde blir resultatet dock det samma för de olika allokeringsmetoderna. För respektive miljöeffektkategori görs också en jämförelse med motsvarande nivå för det fossila referensalternativet. Beräkningarna baseras på indata som redovisas i appendix.

5.1. Utsläpp av växthusgaser

5.1.1. Beräkningsresultat

I figur 2 och tabell 3 redovisas emissioner av växthusgaser för respektive restprodukt beroende på allokeringsmetod och när allokering undviks genom systemexpansion. Resultaten varierar betydligt beroende på beräkningsmetodik och emissionerna ökar vid systemexpansion vilket framförallt beror på att biogassystemen belastas med produktion av foder. Detta får särskilt stor betydelse för substrat som är attraktiva som fodermedel vilket leder till att biogas från fodermjölk får högst emissioner av växthusgaser även om emissionerna fortfarande minskar jämfört med användningen av bensin och diesel. På motsvarande sätt uppvisar biogas från fiskrens mycket låga emissioner vilket beror på att det inte inkluderats något alternativt foder eftersom vegetabilier inte bedömts vara aktuellt. I samtliga fall leder dock produktion av biogas till lägre emissioner av växthusgaser än det fossila alternativet där emissionerna uppgår till 83,8 g CO₂-ekvivalenter per MJ.



Figur 2. Utsläpp av växthusgaser för biogas baserat på restprodukter, uttryckt som g CO₂-ekvivalenter per MJ drivmedel.

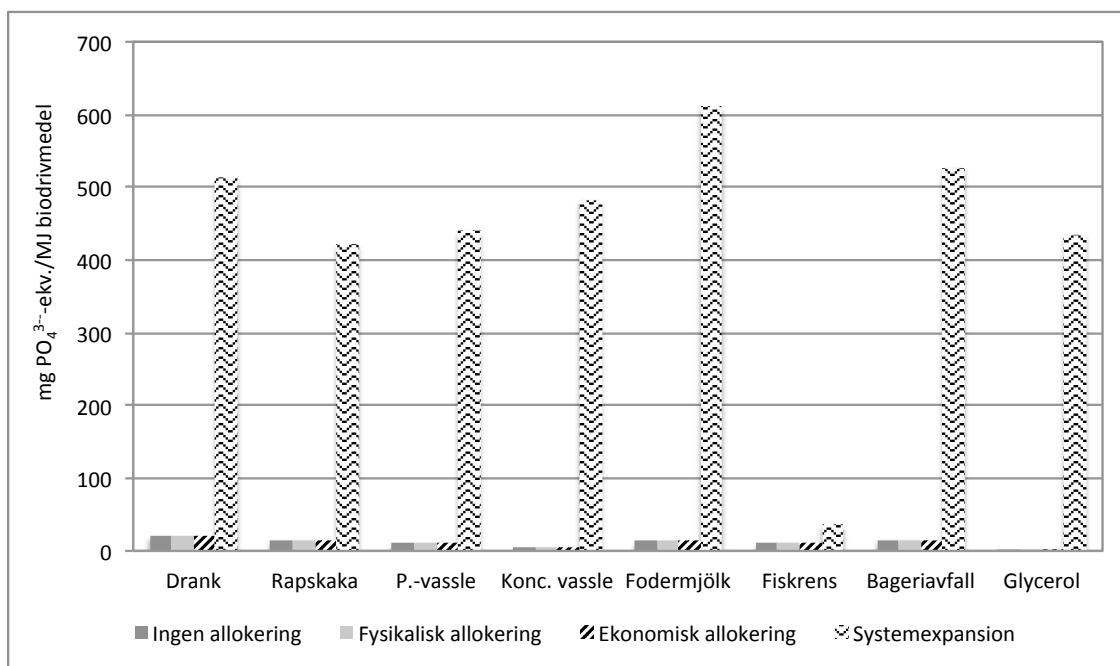
Tabell 3. Sammanfattande bedömning av biogasalternativs utsläpp av växthusgaser (g CO₂-ekv/MJ) baserat på dagens förutsättningar.

Substrat	Ingen allokering	Fysikalisk allokering	Ekonomisk allokering	System-expansion
Drank	8,5	8,5	8,5	48,4
Rapskaka	4,0	4,0	4,0	41,8
Permeatvassle	10,7	10,7	10,7	43,9
Konc. P.-vassle	6,3	6,3	6,3	43,7
Fodermjolk	6,4	6,4	6,4	60,5
Fiskrens	4,2	4,2	4,2	-9,7
Bageriavfall	4,5	4,5	4,5	34,7
Glycerol	4,0	4,0	4,0	14,8

5.2. Utsläpp av övergödande ämnen

5.2.1. Beräkningsresultat

I figur 3 och tabell 4 redovisas de olika biogasalternativens påverkan på övergödningen beroende på allokeringsmetod och när allokering undviks genom systemexpansion. På samma sätt som för utsläppen av växthusgaser varierar resultatet betydligt beroende på beräkningsmetodik och emissionerna ökar betydligt vid systemexpansion vilket framförallt beror på att biogassystemen belastas med produktion av foder. I samtliga fall leder dock produktion av biogas till en större påverkan än det fossila alternativet där emissionerna bedöms uppgå till 65 mg PO₄³⁻-ekvivalenter per MJ (Börjesson *et al.*, 2010). Dessa emissioner är i stor utsträckning kopplade till produktionen av grödor i biogassystemen.



Figur 3. Utsläpp av övergödande emissioner för biogas baserat på restprodukter, uttryckt som mg PO₄³⁻-ekvivalenter per MJ drivmedel.

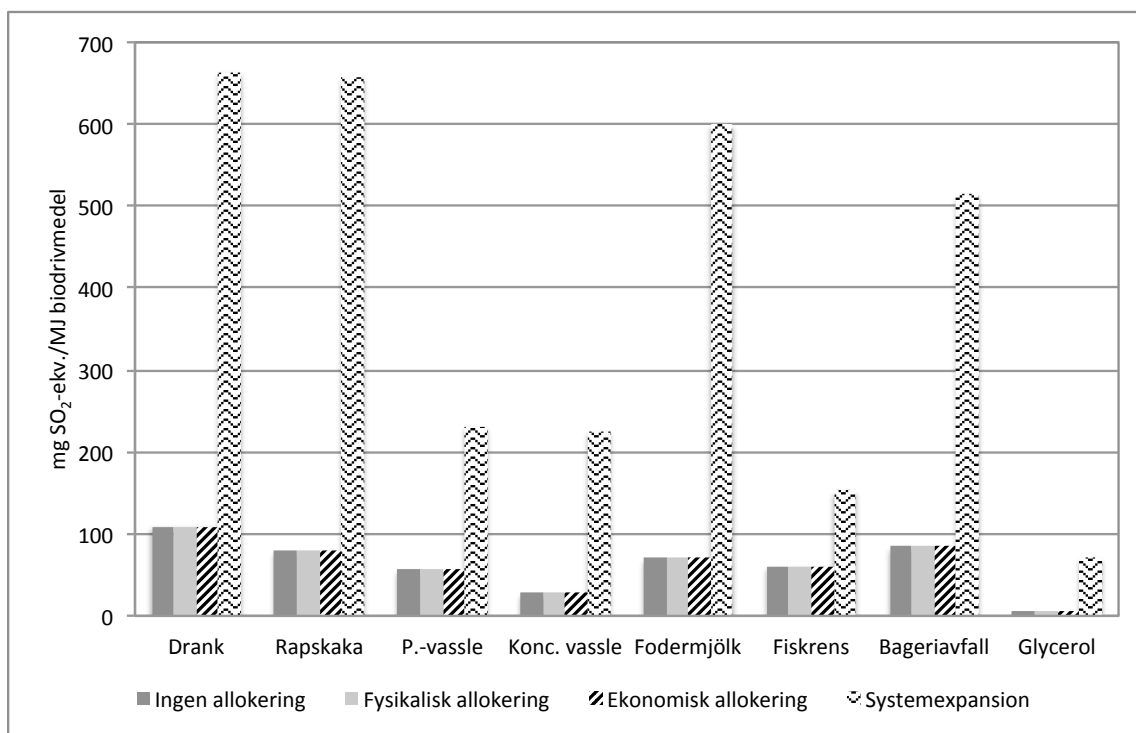
Tabell 4. Sammanfattande bedömning av biodrivmedels utsläpp av övergödande emissioner (mg PO₄³⁻-ekv/MJ) baserat på dagens förutsättningar.

Substrat	Ingen allokering	Fysikalisk allokering	Ekonomisk allokering	System-expansion
Drank	20,0	20,0	20,0	513
Rapskaka	14,7	14,7	14,7	422
Permeatvassle	10,2	10,2	10,2	441
Konc. P.-vassle	4,8	4,8	4,8	484
Fodermjolk	12,9	12,9	12,9	610
Fiskrens	11,2	11,2	11,2	36,0
Bageriavfall	15,5	15,5	15,5	527
Glycerol	0,9	0,9	0,9	434

5.3. Utsläpp av försurande ämnen

5.3.1. Beräkningsresultat

I figur 4 och tabell 5 redovisas de olika biogasalternativens påverkan på försurningen beroende på allokeringssätt och när allokering undviks genom systemexpansion. På samma sätt som tidigare varierar resultatet betydligt beroende på beräkningsmetodik och emissionerna ökar betydligt vid systemexpansion vilket framförallt beror på att biogassystemen belastas med produktion av foder men också på grund av emissionerna av ammoniak vid spridningen av biogödsel. Anledningen till att vassle och glycerol faller ut relativt väl är deras begränsade innehåll av kväve. Emissionerna kan jämföras med det fossila alternativet där emissionerna bedöms uppgå till 350 mg SO₂-ekvivalenter per MJ (Börjesson *et al.*, 2010).



Figur 4. Utsläpp av försurande emissioner för biogas från restprodukter, uttryckt som mg SO₂-ekvivalenter per MJ drivmedel.

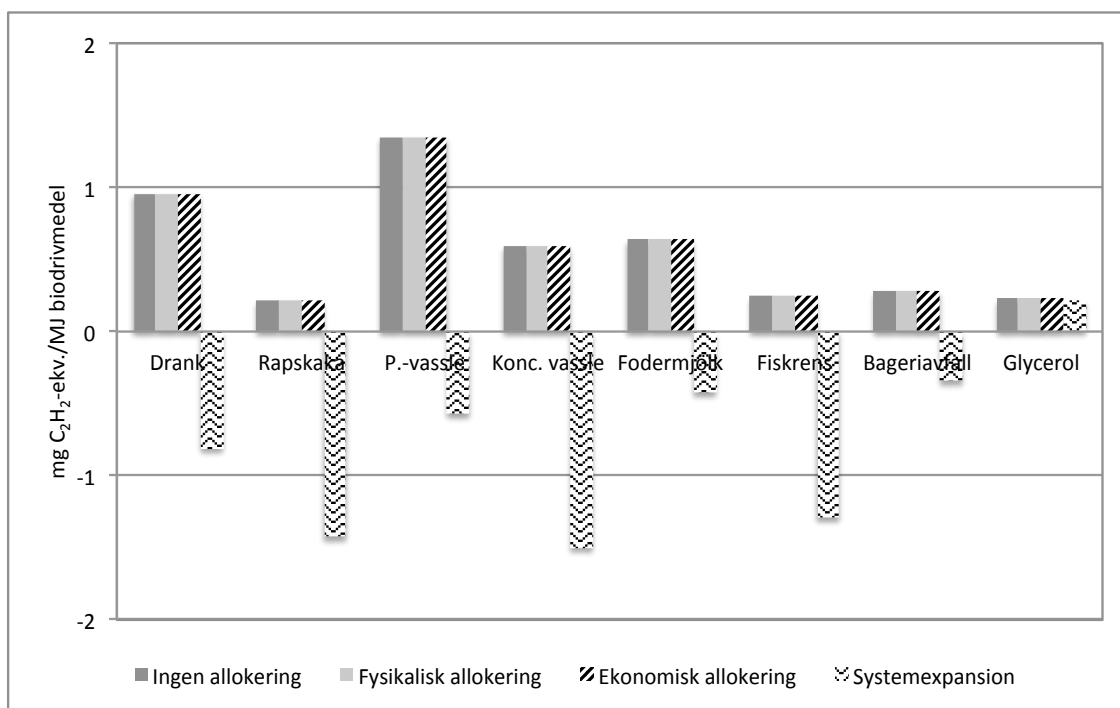
Tabell 5. Sammanfattande bedömning av utsläpp av försurande ämnen (mg SO₂-ekv/MJ) baserat på dagens förutsättningar för olika biogasalternativ.

Substrat	Ingen allokering	Fysikalisk allokering	Ekonomisk allokering	System-expansion
Drank	110	110	110	664
Rapskaka	79,7	79,7	79,7	657
Permeatvassle	56,4	56,4	56,4	231
Konc. P.-vassle	28,1	28,1	28,1	226
Fodermjolk	70,0	70,0	70,0	599
Fiskrens	61,2	61,2	61,2	154
Bageriavfall	84,3	84,3	84,3	515
Glycerol	5,6	5,6	5,6	72,0

5.4. Utsläpp av ämnen som bidrar till bildning av marknära ozon

5.4.1. Beräkningsresultat

I figur 5 och tabell 6 redovisas de olika biogasalternativens påverkan på bildandet av fotokemiska oxidanter (marknära ozon). Vid systemexpansion minskar bildandet av marknära ozon tack vare att biogödseln ersätter mineralgödsel. De erhållna värdena för bildandet av fotokemiska oxidanter kan jämföras med motsvarande värde för diesel som vid slutförbränning ligger på 6,0 mg C₂H₂-ekvivalenter per MJ (Börjesson *et al.*, 2010).



Figur 5. Utsläpp av emissioner som bidrar till bildning av marknära ozon för biogas baserat på restprodukter, uttryckt som mg C₂H₂-ekvivalenter per MJ drivmedel.

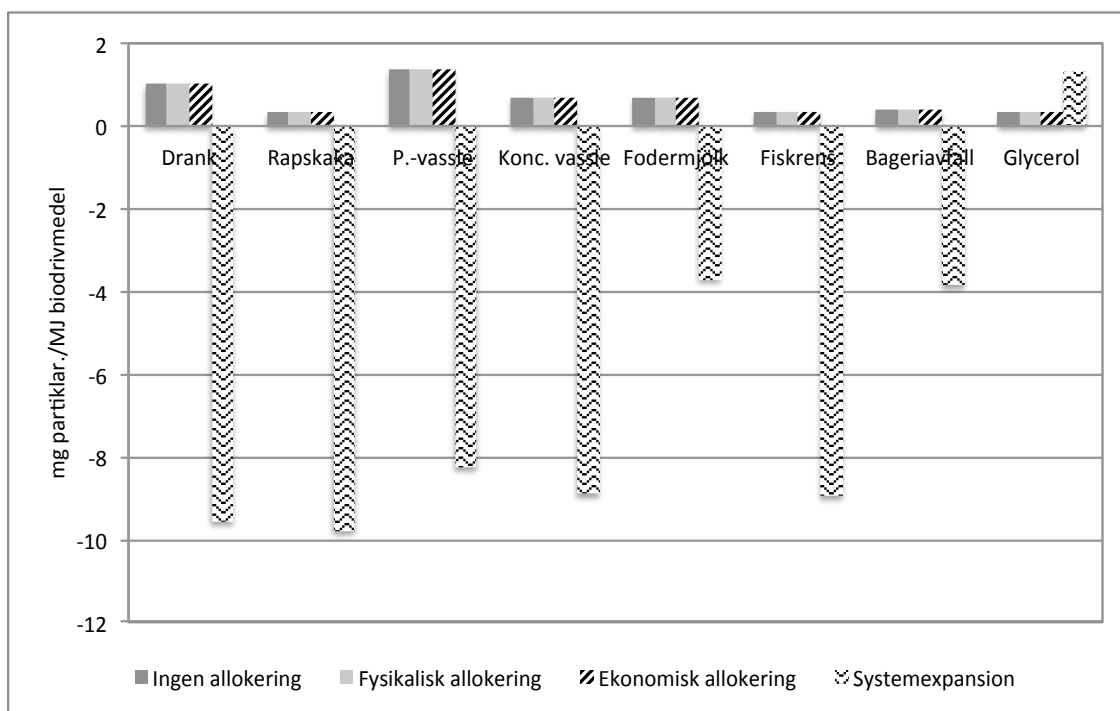
Tabell 6. Sammanfattande bedömning av biodrivmedels utsläpp av ämnen som bildar fotokemiska oxidanter (mg C₂H₂-ekv/MJ) baserat på dagens förutsättningar.

Substrat	Ingen allokering	Fysikalisk allokering	Ekonomisk allokering	System-expansion
Drank	1,0	1,0	1,0	-0,8
Rapskaka	0,2	0,2	0,2	-1,4
Permeatvassle	1,3	1,3	1,3	-0,6
Konc. P.-vassle	0,6	0,6	0,6	-1,5
Fodermjolk	0,6	0,6	0,6	-0,4
Fiskrens	0,2	0,2	0,2	-1,3
Bageriavfall	0,3	0,3	0,3	-0,3
Glycerol	0,2	0,2	0,2	0,2

5.5. Utsläpp av partiklar

5.5.1. Beräkningsresultat

I figur 6 och tabell 7 redovisas de olika biogasalternativens emissioner av partiklar där systemexpansion leder till minskade emissioner vilket i stor utsträckning beror på att biogödsel ersätter mineralgödsel. Motsvarande värde för diesel ligger vid slutförbränning på 6 mg partiklar per MJ (Börjesson *et al.*, 2010).



Figur 6. Utsläpp av partiklar för biogas baserat på restprodukter, uttryckt som mg per MJ drivmedel.

Tabell 7. Sammanfattande bedömning av utsläpp av partiklar (mg/MJ) baserat på dagens förutsättningar för olika biogasalternativ.

Substrat	Ingen allokering	Fysikalisk allokering	Ekonomisk allokering	System-expansion
Drank	1,0	1,0	1,0	-9,6
Rapskaka	0,3	0,3	0,3	-9,8
Permeatvassle	1,4	1,4	1,4	-8,3
Konc. P.-vassle	0,7	0,7	0,7	-8,9
Fodermjolk	0,7	0,7	0,7	-3,7
Fiskrens	0,3	0,3	0,3	-8,9
Bageriavfall	0,4	0,4	0,4	-3,9
Glycerol	0,3	0,3	0,3	1,3

5.6. Energibalans

I Tabell 8 sammanfattas energibalansen för respektive biogasalternativ beroende på beräkningsmetod. Med energibalans menas förhållandet mellan den energi man får ut i form av fordonsgas i förhållande till den energimängd som måste sättas in i form av primärenergi. En energibalans på 2,0 innebär alltså att det produceras 2 MJ komprimerad biogas per MJ insatt primärenergi. Energibalansen sjunker vid systemexpansion för de flesta substraten på grund av produktionen av grödor. För biogas från odlade grödor ligger energibalansen vid systemexpansion mellan 2,5 och 3 och för restprodukter på mellan 2 och 6 (Börjesson *et al.*, 2010).

Tabell 8. Energibalans för respektive biogasalternativ, uttryckt som kvoten mellan drivmedelsutbyte och insatt hjälpen energi i form av primärenergi.

Substrat	Ingen allokering	Fysikalisk allokering	Ekonomisk allokering	System-expansion
Drank	3,3	3,3	3,3	1,6
Rapskaka	5,5	5,5	5,5	1,8
Permeatvassle	2,8	2,8	2,8	2,0
Konc. P.-vassle	3,6	3,6	3,6	2,2
Fodermjolk	4,0	4,0	4,0	1,5
Fiskrens	5,4	5,4	5,4	11,7
Bageriavfall	5,2	5,2	5,2	2,6
Glycerol	5,4	5,4	5,4	3,3

6. Hållbarhetskriterier inom EU's RED

För att säkerställa att biodrivmedel så som biogas, etanol och RME är hållbara, bland annat med avseende på emissioner av växthusgaser, infördes lagen om Hållbarhetskriterier för biodrivmedel och flytande biobränslen i Sverige i augusti 2010 (Energimyndigheten, 2011). Denna lag bygger i sin tur på EU's Renewable Energy Directive (RED).

Om biodrivmedlen inte uppfyller hållbarhetskriterierna medges inte avdrag för energi- och koldioxidskatt (SFS, 1994).

För att vara hållbara ska användningen av dessa drivmedel medföra att emissionerna av växthusgaser minskar med minst 35 % jämfört med de fossila bränslen som annars skulle ha använts räknat under hela produktionskedjan (SFS, 2010). Därutöver ställs i vissa fall ett antal krav på vilken typ av mark som råvarorna får producerats på.

6.1. Definition av substrat

För att kunna visa huruvida produktionen av biogas från ett visst substrat är hållbar eller inte måste substraten inledningsvis delas in i någon av följande kategorier.

- Grödor och annan primär råvara
- Samprodukter från industriell process
- Restprodukter från jordbruk, skogsbruk, fiske eller vattenbruk
- Industriella restprodukter
- Avfall

I samtliga fall är det nödvändigt att visa att biogasen minskar emissionerna av växthusgaser. I vissa fall är det dessutom nödvändigt att visa att alla markkriterier uppfylls. När det gäller avfall och vissa restprodukter antas att dessa inte för med sig några emissioner av växthusgaser in i biogassystemet vilket inte är fallet för grödor och samprodukter. I tabell 9 nedan sammanfattas vilka krav som ställs på respektive kategori av substrat.

Tabell 9. Bestämmelser beroende på typ av råvara (Energimyndigheten, 2011)

Typ av råvara	Minskning av växthusgasutsläpp ska visas	Uppfyllande av markkriterier ska visas	Utsläpp fram till insamling av råvaran = 0
Grödor och annan primär råvara	Ja	Ja	Nej
Samprodukter från industriell process	Ja	Ja	Nej
<i>Restprodukter</i>			
Från jordbruk, skogsbruk, fiske, och vattenbruk	Ja	Ja	Ja
Från industri	Ja	Nej	Ja
Avfall	Ja	Nej	Ja

När det gäller vassle, fiskrens, bageriavfall och fodermjök antas att dessa klassas som avfall alternativt industriell restprodukt.

Drank, rapskaka och glycerol tas specifikt upp i Energimyndighetens (2011) vägledning där det sägs att glycerol (oraffinerad) är en industriell restprodukt och rapskaka är en samprodukt från biodrivmedelsproduktion. Drank klassas som samprodukt om den är torkad. Då den drank som avses här inte är torkad antas att den kan klassas som industriell restprodukt.

6.2. Metod för beräkning av växthusgaser för biogas från restprodukter

Den minskning av växthusgasemissioner som ett visst biodrivmedel för med sig kan beräknas med hjälp av schabloner eller utifrån faktiska förhållanden. Här genomförs beräkningarna utifrån faktiska förhållanden enligt de riktlinjer som tagits fram av Energimyndigheten (2011).

Skillnaderna mot de beräkningar som presenteras tidigare blir därmed:

- Förtjockning av permeatvassle ses som en normal upparbetning som krävs för avyttring och inkluderas därför inte här.
- Användningen av elektricitet ska belastas med emissioner för Nordisk elmix istället för svensk vilket innebär 34,9 g CO₂-ekv./MJ.
- Alternativ användning av substrat beaktas inte.

Utöver ovanstående förändringar gäller ett annat sätt att beakta rötresten. Vid produktion av biogas produceras också en rötrest som enligt de definitioner som presenteras av Energimyndigheten (2011) bör vara en restprodukt eller en samprodukt. Rötrest nämns dock inte specifikt.

Oavsett hur rötresten klassificeras innebär detta att alla emissioner som uppstår efter att rötresten producerats (lagring, transport och spridning) inte beaktas. Det innebär också att ersättning av mineralgödsel inte inkluderas i beräkningarna.

Om rötresten klassificeras som en samprodukt innebär det att emissioner ska allokeras mellan biogasen och rötresten baserat på de olika produkternas värmevärde (våtvikt). Om värmevärdet på rötresten sätts till 18,9 MJ/kg blir dock det effektiva värmevärdet för rötresten negativt (Albertsson, 2008; Energimyndigheten, 2011). Därmed ska det inte allokeras några emissioner till rötresten.

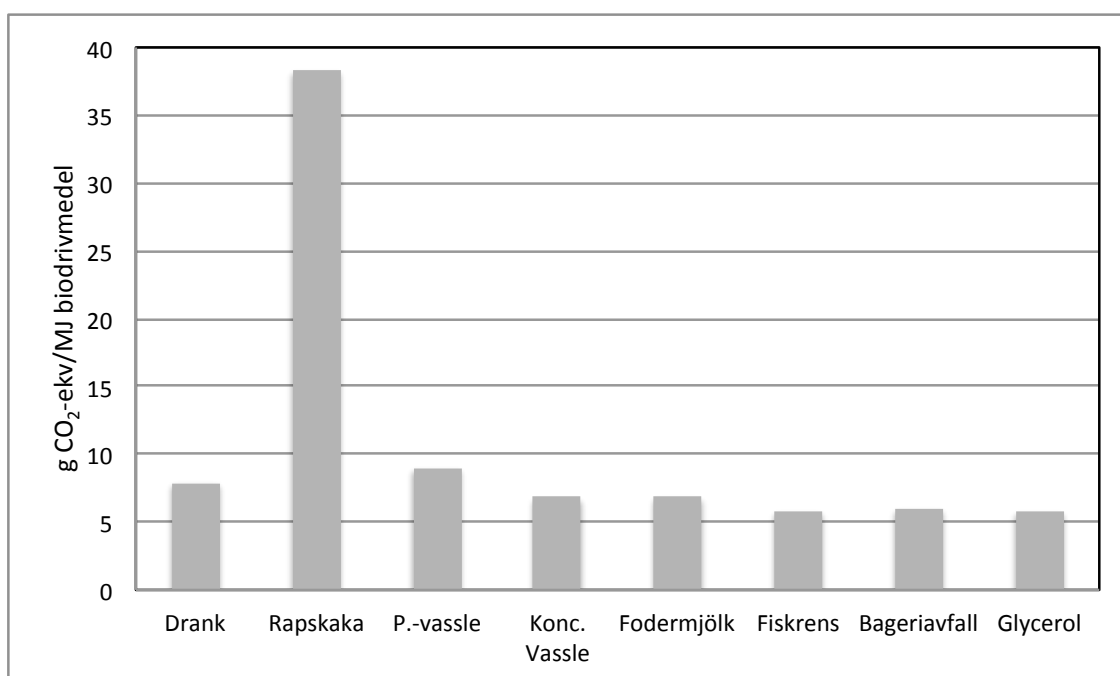
6.3. Metod för beräkning av växthusgasminskning för biogas från samprodukter

Enligt Energimyndigheten (2011) är rapskaka en samprodukt från produktion av biodrivmedel. Det innebär att emissionerna fram till insamling av råvaran inte kan sättas till noll. Det innebär också att producenten ska visa att markkriterierna uppfylls. I övrigt gäller samma förutsättningar som beskrivits tidigare.

Rapskakans värmevärde kan variera beroende på mängden olja som finns kvar men sätts här till 20,25 MJ/kg våtvikt (Bernesson, 2007). Emissionerna av CO₂-ekv. antas vara 34,4 gram/MJ vilket ger 697 gram CO₂-ekv./kg våtvikt (BioGrace, 2011). När det gäller förändrad markanvändning och övriga markkriterier antas att rapsen odlats i Sverige på åkermark som även var registrerad som åkermark år 2008. Därmed uppfyller rapskakan hållbarhetskriterierna (Energimyndigheten, 2011).

6.4. Resultat i denna studie vid användning av hållbarhetskriterierna

I Figur 7 redovisas klimatprestanda för olika biogassystem, uttryckt som GWP per MJ, när beräkningsmetodiken som gäller för hållbarhetskriterierna använts. Den fossila referensen för bensin och diesel är 83,8 g CO₂-ekvivalenter per MJ. I Tabell 10 sammanfattas klimatnyttan för de olika biogasalternativen samt reduktionen i % jämfört med den fossila referensen.



Figur 7. Utsläpp av växthusgaser för biogas baserat på restprodukter, uttryckt som g CO₂-ekvivalenter per MJ drivmedel.

Tabell 10. Sammanfattande bedömning av utsläpp av växthusgaser (g CO₂-ekv/MJ) beräknat enligt metodiken för hållbarhetskriterierna för de olika biogasalternativen.

Substrat	Biodrivmedel	Utsläpp av växthusgaser	Reduktion (%)
Drank	Biogas	7,9	91
Rapskaka	Biogas	38,3	54
Permeatvassle	Biogas	9,0	89
Konc. P.-vassle	Biogas	6,8	92
Fodermjolk	Biogas	6,9	92
Fiskrens	Biogas	5,8	93
Bageriavfall	Biogas	6,0	93
Glycerol	Biogas	5,8	93

7. Känslighetsanalys

De emissioner och den energianvändning som uppkommer i respektive biogassystem varierar beroende på antaganden om transportarbete, behov av processenergi och respektive substrats värde som foder och innehåll av näringsämnen med mera.

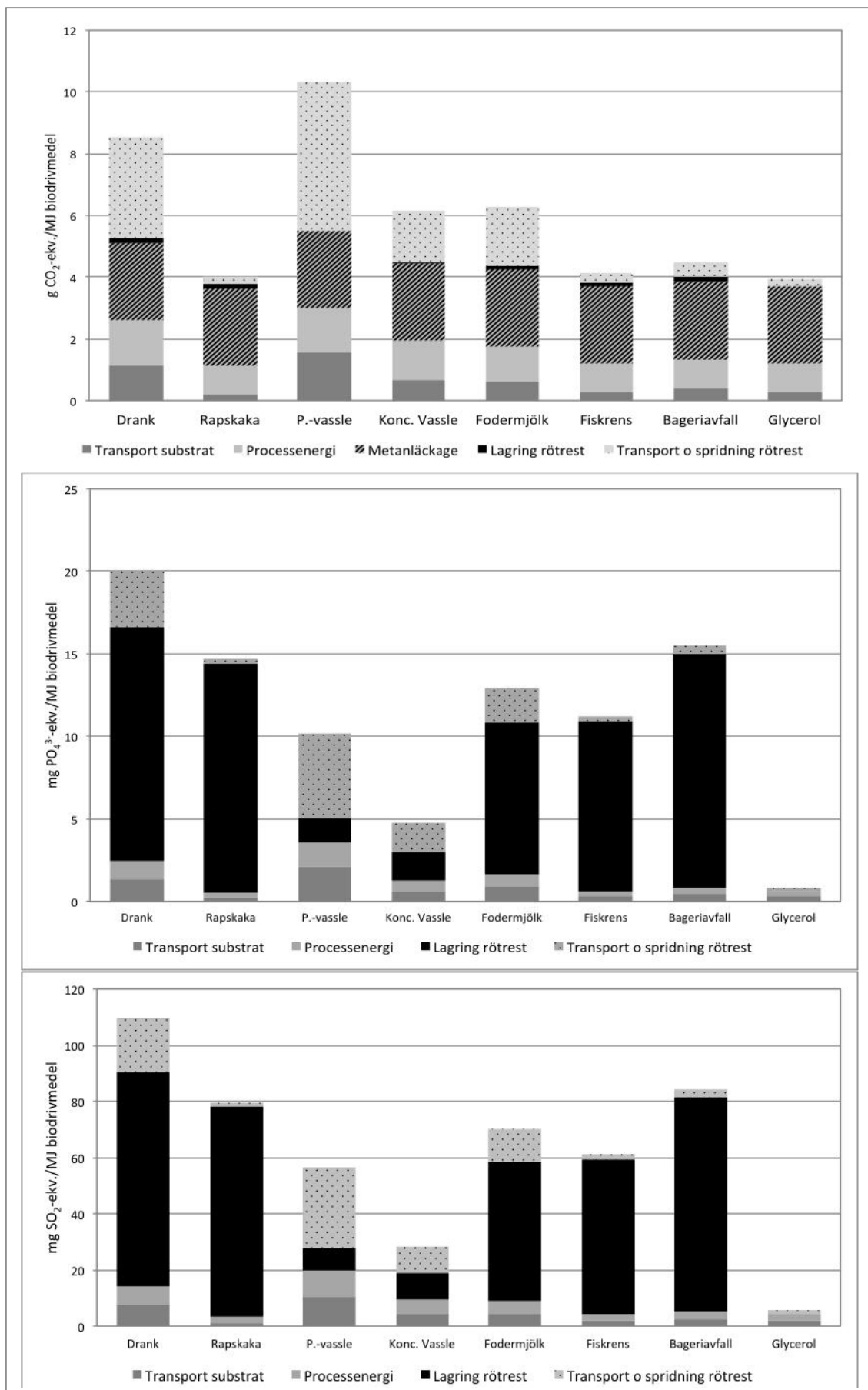
Vid genomförandet av en livscykelanalys är det därför viktigt att inkludera någon form av känslighetsanalys. I en känslighetsanalys identifieras de parametrar och antaganden som har störst påverkan på resultatet och hur resultatet påverkas vid en förändring av dessa. Resultatet provas alltså med avseende på hur känsligt det är för de antaganden som gjorts.

7.1. Identifikation av betydande parametrar

I figur 8 visas vilka parametrar som bidrar mest till växthuseffekt, övergödning och försurning för respektive substrat. Med basfallet menas här ingen, fysikalisk och ekonomisk allokering.

Överst i figuren visas utsläppen av växthusgaser per MJ biodrivmedel. Bilden visar tydligt att de parametrar med störst påverkan på resultaten är metanläckaget och miljöpåverkan från transport och spridning av rötrest. Samtidigt är det viktigt att ha i åtanke att beräkningarna i denna studie baseras på relativt korta transportavstånd, låga metanläckage och förnybar processenergi.

För miljöeffektkategorierna övergödning och försurning är det istället emissionerna som är kopplade till lagringen av rötrest som helt dominerar den totala miljöpåverkan, trots att det i studien har antagits att lagringen sker under tak. Utsläppen består av ammoniak som är direkt kopplat till kvävehalten i de olika substratens respektive rötrest. Anledningen till att glycerols påverkan är väldigt låg är att rötresten inte innehåller något kväve, eller andra näringsämnen och därmed uppkommer inga emissioner av ammoniak som påverkar övergödning och försurning vid rötrestlagringen. Påverkan från lagringen av rötrest är också relativt liten för de två vasslesubstraten, också det beroende på låg koncentration av kväve.



Figur 8. Olika parametrars bidrag till den totala miljöpåverkan för olika miljöeffektkategorier i basfallet.

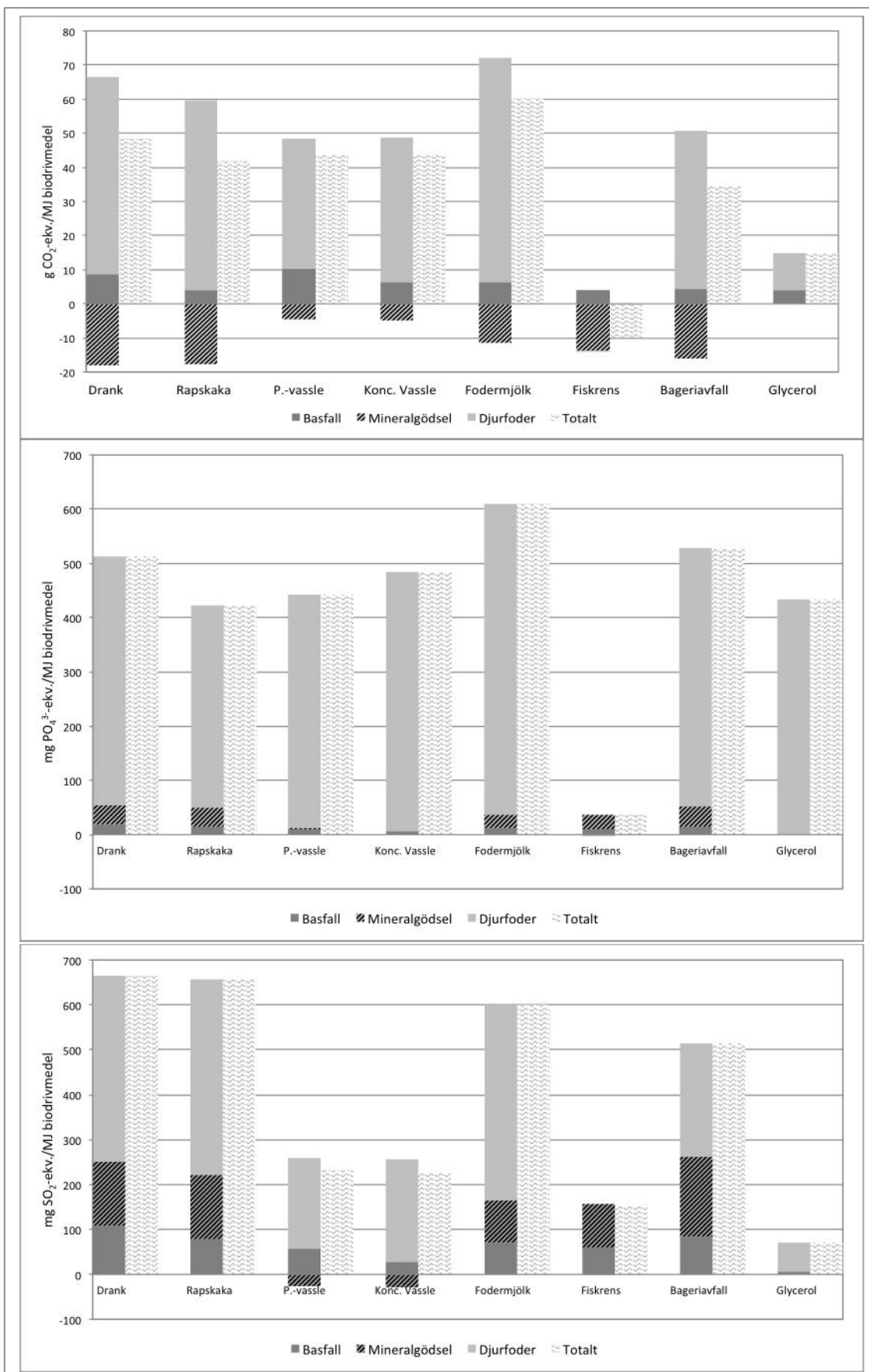
I Figur 9 visas vilka parametrar som bidrar mest till växthuseffekt, övergödning och försurning för respektive substrat vid systemexpansion.

Överst i figuren visas utsläppen av växthusgaser per MJ biodrivmedel. Där framgår tydligt att med de antaganden som gjorts här bestäms resultatet för de flesta substrat av hur mycket foder som behöver produceras samt hur mycket mineralgödsel som kan ersättas. Påverkan från fiskrens är här negativ då det antagits att det inte finns något alternativt djurfoder. Även glycerol har en låg påverkan då det i beräkningarna antagits att glycerol ersätts med melass som djurfoder. Melass är en biprodukt från sockerindustrin vilket medför lägre emissioner jämfört med grödor. Övriga studerade substrat ersätts med odlad foder i form av sojaprotein och foderkorn, där miljöpåverkan från odlingen har stor påverkan.

Därefter påverkas resultatet framförallt av hur mycket mineralgödsel den erhållna rötresten från respektive substrat kan ersätta. Framförallt är det en minskad användning av mineralkväve som har stor betydelse för resultatet. Glycerol, som inte innehåller några näringsämnen, får ingen rötrest som kan ersätta mineralgödsel. På motsvarande sätt får vassle, med en relativt låg andel kväve, en mindre positiv effekt av att ersätta mineralgödsel jämfört med övriga substrat. Antaganden om transportavstånd, behov av processenergi och metanläckage med mera har en mycket begränsad betydelse för de totala emissionerna av växthusgaser vid systemexpansion.

Nederst i figur 9 visas vilka parametrar som påverkar det totala bidraget till övergödning och försurning för respektive substrat. Här blir det ännu tydligare att det är den ökade produktionen av foder och den minskade användningen av mineralgödsel som har störst betydelse för resultatet beroende på de emissioner som uppkommer vid odlingen av djurfoder.

Till skillnad från tidigare medför användningen av rötrest för att ersätta mineralgödsel en ökad övergödning och försurning beroende på högre emissioner av NH_3 och NO_3 jämfört med mineralgödsel. På samma sätt som förut gäller detta inte glycerol. Rötresten från vassle leder dock fortfarande till något minskade emissioner vilket beror på en relativt hög andel fosfor jämfört med övriga substrat.



Figur 9. Olika parametrars bidrag till den totala miljöpåverkan för olika miljöeffektkategorier vid systemexpansion.

7.2. Produktion av foder

I de studerade biogassystemen svarar produktionen av foder för en stor del av systemens totala miljöpåverkan. I takt med de strukturförändringar som sker inom det svenska lantbruket kan vissa livsmedelsindustrier dock få svårt att avsätta sina biprodukter som foder utan omfattande förädling eller långa transportavstånd. För en industri som endast kan avsätta en del av sina biprodukter som foder kan det av praktiska eller ekonomiska skäl i vissa fall vara aktuellt att låta allt material gå till biogasproduktion. Under sådana förutsättningar behöver biogassystemet inte belastas med produktion av foder motsvarande hela tillförseln av substrat. I tabell 11 redovisas hur emissionerna av växthusgaser påverkas beroende på hur mycket av substratet som ersätts med annat foder.

Tabell 11. Biogassystemens emissioner av växthusgaser beroende på mängden substrat som ersätts med annat foder vid systemexpansion (g CO₂-ekv/MJ). Den fossila referensen är 83,8 g CO₂-ekv/MJ.

Substrat	Andelen substrat som ersätts med annat djurfoder		
	100 %	50 %	0 %
Drank	48	19	- 10
Rapskaka	42	14	- 14
Permeatvassle	44	25	6
Konc. P.-vassle	44	23	1
Fodermjök	60	28	- 5
Fiskrens	- 10	- 10	- 10
Bageriavfall	35	12	- 12
Glycerol	15	10	4

7.3. Ersättning av mineralgödselkväve

Nyttan av att rötrest ersätter mineralgödselkväve påverkas dels av hur mycket kväve som rötresten innehåller och dels av hur mineralgödseln producerats. Rötrestens innehåll av kväve beror på mängden kväve i substratet men också på hur rötresten hanterats. Lagras rötresten utan täckning ökar till exempel emissionerna av NH₃ vilket ger en direkt miljöpåverkan samtidigt som mängden mineralgödsel som kan ersättas av rötresten också minskar vilket reducerar miljönyttan ytterligare. En annan faktor av stor betydelse är om mineralgödseln producerats med katalytisk reduktion av lustgas eller inte vilket kan sänka emissionerna från 15 till 3 gram N₂O/kg N. I Börjesson *et al.* (2010) antogs att 30 % av mineralgödselkvävet som används i Sverige kommer från sådana anläggningar vilket ger 11,5 g N₂O/kg N i genomsnitt. Detta är också det antagande som används i denna studie. I tabell 12 visas hur biogassystemets miljöeffektivitet påverkas beroende på hur mycket av mineralgödselkvävet som produceras med lustgasreduktion.

Tabell 12. Biogassystemens emissioner av växthusgaser vid systemexpansion beroende på hur mineralgödselkvävet producerats (g CO₂-ekv/MJ). Den fossila referensen är 83,8 g CO₂-ekvialenter/MJ.

Substrat	Andelen mineralgödselkväve producerat med lustgasreduktion		
	100 %	30 %	0 %
Drank	54,3	48,4	45,9
Rapskaka	47,7	41,8	39,4
Permeatvassle	44,6	43,9	43,7
Konc. P.-vassle	44,6	43,9	43,6
Fodermjöl	64,3	60,4	58,8
Fiskrens	-5,4	-9,7	-11,5
Bageriavfall	40,6	34,6	32,2
Glycerol	14,8	14,8	14,8

7.5. Fossil elektricitet

De beräkningar som genomförts här baseras på svenska förhållanden med svensk elmix som medför låga emissioner av växthusgaser. För biogassystem i andra länder kan elbehovet dock medföra betydligt högre emissioner av växthusgaser. Här visas därför hur emissionerna påverkas om produktionen av elektricitet baseras på naturgas eller kol.

Jämfört med svensk elmix ger en fossilbaserad elproduktion högre emissioner av växthusgaser, i synnerhet om produktionen baseras på kol. Jämfört med bensin och diesel minskar dock de totala emissionerna oavsett hur elektriciteten producerats.

Tabell 13. Emissioner av växthusgaser vid systemexpansion med fossilbaserad el (g CO₂-ekv/MJ). Den fossila referensen är 83,8 g CO₂-ekvialenter/MJ.

Substrat	Typ av elproduktion		
	Svensk elmix	Naturgas CHP	Kol CHP
Drank	48	55	63
Rapskaka	42	47	53
Permeatvassle	44	53	63
Konc. P.-vassle	44	52	61
Fodermjöl	60	66	73
Fiskrens	- 10	- 5	1
Bageriavfall	35	40	46
Glycerol	15	20	26

7.6. Metanläckage

Vid produktion av fordonsgas kan det uppstå läckage av metan från uppgraderingsanläggningen och biogasanläggningen. Läckagets storlek påverkas bland annat av teknikval och eventuell behandling av restgasen. I denna studie har det totala metanläckaget satts till 0,5 % av den producerade biogasen (Börjesson *et al.*, 2010). Detta bedöms dock förutsätta bästa tillgängliga teknik. För äldre anläggningar kan läckaget vara betydligt högre (Lantz *et al.*, 2009). Här visas därför hur de totala utsläppen av växthusgaser påverkas om metanläckaget höjs till 1,5 respektive 2,5 %.

Metanläckagets storlek har en märkbar påverkan på det totala resultatet och ett läckage på 2,5 % ger högre emissioner än om elektriciteten producerats från kol. Beroende på substrat bedöms metanläckaget kunna uppgå till cirka 5 – 15 % innan emissionerna av växthusgaser blir högre än för bensin och diesel.

Tabell 14. Emissioner av växthusgaser vid systemexpansion beroende på metanläckaget (g CO₂-ekv/MJ). Den fossila referensen är 83,8 g CO₂-ekvialenter/MJ.

Substrat	Läckage av metan		
	0,5 %	1,5 %	2,5 %
Drank	48	53	58
Rapskaka	42	47	52
Permeatvassle	44	49	54
Konc. P.-vassle	44	49	54
Fodermjöl	60	65	70
Fiskrens	- 10	-5	0
Bageriavfall	35	40	45
Glycerol	15	20	25

7.7. Förändrade transportavstånd

Vid produktion av biogas från restprodukter har inte transportavståndet någon större påverkan på den totala miljöpåverkan, varken i basfallet eller vid systemexpansion. Då transportavstånden kan variera mycket för olika anläggningar testas ändå hur emissionerna av växthusgaser förändras vid förändrade transportavstånd. Transport av substrat till biogasanläggningen dubblas först i förhållande till grundantagandena och antas sedan vara tio gånger längre jämfört med grundantagandena. I tabell 15 visas hur emissionerna av växthusgaser ändras vid dessa förändrade antaganden. Som kan ses i tabellen krävs det långa transportavstånd för att dessa ska ge något större genomslag på de totala emissionerna. I dagsläget begränsas dessa långa transportavstånd troligen av ekonomin i att köra substraten så långa sträckor.

Tabell 15. Emissioner av växthusgaser vid systemexpansion beroende på transportavståndet (g CO₂-ekv/MJ). Den fossila referensen är 83,8 g CO₂-ekvialenter/MJ.

Substrat	Transportavstånd		
	Grundantagande transportavstånd	Dubbelt transportavstånd	10 gånger längre transportavstånd
Drank	48	49	57
Rapskaka	42	42	44
Permeatvassle	44	45	58
Konc. P.-vassle	44	44	58
Fodermjöl	60	61	65
Fiskrens	- 10	-10	-7
Bageriavfall	35	35	38
Glycerol	15	15	17

8. Diskussion och slutsatser

Syftet med denna studie är att analysera miljöprestandan ur ett livscykelperspektiv för olika biogassystem där restprodukter som idag används som djurfoder används som substrat för att producera biogas. Resultaten visar att livscykelanalyser av olika biogassystem är komplexa och att många olika parametrar påverkar resultatet. Dessa parametrar finns både inbyggda i själva livscykelanalysmetodiken, men även i de indata som används. Detta gör att det är svårt att göra helt rättvisa bedömningar för alla studerade substrat. Ett exempel i denna studie är skillnaden mellan de olika substraten och att de genomgående har bedömts individuellt gällande biogasutbyte, mineralgödselsättning och miljöpåverkan från hanteringen av rötrest med mera. Detta gör att ett substrat som rapskaka gynnas tack vare en hög TS-halt och ett högt metanutbyte. I realiteten kan dock rapskaka sannolikt inte rötas separat med konventionell teknik. Fördelar baserade på en hög andel torrsubstans med mera kan därför ge en delvis missvisande bild eftersom det är nödvändigt att samröta rapskakan med annat substrat. Trots detta redovisas resultatet i denna studie för respektive substrat för att illustrera respektive substrats fördelar och nackdelar.

Resultaten i denna studie skiljer sig från tidigare studier genom att det i denna studie finns ett antagande om att de olika substraten i dagsläget har avsättning som djurfoder och att detta måste beaktas när de olika systemens miljöpåverkan beräknas. Den påverkan som detta antagande har på miljöprestandan för respektive system illustreras i den systemexpansion som görs.

8.1. Växthusgaser

I Figur 2 visas hur mycket växthusgaser som varje biogassystem ger upphov till, både vid olika allokeringmetoder och när allokering undviks genom systemexpansion. Resultatet är oberoende av vald allokeringss metod eftersom rötresten inte bedöms ha något effektivt värmevärde och ett begränsat ekonomiskt värde. Vid ingen, fysikalisk och ekonomisk allokering ger biogas från alla substrat betydligt lägre emissioner av växthusgaser jämfört med bensin och diesel. Utsläppen av växthusgaser härrör främst från metanläckage samt transport och spridning av rötrest (se även Figur 8). Jämfört med en tidigare studie där odlade grödor studerats är klimatpåverkan avsevärt lägre (Börjesson *et al.*, 2010).

Vid systemexpansion ökar emissionerna av växthusgaser betydligt vilket framförallt beror på att biogassystemen belastas med produktion av foder. Detta får särskilt stor betydelse för substrat som är attraktiva som fodermedel, vilket innebär att biogas från fodermjölk får högst emissioner av växthusgaser även om emissionerna fortfarande minskar jämfört med användningen av bensin och diesel. På motsvarande sätt uppvisar biogas från fiskrens mycket låga emissioner vilket beror på att det inte inkluderats något alternativt foder eftersom vegetabilier inte bedömts vara aktuellt.

Intressant att notera är också att emissionerna vid produktion av biogas från vassle är i princip lika stora oavsett om vasslen koncentreras eller inte med de antaganden som gjorts här. Skulle transportavstånden öka gynnas den koncentrerade vasslen ytterligare.

Om beräkningarna i denna studie istället görs enligt den metodik som presenteras för hållbarhetskriterierna inom EU gällande biodrivmedel blir resultatet ungefär det samma som när systemexpansion inte tillämpas. Undantaget är biogas från rapskaka där resultatet blir ungefär det samma som vid systemexpansion. Anledningen till detta är att rapskakan ses som en samprodukt och en del av emissionerna som uppstår vid odlingen ska allokeras till rapskakan. Samtliga substrat ger dock en fordonsgas som uppfyller hållbarhetskriterierna, d.v.s. leder till en större GHG-reduktion är 35 %.

I tabell 16 visas reduktion av växthusgaser jämfört med bensin och diesel med och utan systemexpansion. Samtliga substrat reducerar emissioner men jämfört med de resultat som redovisas av Börjesson *et al.* (2010) tycks det vara mer effektivt att använda energigrödor direkt snarare än att använda biprodukter som sedan ska ersättas med andra grödor. Orsaken till detta har inte analyserats i detalj men sannolikt beror det delvis på valet av grödor. I Börjesson *et al.* (2010) baseras beräkningarna på vall och majs och här antas att de olika substraten ersätts med soja och korn.

Tabell 16. Reduktion av växthusgaser för respektive biogassystem.

Substrat	Ingen, fysikalisk eller ekonomisk allokering	Systemexpansion	Enligt hållbarhetskriterierna i EU's RED
Drank	90 %	42 %	91 %
Rapskaka	95 %	50 %	54 %
Permeatvassle	87 %	48 %	89 %
Konc. P.-vassle	92 %	48 %	92 %
Fodermjölk	92 %	28 %	92 %
Fiskrens	95 %	112 %	93 %
Bageriavfall	95 %	59 %	93 %
Glycerol	95 %	82 %	93 %

8.2. Bidrag till övergödning och försurning

I Figur 3 och 4 visas bidraget till övergödning och försurning för respektive substrat. För övergödningen varierar bidraget mellan 1 och 20 mg PO_4^{3-} -ekvivalenter per MJ och bidraget till försurningen varierar mellan 5 och 110 mg SO_2 -ekvivalenter per MJ. Dessa utsläpp kommer främst från rötrestlagringen och är relativt låga jämfört bidraget från bensin och diesel (se även Figur 8). Utsläppen kan också jämföras med biogasproduktion från odlade grödor som har avsevärt högre påverkan (Börjesson *et al.*, 2010).

Vid systemexpansion ökar dock emissionerna betydligt eftersom det djurfoder som måste produceras istället för de tidigare använda restprodukterna måste odlas och vid odling av dessa grödor uppkommer emissioner med stor påverkan

på både övergödning och försurning (se Figur 9). Bidraget till övergödning och försurning vid systemexpansion för de olika substraten varierar mellan 36 och 610 mg PO_4^{3-} -ekvivalenter per MJ och 72 och 664 mg SO_2 -ekvivalenter per MJ. Dessa kan jämföras med bidragen för diesel som vid slutförbränning ligger på 65 mg PO_4^{3-} -ekvivalenter respektive 350 mg SO_2 -ekvivalenter per MJ (Börjesson *et al.*, 2010). Resultatet visar därmed att olika biogassystem har för- och nackdelar och att det vid en analys av systemen är mycket viktigt att inte begränsa beräkningarna till att gälla enbart klimatprestanda.

8.3. Fotokemiska oxidanter och partiklar

Bidraget till bildandet av fotokemiska oxidanter är lågt. Bidraget för de olika substraten varierar mellan 0,2 och 1,0 mg C_2H_2 -ekvivalenter per MJ vid ingen, fysikalisk och ekonomisk allokering. Vid systemexpansion ligger bidraget mellan 0,2 och -1,5. I basfallet är det främst transport och spridning av rötrest som bidrar, medan det i systemexpansionen är krediteringen vid ersättning av mineralgödsel som gör att värdena blir negativa. De erhållna värdena för bildandet av fotokemiska oxidanter kan jämföras med motsvarande värde för diesel som vid slutförbränning ligger på 6,0 mg C_2H_2 -ekvivalenter per MJ (Börjesson *et al.*, 2010).

Även utsläpp av partiklar per MJ drivmedel är låga för de olika substraten. För ingen, fysikalisk och ekonomisk allokering varierar värdena mellan 0,3 och 1,0 mg partiklar per MJ beroende på substrat. Vid systemexpansion varierar värdena mellan 1,3 och -10 mg partiklar per MJ. De negativa värdena beror till stor del på den miljövinst som erhålls när rötresten ersätter mineralgödsel. Motsvarande värde för diesel som vid slutförbränning ligger på 6 mg partiklar per MJ (Börjesson *et al.*, 2010).

8.4. Energibalanser

För ingen, fysikalisk och ekonomisk allokering ligger energibalansen mellan 2,8 och 5,5 för de olika substraten där vasslesubstraten ger lägst energibalans och rapskakan högst. Dessa energibalanser är relativt lika dem som fås för biogas från hushållsavfall, livsmedelsavfall och gödsel i Börjesson *et al.* (2010), medan de är något högre än de som fås för biogas producerat från odlade grödor i samma rapport. I Lantz *et al.* (2009) utvärderas en samrötningsanläggning som drivs på främst industriavfall och gödsel. I denna studie beräknas energibalansen till 3,4.

Vid systemexpansion sjunker energibalanserna något och ligger mellan 1,5 och 3,3, vilket beror på den energiinsats som behövs vid produktion av djurfoder. Undantaget är fiskrens som får en väldigt hög energibalans. Detta beror på att inget djurfoderalternativ inkluderats i beräkningarna medan krediteringen av rötrest när den ersätter mineralgödsel gynnar energibalansen. För odlade grödor i Börjesson *et al.* (2010) ligger energibalansen vid systemexpansion mellan 2,5 och 3 och för restprodukter på mellan 2 och 6.

8.5. Sammanfattande slutsatser

En generell slutsats är att alla studerade restprodukter i dagsläget lämpar sig mycket väl för produktion av biogas om de inte skulle ha någon avsättning som djurfoder. Samtliga substrat medför minskade emissioner av växthusgaser jämfört med fossila bränslen och uppfyller även kraven enligt hållbarhetskriterierna i EU's RED.

Resultatet visar också att de undersökta biogassystem är komplexa och att många olika parametrar påverkar resultatet. Dessa parametrar finns både inbyggda i själva livscykelanalysmetodiken, men även i de indata som används. Hur miljöprestandan förändras om restprodukterna måste ersättas med djurfoder testas i systemexpansionen. I samtliga fall utom för fiskrens där det inte finns något alternativt djurfoder, ökar biogasens miljöpåverkan betydligt. Samtliga substrat ger dock fortfarande en reduktion av växthusgaser jämfört med fossila bränslen men emissionerna som påverkar försurning och övergödning blir högre. Generellt kan sägas att avsättningsmöjligheterna för substraten som djurfoder är av stor betydelse för resultatet i denna rapport, något som är direkt kopplat till efterfrågan på djurfoder.

Vid en jämförelse med tidigare livscykelanalys för svenska biodrivmedel (Börjesson *et al.*, 2010) framgår att alla biogassystemen, i basfallet, leder till lägre klimatpåverkan än om man producerar biogas direkt från odlade grödor. Vid systemexpansion där djurfoder måste ersättas, är emissionerna av växthusgaser högre än när biogas produceras från odlade grödor. I praktiken kan det dock finnas situationer då det finns begränsningar i att använda restprodukter som djurfoder och då leder biogasproduktion till stor klimatnytta.

9. Referenser

AarhusKarlshamns (2006) Produktdatablad för glycerol. Hämtad från http://www.aak.com/Global/Fatty%20acids,%20glycerine%20and%20deinking%20chemicals/Safety%20data%20sheet/Swedish/s_glycerol_86_5.pdf. Hemsida besökt 2012-01-16.

Achu N I, Mbatia B, Björnsson L (2012) Improved utilization of fish waste by anaerobic digestion following omega-3 fatty acids extraction, Submitted to Environmental Management.

Albertsson, I (2008) Användning av rötrest från kombinerad etanol och biogasproduktion – en jämförelse mellan tre alternativ, examensarbete, Sveriges Lantbruksuniversitet.

Arla Foods (2012) Produktdatablad Permeatvassle, utfärdat 2011-08-01

Avfall Sverige (2007) Frivilligt åtagande – inventering av utsläpp från biogas- och uppgraderingsanläggningar, rapport 2007:2, Avfall Sverige Utveckling

Baumann H, Tillman AM (2004) "The Hitch Hiker's Guide to LCA – an orientation in life cycle assessment methodology and application", Studentlitteratur, Lund, Sweden, pp 540.

Benjaminsson (2006) Nya renings- och uppgraderingstekniker, rapport 163, Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö

Berglund M, Börjesson P (2003) Energianalys av biogassystem. Rapport 44, Miljö- och energisystem, Lunds Universitet.

Bernesson, S (2007). Användningsområden för biprodukterna vid pressning och omförestring av rapsolja, Rapport 2007:04, Institutionen för biometri och teknik, SLU

Bertilsson J (2008). Sveriges Lantbruksuniversitet. Personlig kommunikation.

BioGrace (2011) BioGrace_GHG_calculations_version 4b_-_Public.

Biogas Syd (2010) Uppgradering av biogas till fordonskvalitet, Informationsblad

Brännström-Nordberg B-M, Münter M, Strömberg P, Wallenius A (2001). LCA värme: Vattenfalls livscykelanalyser – produktion av värme. Vattenfall AB, Stockholm.

Börjesson P, Berglund M (2006). Environmental Analysis of Biogas Systems – Part I: Fuel Cycle Emissions. Biomass and Bioenergy Vol. 30, pp 469-485.

Börjesson P (2007a). Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. Bilagedel, Statens Offentliga Utredningar, SOU 2007:36, Stockholm.

Börjesson P (2007b). Energibalans för spannmålsetanol – några räkneexempel. Miljö- och energisystem, Lunds Universitet.

Börjesson P, Berglund M (2007). Environmental systems analysis of biogas systems – part II: Environmental impact of replacing various reference systems. Biomass and Bioenergy, Vol 31, pp 326-344.

Börjesson P, Tufvesson L, Lantz M (2010) Livscykelanalys av svenska biodrivmedel. Rapport 70, Miljö- och energisystem. Lunds Universitet.

Carlsson M, Uldal M (2009) Substrathandbok för biogasproduktion. Rapport SGC 200, Svenskt Gastekniskt Centrum, Malmö.

Cederberg C, Flysjö A (2008). Utsläpp av växthusgaser i ett livscykelperspektiv samt energi- och markanvändning för produktion av RME baserad på svensk rapsråvara. SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik.

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.

Edström M, Nordberg Å, Ringmar A (2005) Utvärdering av gårdsbaserad biogasanläggning på Hagavik, JTI-rapport Kretslopp & Avfall, 31.

Energimyndigheten (2011) Vägledning till regelverk om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och flytande biobränslen, version 2.0, rapport ER 2011:23, Energimyndigheten.

Eriksson P (2010). Hushållningssällskapet Vänersborg, personlig kommunikation.

Flysjö A, Cederberg C, Strid I (2008). LCA-databas för konventionella fodermedel. SIK-rapport 772, SIK, Göteborg.

FNR (2006) Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow.

Grimm A, Skoglund N, Eriksson G, Boström D, Boman C, Öhman M (2010) Effekter av fossiltillsats vid förbränning av biomassa, Värmeforsk, rapport 1157.

Hansson P-A, Burström A, Norén O, Bohm M (1998). Bestämning av motoremissioner från arbetsmaskiner inom jord- och skogsbruk. Rapport 232, Inst. för Lantbruksteknik, SLU, Uppsala.

Högberg A (2012) Personlig kontakt, Statens veterinärmedicinska anstalt, januari 2012.

IPCC (2006) N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4,

Chapter 11. Agriculture, Forestry and Other Land Use, Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2006b) Guidelines for national greenhouse gas inventories; prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use, Intergovernmental Panel on Climate Change.

ISO (International Standardization Organization) (2006) ISO 14044. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.

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.

JRC (2007). Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Concawe, EUCAR & EC Joint Research Centre (<http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>).

Lantmännen (2012) Personlig kommunikation, Kerstin Sigfridsson, Produktspecialist Foderutveckling, Lantmännen, Malmö, 2012-02-02.

Lantz M, Ekman A, Börjesson P (2009) Systemoptimerad produktion av fordonsgas – En Miljö- och energisystemanalys av Söderåsens biogasanläggning. Rapport 69, Miljö- och Energisystem, Lunds Universitet, Lund.

Linné M (2007) Granskning av livscykelanalyser för biogas, etanol och RME. Kartläggning av behovet av nytt dataunderlag. SGC Rapport 180. Svenskt Gastekniskt Centrum, Malmö.

Linné M, Ekstrandh A, Englesson R, Persson E, Björnsson L och Lantz M. (2008) Den svenska biogaspotentialen från restprodukter. Svenska Gasföreningen.

Linné, M. (2010) BioMil, Lund, Personlig kommunikation.

Mårtensson P, Svensson M (2009). Miljösystemstudie – svensk RME och etanol i tunga fordon. Examensarbete, Miljö- och energisystem, Lunds Universitet, Lund.

Naturvårdsverket (2006) Utsläpp av metan och lustgas från jordbrukssektorn. Rapport 5506. Stockholm.

Palm, D. och Ek, M. (2010) Livscykelanalys av biogas från avloppsreningsverksslam, rapport SGC 219, Svenskt Gastekniskt Center AB, Malmö.

SFS (1994) Lag (1994:1776) om skatt på energi uppdaterad till och med 2011:1370.

SFS (2010) Lag (2010:598) om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och flytande biobränslen, uppdaterad till och med 2011:1065.

Skeby Energi (2012) <http://www.skebyenergi.se/Rapskaka.htm>. Hemsida besökt 2012-01-16.

Snaprud P (2008). Gödsel blir klimatvänligare. Forskning och Framsteg, Nr 8.

SOU (2007) Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. Statens Offentliga Utredningar, SOU 2007:36, Stockholm.

Säll, S (2008) Hur kan drank lagras, hanteras och utfodras till mjölkkor? Examensarbete inom agronomprogrammet, Alnarp (2008:1).

Uppenberg S, Almemark M, Brandel M, Lindfors L-G, Marcus H-O, Strippel H et al. (2001). Miljöfaktabok för bränslen - Del 1, Huvudrapport. Rapport B 1334A-2, IVL – Svenska Miljöinstitutet, Stockholm.

Utbildningsstyrelsen (2012) http://www.edu.fi/raprotein_i_livsmedel. Bestämning av råprotein i livsmedel. Hemsida besökt 2012-02-02.

Appendix 1 - Indata

Tabell A1. Karakteriseringsfaktorer som används vid aggregering av emissionsdata till respektive miljöeffektkategori

Emissioner	Miljöeffektkategori			
	Växthuseffekt (GWP) ¹	Eutrofiering (EP) ²	Försurning (AP) ³	Fotokemiska oxidanter (POCP) ⁴
Koldioxid, CO ₂	1			
Koloxid, CO				0,032
Kväveoxider, NO _x		0,13	0,7	
Svaveldioxid, SO ₂			1	
Kolväten, HC				0,42
Metan, CH ₄	23			0,007
Lustgas, N ₂ O	296			
Ammoniak, NH ₃		0,35	1,88	
Nitrat, NO ₃ ⁻		0,10		
Fosfat, PO ₄ ³⁻		1		
Partiklar				

¹ Global Warming Potential, uttryckt som koldioxidekvivalenter.

² Eutrophication Potential, uttryckt som fosfatekvivalenter.

³ Acidification Potential, uttryckt som svaveldioxidekvivalenter.

⁴ Photochemical Oxidant Creation Potential, uttryckt som etenekvivalenter (C₂H₂).

Tabell A2. Energiinsats vid insamling och transport av restprodukter för biogas¹.

Gröda	TS-halt	Transport			Totalt	Biogas-utbyte	Totalt
	%	MJ/ton*km	Km ¹	MJ/ton	MJ/ton	GJ/ton	MJ/GJ
Drank	8	1,1	10	11	11	0,85	12,9
Rapskaka	91	1,1	30	33	33	13,6	2,40
Permeatvassle	5	1,1	10	11	11	0,54	20,2
Konc. P.-vassle	16	1,1	10	11	11	1,74	6,30
Fodermjök	9	1,1	10	11	11	1,50	7,3
Fiskrens	41	1,1	30	33	33	9,63	3,4
Bageriavfall	61	1,1	30	33	33	6,55	5,0
Glycerol	85	1,1	30	33	33	12,69	2,6

¹ Uppskattade genomsnittliga transportavstånd under dagens förutsättningar.

Tabell A3. Miljöpåverkan för lastbilstransporter på väg, uttryckt i mg/MJ diesel¹.

	Emissioner					
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	HC	Partiklar
Vägtransport	76000	11	720	2	11	11

¹ Baserat på bearbetad data i Börjesson och Berglund (2006) utifrån ursprunglig data från Hansson *et al.* (1998).

Tabell A4. Bränslecyclemissioner, uttryckt per MJ, för de energibärare som används vid tillverkningsprocesserna.

	Emissioner						
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	HC	Partiklar	CH ₄
	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Svensk medelel ¹	10	20	20	10	3	3	50
Biogas – end-use ²	0	20	60	1	1	1	100
Naturgas ³	60	30	80	2	4	3	14
Kol ⁴	94	40	45	70	2	25	1100

¹ Baserat på uppdaterad data avseende aktuell svensk medelel som sammanställts i Lantz *et al.* (2009) respektive Mårtensson och Svensson (2009). En MJ använd el motsvara 2,1 primärenergi inklusive distributionsförluster.

² Avser endast "end-use"-emissioner. Baserat på data från Börjesson och Berglund (2006). Okontrollerade utsläpp av metan från biogasprocess och uppgradering antas motsvara 0,5 % av den producerade biogasen baserat på dagens bästa teknik (Linné, 2010).

³ Baserat på bearbetad data i Börjesson och Berglund (2007) utifrån ursprunglig data från Uppenberget *et al.* (2001) samt Brännström-Nordberg *et al.* (2001).

⁴ Baserat på data sammanställd av Mårtensson och Svensson (2009).

Tabell A5. Antagna verkningsgrader, uttryckt som % av biomassans ursprungliga energiinnehåll, vid omvandling av olika bränslen till el och värme.¹

	Värme	Kraftvärme			El (kondens)
		Värme	El	Totalt	
Skogsflis	90	55	30	85	-
Biogas	95	45	40	85	-
Naturgas	95	45	40	85	58
Kol	90	55	30	85	45

¹ Baserat på data från Börjesson och Berglund (2007) och Mårtensson och Svensson (2009).

Tabell A6. Emissioner vid transport och spridning av rötrest, uttryckt som gram per ton rötrest¹

	Emissioner					
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	HC	Partiklar
Transport	1200	0,21	10	0,36	0,60	0,17
Spridning	1900	1,7	15	0,30	0,53	0,23

¹ Baserat på bearbetad data från Börjesson och Berglund (2006) där energiinsatsen för transport (10 km) och spridning av rötrest beräknas till 16 respektive 25 MJ per ton rötrest. Rötrestgivan per hektar antas vara 30 ton (cirka 8 % TS). Ett ton substrat antas generera 1 ton rötrest (se diskussion i Berglund och Börjesson, 2006).

Tabell A7. Använda värden på energiinnehåll i organiska restprodukter och drivmedel.¹

	Energiinnehåll	
	MJ / kg	MJ / liter
Metan	-	35,3 (/Nm ³)
Bensin	43,2	32,2
Diesel	43,1	35,9

¹ Baserat på Börjesson (2007a, 2007b), JRC (2007) samt Mårtensson och Svensson (2009). Avser per kg torrsbstans för biomassa samt motsvarar högre värmevärde.

Tabell A8. Näringsinnehåll i substrat som utnyttjas för produktion av biogas.¹

Biomassa	Kväve	Fosfor	Kalium
	% av ts	% av ts	% av ts
Drank	4,00	0,90	1,10
Rapskaka	5,00	1,20	0,65
Permeatvassle	0,47	0,80	2,50
Konc. P.-vassle	0,47	0,80	2,50
Fodermjök	3,90	0,80	1,00
Fiskrens	5,80	1,90	0,40
Bageriavfall	3,70	0,20	0,40
Glycerol	0	0	0

¹ Den växttillgängliga andelen näringsämnen som återförs via rötresten antas motsvara 70 % för kväve respektive 100% för fosfor och kalium (Börjesson och Berglund, 2007).

Tabell A9. Mängd mineralgödsel som ersätts via rötresten från biogasproduktion baserat på restprodukter.

Biomassa	Kväve	Fosfor	Kalium
	kg per ton substrat	kg per ton substrat	kg per ton substrat
Drank	0,002	0,0007	0,0009
Rapskaka	0,032	0,01	0,01
Permeatvassle	0,0002	0,0004	0,001
Konc. P.-vassle	0,0005	0,001	0,004
Fodermjök	0,002	0,007	0,0009
Fiskrens	0,02	0,01	0,002
Bageriavfall	0,02	0,001	0,002
Glycerol	0	0	0

Tabell A10. Emissioner vid tillverkning av mineralgödsel¹.

	Emissioner							
	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	HC	Partiklar	CH ₄	N ₂ O
Kvävegödsel (g/kg)	3200	0,36	8	4,6	0,18	0,82	3,1	11,5
Fosforgödsel (g/kg)	2900	0,46	18	39	3,9	9,5	7,2	0,29
Kaliumgödsel (g/kg)	440	0,7	2,7	5,9	0,58	1,4	1,1	0,002

¹ Baserat på bearbetad data i Börjesson och Berglund (2006) utifrån ursprunglig data från Davis och Haglund (1999). Uppdateringar avseende effektiviseringar och lustgasutsläpp (N₂O) från kvävegödseltillverkning baseras på Jensen och Kongshaug (2003) samt Snaprud (2008). Här antas att hälften av dagens kvävegödseltillverkning i Yaras anläggningar sker med lustgasrening som idag har cirka 60 % av den svenska marknaden (Eriksson, 2010). Resterande andel kvävegödsel importeras från producenter utanför Europa vars anläggningar antas sakna lustgasrening idag. Utan lustgasrening bedöms utsläppen vara i genomsnitt 15 gN₂O/kg N och med lustgasrening 3 g N₂O/kg N.

Tabell A11. Alternativa produkter som idag antas ersättas av de biprodukter som fås från biodrivmedelssystem, när systemutvidgning tillämpas.

Biprodukt	Ersättningsprodukt		
	Sojamjöl	Foderkorn	Melass
	kg ts	kg ts	kg ts
Drank ¹ (1 kg ts)	0,4	0,6	0
Rapsmjöl ¹ (1 kg ts)	0,7	0,3	0
Permeatvassle ² (1 kg ts)	0	1,07	0
Konc. P.-vassle ² (1 kg ts)	0	1,07	0
Fodermjöl ² (1 kg ts)	0,43	1,49	0
Fiskrens ³ (1 kg ts)	-	-	0
Bageriavfall ⁴ (1 kg ts)	0	1,0	0
Glycerol ⁵ (1 kg ts)	0	0	0,92

¹ Sammanställd och bearbetad data från Bertilsson (2008), Cederberg och Flysjö (2008), Börjesson (2007) samt JRC (2007), baserat på innehåll av smältbart protein och energi.

² Information om foderersättning för permeatvassle, koncentrerad permeatvassle och fodermjöl har erhållits från Lantmännen (2012).

³ Fiskrens antas i dagsläget inte kunna ersättas av något annat foder (Högberg, 2012).

⁴ Bageriavfall (1 kg TS) antas här motsvara 1 kg foderkorn (1 kg TS).

⁵ Information om att glycerol kan ersättas med melass hämtad från Bernesson (2007).

Tabell A12. Data för systemutvidgning då djurfoder ersätts.

Produkt	Miljöeffektkategori				
	Energiinsats	Växthuseffekt	Eutrofiering	Försurning	Fotokemiska oxidanter
	MJ	g CO ₂ -ekv.	g PO ₄ -ekv.	g SO ₂ -ekv.	g C ₂ H ₂ -ekv.
Sojamjöl ¹ (/kg ts)	9,3	980	5,8	8,2	- ²
Foderkorn ¹ (/kg ts)	2,9	450	5,2	2,8	- ²
Melass ¹ (/kg ts)	1,9	182	7,1	1,1	- ²

¹ Baserat på data från Flysjö *et al.* (2008).

² Beräkningar saknas varför eventuella skillnader mellan restprodukter och ersättningsprodukter avseende bidrag till POCP ej beaktas här.

Tabell A13. Miljöeffekter vid slutanvändning av biogas i lätta respektive tunga fordon (per MJ)¹.

Produkt	Miljöeffektkategori				
	Växthuseffekt	Eutrofiering	Försurning	Fotokemiska oxidanter	Partiklar
	g CO ₂ -ekv.	mg PO ₄ -ekv.	mg SO ₂ -ekv.	mg C ₂ H ₂ -ekv.	mg partiklar
<i>Lätta fordon</i>					
Biogas	0,9	1,0	7,0	15	0,5
<i>Tunga fordon</i>					
Biogas	0,9	26	140	2,0	0,5

¹ Hämtat från Börjesson *et al.* (2010).



Scheelegatan 3, 212 28 Malmö • Tel 040-680 07 60 • Fax 040-680 07 69
www.sgc.se • info@sgc.se
