

# Transporter i gårdsbaserade biogassystem

– Framtagning av beräkningsprogram för  
kostnader och emissioner

*Mårten Johansson*  
*Thomas Nilsson*

---

Examensarbete 2007  
Institutionen för Teknik och samhälle  
Miljö- och Energisystem  
Lunds Tekniska Högskola





LUNDS UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

## Transporter i gårdsbaserade biogassystem

*- Framtagning av beräkningsprogram för kostnader och emissioner*

Mårten Johansson  
Thomas Nilsson

Examensarbete

Januari 2007



Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från  LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Miljö- och energisystem, HS 3 Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 86 40 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn
	Examensarbete Utgivningsdatum <b>Januari 2007</b>
	Författare Mårten Johansson Thomas Nilsson

Dokumenttitel och undertitel

Transporter i gårdsbaserade biogassystem  
- Framtagning av beräkningsprogram för kostnader och emissioner

Sammandrag

Syftet med detta examensarbete var att konstruera och testa ett program för beräkning av kostnader och miljöpåverkan för transporter i gårdsbaserade biogassystem. Det gäller transport av både substrat, rötrest och biogas.

Beräkningsprogrammet testades sedan på ett verkligt fall – Skea gård i Hässleholms kommun där en biogasanläggning är i planeringsstadiet. Två alternativa utformningar med olika kapaciteter studerades.

Med hjälp av beräkningsprogrammet studerades även samarbetsmöjligheterna ifall det inom ett område finns flera jordbrukare som är intresserade av biogasproduktion. Här studerades alternativen att uppföra en biogasanläggning på varje gård, eller att istället bygga en större gemensam biogasanläggning.

Nyckelord

Gårdsbaserade biogassystem, beräkningsprogram, transportkostnad, miljöpåverkan

Sidomfång	Språk	ISRN
109	Svenska Sammanfattning på engelska	LUTFD2/TFEM--07/5020--SE + (1-109)



Organisation, The document can be obtained through  <b>LUND UNIVERSITY</b> <b>Department of Technology and Society</b> <b>Environmental and Energy Systems Studies</b> <b>Box 118</b> <b>SE - 221 00 Lund, Sweden</b> <b>Telephone: int+46 46-222 86 40</b> <b>Telefax: int+46 46-222 86 44</b>	Type of document
	<b>Master thesis</b>
	Date of issue <b>January 2007</b>
	Authors <b>Mårten Johansson</b> <b>Thomas Nilsson</b>

---

Title and subtitle

**Transports in farm-based biogas systems**  
**- Development of a calculation program for costs and emissions**

---

Abstract

The aim of this study was to create and test a program for calculating the costs and the environmental impact of transports in farm based biogas production. The transportation of substrate, digestate and biogas were studied.

The program was then tested on a real case – Skea gård near Hässleholm in Sweden where a biogas plant is planned. In the case study two alternatives with different capacities were studied.

Using the program the possibilities for co-operation between neighbouring farms, interested in biogas production, were studied. Two alternatives were compared. The first alternative is for each farm to have an own biogas plant. The second is a bigger, common biogas plant.

---

Keywords

Farm-based biogas systems, calculation program, transportation costs, environmental effects

---

Number of pages	Language	ISRN
109	Swedish, English summary	LUTFD2/TFEM--07/5020--SE + (1-109)

---





## Förord

Detta examensarbete skrivs som avslutning på våra civilingenjörstudier i Ekosystemteknik vid Lunds tekniska högskola. Arbetet har bedrivits på avdelningen för miljö- och energisystem med Per Svenningsson som handledare.

Idén till ämnet arbetades fram dels under ett möte i Hushållningssällskapet Kristianstads regi, och dels efter samtal med Anders Nylander (Biogas Syd), Roland Nilsson (E.ON Gas) samt Pål Börjesson och Mikael Lantz (avdelningen för miljö- och energisystem). Hjälpt med fallstudien fick vi från Maria Larsson (Hässleholms kommun) och Glenn Oredsson (Skea Gård). Ett stort tack riktar vi till er.

Vi vill också tacka alla er som svarat på våra frågor och hjälpt oss i vår datainsamling.

Dessutom vill vi tacka våra kollegor på avdelningen för miljö- och energisystem för att vi fått bli en del i gemenskapen, under såväl vardag som fest.

Mårten passar på att tacka Sara för all uppmuntran och stöttning, speciellt under de jobbiga perioder då arbetet tyckts gått långsamt framåt.

Slutligen vill Thomas tacka Mia för all värdefull hjälp samt ett aldrig sviktande stöd.



## Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete var att konstruera och testa ett program för beräkning av kostnader och miljöpåverkan för transporter i gårdsbaserade biogassystem. Det gäller transport av både substrat, rötrest och biogas. Sådan behandling av substrat, rötrest och biogas som förväntas påverka transporter studerades också. Här kan nämnas rening, uppgradering och trycksättning av biogasen samt avvattning av rötresten.

Arbetet bedrevs genom litteraturstudier som kompletterades med ett flertal personkontakter och inriktades på datainsamling kring olika transportalternativ och behandlingsmetoder för substrat, rötrest samt biogas. Ett beräkningsprogram för kostnader och emissioner konstruerades och testades sedan på ett verkligt fall – Skea gård i Hässleholms kommun. Här studerades två alternativ:

- **Alternativ 1**  
Mindre anläggning med kapacitet att röta 2500 ton/år
- **Alternativ 2**  
Större anläggning med kapacitet att röta 8500 ton/år

Fallstudien gav för båda de studerade alternativen resultatet att ur ett ekonomiskt perspektiv är lastbil (lastkapacitet 40 m<sup>3</sup>) bäst för transport av substrat och rötrest. I alternativ 1 kommer transport med traktor närmast, medan transport med rörledning är överlägset dyrast. I alternativ 2 har däremot rörledning näst lägst kostnad, medan transport med traktor blir dyrast.

Miljöpåverkan genom emissioner blir för båda de studerade alternativen minst ifall transporten av substrat och rötrest sker med rörledning. Näst bäst är att välja lastbilstransport och sämst är transport med traktor. Rangordningen blir samma oavsett vilka av de studerade emissionerna och därmed miljöproblemen som avses.

Transporten av biogas får lägst kostnad med gasledning och obehandlad gas. Därefter kommer lastbil och växelflak. Gasen är i det här fallet renad. Sedan kommer alternativet att uppgradera gasen och transportera den med gasledning. Det ur ekonomisk synpunkt sämsta alternativet är transport av uppgraderad biogas med lastbil och växelflak.

Avseende låga emissioner är gasledning klart överlägset lastbil och växelflak. Bland gasledningarna går det att se ett mönster för deras miljöprestanda. De kan rangordnas enligt kriterierna att först och främst är obehandlad gas bättre än uppgraderad, sedan är lågt tryck i gasledningen bättre än högt. Bland de olika varianterna av lastbil med växelflak kan en liknande rangordning göras. Här är det första kriteriet att uppgraderad gas är bättre än obehandlad och det andra att högt tryck är bättre än lågt.

Med hjälp av beräkningsprogrammet studerades även samarbetsmöjligheterna ifall det inom ett område finns flera jordbrukare som är intresserade av biogasproduktion. De två alternativ som jämförs är ifall varje gård ska ha en egen biogasanläggning eller om en större, gemensam biogasanläggning är att föredra. Alternativen jämförs med avseende på transportrelaterade kostnader och emissioner. Slutsatsen är att vilket alternativ som ur kostnadssynpunkt är att föredra beror på substratmängd och transportavstånd. Korta avstånd och stora mängder substrat gynnar alternativet med en egen biogasanläggning på varje gård, medan stora avstånd och mindre substratmängder gynnar alternativet med en gemensam biogasanläggning.

De olika faktorernas (mängd, transportavstånd o.s.v.) påverkan på transportkostnaden för substrat och rötrest skiljer sig åt mellan vägtransport och transport med rörledning. För transport på väg beror den årliga kostnaden av rörliga faktorer (timkostnad för transporttjänsten) medan kostnaden för transport med rörledning till största delen utgörs av en årlig kapitalkostnad till följd av den höga investeringskostnaden. Eftersom kostnaden för transport med rörledning mestadels utgörs av fasta kapitalkostnader finns goda förutsättningar för bättre ekonomi ifall det är stora mängder substrat eller rötrest som ska transporteras.

Emissionerna orsakade av transporter kan relateras till de totala emissionerna vid biogasproduktion på gårdsnivå. Beroende på förutsättningarna kan de transportrelaterade emissionerna utgöra alltifrån en försumbar del till över hälften av de totala emissionerna, allt beroende på bl.a. substrat, transportmedel och avstånd.

Andra miljöproblem än de som orsakas av emissioner kan vara nog så viktiga att beakta. Om de båda alternativen vägtransport och ledningsburen transport ställs mot varandra, så har det senare ett par fördelar utöver de lägre emissionerna. Ledningsburen transport medför t.ex. inte buller, ökad belastning på vägnätet eller potentiellt ökad risk för trafikolyckor.

## Summary

The aim of this study was to create and test a program for calculating the costs and the environmental impact of transports in farm based biogas production. The transportation of substrate, digestate and biogas were studied, including such treatment that could affect the transport (for example purifying and upgrading the biogas or dehydrating the digestate).

The method of the study was to collect data about different transport alternatives through a combination of literature studies and several personal contacts. A program to calculate the costs and emissions was then created and tested on a real case – Skea gård near Hässleholm in the south of Sweden. In the case study two alternatives were studied:

- **Alternative 1**  
Smaller facility with the capacity to digest 2500 tonnes/year
- **Alternative 2**  
Larger facility with the capacity to digest 8500 tonnes/year

The result of the case study was that the mode of transporting the substrate and digestate that had the lowest cost was by lorry (load capacity 40 m<sup>3</sup>). This applies to both the alternatives. In alternative 1 the second lowest cost was by tractor, while pipeline was the most expensive mode of transport. In alternative 2 however, the pipeline had the second lowest cost and tractor was the mode of transport with the highest cost.

In both studied alternatives, the environmental impacts through emissions are lowest when the substrate and digestate is transported by pipeline. The second best alternative from this point of view is lorry and the worst is tractor. The order is the same regardless which of the studied emissions that is referred to.

The transport cost for the biogas is the lowest when there is no upgrading and a pipeline is used for the transport. The second alternative is to use a lorry with high pressure tanks instead. This time water and corrosive components have to be separated from the biogas. The second most expensive alternative is to upgrade and transport by pipeline and the most expensive is to upgrade and transport by lorry with high pressure tanks.

The emissions from transporting the biogas by pipeline are far lower than the emissions from transporting by lorry with high pressure tanks. The different pipelines can be ranked after their environmental characteristics. First of all non-upgraded biogas is better than upgraded, and secondly low pressure in the pipeline is better than high. Among the different lorries with high pressure tanks a similar ranking can be made. Here the first criteria is that upgraded biogas is better than non-upgraded and the second is that high pressure is better than low.

Using the program the possibilities for co-operation between neighbouring farms, interested in biogas production, were studied. Two alternatives were compared. The first alternative is for each farm to have an own biogas plant. The second is a bigger, common biogas plant. The comparison was made considering transport-related costs and emissions. The conclusion from an economic perspective is that the alternative to prefer depends on the amount of substrate and the transport distance. Short distances and large amounts of substrate favours the alternative with an own biogas plant on each farm, while long distances and smaller amounts of substrate favours the alternative with one common biogas plant.

The ways in which the input data affect the transport cost for substrate and digestate differ between the modes of transport. For road transport, the annual cost depends on variable costs, while transport by pipeline has a high capital cost because of the high investment. As a result of this, there is a good possibility to attain better profitability if larger amounts of substrate or digestate are to be transported.

The emissions caused by transports can be compared to the total emissions from farm scale biogas production. Depending on the circumstances the transport related emissions can be negligible or more than half of the total emissions, depending on substrate, mode of transport and distance.

Other environmental issues than those caused by emissions can be important to consider. If the alternatives road transport and transport by pipeline are compared, the latter has several advantages except lower emissions. For example, transport by pipeline does not cause disturbing noise, increased traffic on the roads or a potential increased risk for traffic accidents.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Metod	2
1.4	Avgränsningar och antaganden	2
1.5	Innehåll	3
<b>2</b>	<b>Gårdsbaserad biogasproduktion</b>	<b>5</b>
2.1	Biogasprocessen	5
2.2	Produktionsanläggningen	5
2.3	Avsättningsmöjligheter för biogas	8
2.4	Användning av rötrest	9
<b>3</b>	<b>Behandling av biogas</b>	<b>11</b>
3.1	Avskiljning av svavelväte	11
3.2	Avskiljning av vatten	12
3.3	Uppgradering	13
<b>4</b>	<b>Miljöpåverkan av emissioner från transporter i gårdsbaserade biogassystem</b>	<b>17</b>
4.1	Växthuseffekt	17
4.2	Försurning	17
4.3	Övergödning	18
4.4	Utsläpp av partiklar	18
<b>5</b>	<b>Utgångspunkter för beräkningsprogrammet</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Transport av substrat</b>	<b>21</b>
6.1	Vägtransport	21
6.2	Rörledning	24
<b>7</b>	<b>Transport av rötrest</b>	<b>27</b>
7.1	Vägtransport	27
7.2	Torkning av rötrest innan transport	27
7.3	Rörledning	28
<b>8</b>	<b>Transport av biogas</b>	<b>29</b>
8.1	Gasledning	29
8.2	Lastbil med växelflak	30
8.3	Transport av biogas i form av LNG	33
<b>9</b>	<b>Beräkningsprogrammet</b>	<b>35</b>
9.1	Inmatning av värden i programmet	35
9.2	Beräkningar	40
<b>10</b>	<b>Tillämpning av programmet – fallstudie Skea gård</b>	<b>51</b>
10.1	Beskrivning av testobjekt – Skea gård	51
10.2	Resultat av test av programmet	55
10.3	Analys av resultat	61
<b>11</b>	<b>Tillämpning av programmet – samarbetsmöjligheter</b>	<b>65</b>
11.1	Förutsättningar	65
11.2	Metodbeskrivning	66
11.3	Resultat och analys	69
<b>12</b>	<b>Utvärdering av beräkningsprogrammet</b>	<b>73</b>
12.1	Känslighetsanalys	73

<b>13</b>	<b>Diskussion och slutsatser .....</b>	<b>79</b>
13.1	Kostnader .....	79
13.2	Miljöpåverkan .....	81
	<b>Referenslista .....</b>	<b>85</b>
	<b>Bilaga A – Emissioner från svensk elproduktion.....</b>	<b>1</b>
	<b>Bilaga B – Bränsleförbrukning för biogasdriven lastbil.....</b>	<b>3</b>
	<b>Bilaga C – Kostnad för biogasdriven lastbil .....</b>	<b>4</b>
	<b>Bilaga D – Annuitetsmetoden.....</b>	<b>5</b>
	<b>Bilaga E – Tryckfall och hastighet i gasledning.....</b>	<b>6</b>



# 1 Inledning

I dagsläget pågår en omställning av energisystemet i Sverige. Växthusgasernas inverkan på det globala klimatet har medfört en ny syn på energiproduktion och dess utsläpp. Fokus har flyttats från vattenkraftens lokala påverkan och de regionala riskerna med kärnkraften till de fossila energikällornas globala klimatpåverkan. Fossila energikällor fasas ut och ersätts av förnybara, med målet att skapa en hållbar utveckling. Biogas framställs ur förnybara organiska råvaror och är en av energibärarna i ett framtida uthålligt energisystem.

## 1.1 Bakgrund

1970-talets oljekriser, med stigande oljepriser som följd, medförde ett intresse för gårdsbaserad biogasproduktion i Sverige. Ett 15-tal anläggningar för rötning av gödsel uppfördes mellan 1975 och 1984. Anläggningarna fick investeringsstöd av staten och de flesta av dem uppfördes på stora svinfarmer. När oljepriserna sjönk och intresset för biogasproduktion från statens sida därmed minskade, upphörde investeringsstödet. Detta medförde att det under en tioårsperiod inte byggdes några nya anläggningar. De flesta av anläggningarna som uppfördes mellan 1975 och 1984 är idag nedlagda. Orsaken till detta är dålig lönsamhet p.g.a. upprepade driftstörningar och stora underhållsbehov. (Berglund, 2006)

Idag ökar intresset för gårdsbaserad biogas igen, dels p.g.a. ökade energikostnader då oljan åter blivit dyr och dels för att rötrestens goda egenskaper som gödning uppmärksammas. Tyskland leder den tekniska utvecklingen på området och erfarenheter därifrån kan driva utvecklingen av gårdsbaserad biogas framåt även i Sverige. I Tyskland har tillväxten av nya anläggningar varit stor under 2000-talets första fem år och 2005 fanns det c:a 4 000 i drift. Detta kan jämföras med antalet anläggningar i Sverige som är ungefär ett dussin. Flera av dessa är belägna vid lantbruksgymnasier eller -högskolor. (Berglund, 2006)

Potentialen för svensk biogasproduktion är relativt stor. Dagens produktion är omkring 1,4 TWh. Mängden biogas som skulle kunna produceras i Sverige har uppskattats till 17 TWh/år vilket ungefär motsvarar 4 % av landets totala energianvändning 2004. Av denna potential svarar lantbruket för drygt 80 % (14 TWh), vilket innebär att denna sektor är extra intressant att granska. Delen från lantbruket utgörs av gödsel, skörderester och odlade grödor. (Svenska Biogasföreningen, 2006 a)

Biogas har många användningsområden. Gasen består liksom naturgas till största delen av metan och kan därför användas till samma ändamål som naturgas. Biogasen kan brännas för att producera värme. Den kan också användas som bränsle i kombinerad el och värmeproduktion, så kallad kraftvärme. En uppgradering av gasen, d.v.s. höjning av metanhalten genom avskiljning av koldioxid, ger möjlighet att använda den som bränsle i fordon.

Utöver biogasen erhålls vid biogasproduktion också en rötrest. Rötresten används som gödselmedel vid odling, vilket medför en minskad användning av konstgödsel. Vid rötning av gödsel fås en rötrest med bättre egenskaper än vad gödseln från början hade. I denna rötrest är näringsämnen mer tillgängliga för växterna, vilket ger en bättre verkan hos gödseln samtidigt som läckaget av näringsämnen minskar. Dessutom minskar andelen groende ogräsfröer i gödseln redan efter några dagars rötning (Hansson och Christensson, 2005).

I dagsläget finns, som tidigare nämnts, endast ett fåtal gårdsanläggningar för biogasproduktion i Sverige. Majoriteten av dessa anläggningar använder gasen lokalt,

vanligen till produktion av värme. Det är svårt att få full avsättning för gasen, speciellt på sommaren när värmebehovet är lågt. Därför måste gasen ofta facklas (d.v.s. eldas utan att värmen tas till vara). En strävan efter att få full avsättning för gasen i kombination med stigande energipriser har ökat intresset att sälja gasen, antingen som den är eller uppgraderad. Då en tänkt användare är geografiskt fränskiljd från producenten krävs ett transportsystem för gasen.

## **1.2 Syfte**

Syftet med examensarbetet är konstruera, testa och utvärdera ett beräkningsprogram för att beräkna kostnader och miljöpåverkan för transporter i gårdsbaserade biogassystem. Det gäller transport av både substrat, rötrest och biogas. De studerade transportmedlen är med något undantag sådana som är kommersiellt tillgängliga idag. Sådan behandling av substrat, rötrest och biogas som förväntas påverka transporterna studeras också. Här kan nämnas rening, uppgradering och trycksättning av biogasen samt avvattning av rötresten.

## **1.3 Metod**

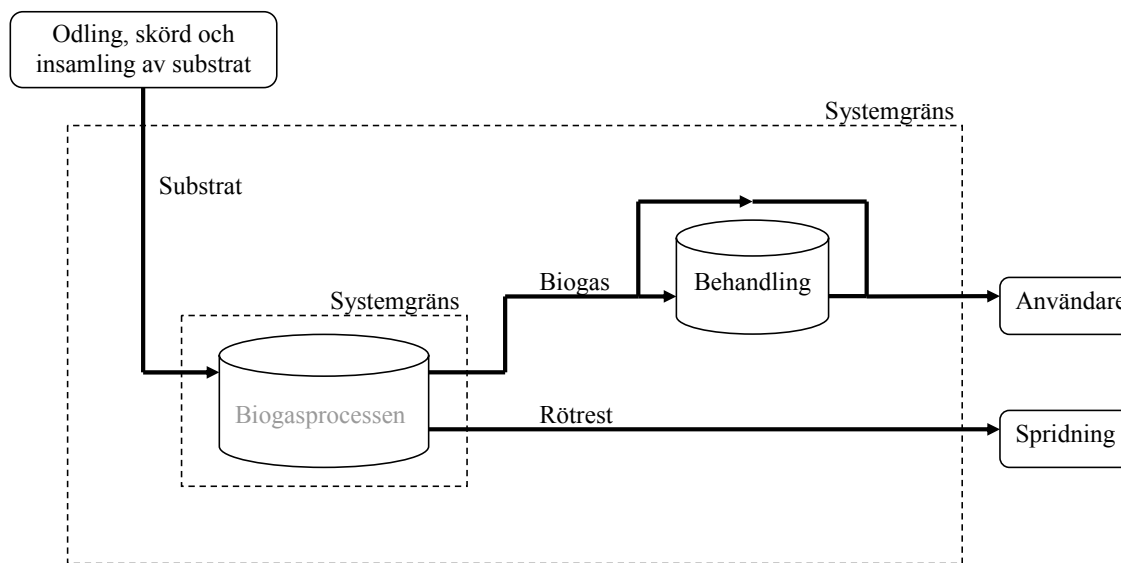
Arbetet inleddes med en litteraturstudie för att öka den allmänna kunskapen om biogas, samt för att studera förutsättningarna för gårdsbaserad biogas. Därefter inriktades arbetet på datainsamling kring olika transportalternativ och behandlingsmetoder för substrat, biogas samt rötrest. Förutom litteraturstudier gjordes ett flertal intervjuer med personer som bidrog med kunskaper från sitt specialområde. Sedan konstruerades ett beräkningsprogram som utför beräkningar av kostnader och miljöpåverkan för transporterna i ett biogassystem. En mer utförlig beskrivning av den metod som användes för att utveckla programmet finns i kapitel 5. Programmet testades sedan på ett verkligt fall – Skea gård i Hässleholms kommun, samt ett tänkt fall där samarbetsmöjligheter mellan flera gårdar studerades. Slutligen utvärderades såväl programmets funktion som de olika transporternas kostnader och emissioner.

## **1.4 Avgränsningar och antaganden**

Beräkningsprogrammet utför inte en fullständig ekonomisk kalkyl för gårdsbaserad biogas. Det ska ses som ett hjälpmedel för att studera ekonomin som förknippas med transporterna i biogassystemet. Kostnader för biogasanläggningen kommer endast att behandlas översiktligt, se systemgränserna i Figur 1. De ekonomiska beräkningarna ses utifrån biogasproducentens synvinkel, d.v.s. faktiska utgifter inklusive t.ex. skatter beräknas. Som ingående data har dels färdiga timkostnader från rådgivare inom jordbruk och åkerier använts och dels kostnader framtagna med annuitetsmetoden. Avskrivningstiden har satts till mellan 5 och 20 år beroende på förväntad teknisk livslängd och realräntan till 6 %. För beskrivning av annuitetsmetoden se Bilaga D. Att realräntan sattes till 6 % beror på att det är den vanligast förekommande räntesatsen i liknande sammanhang. Dessutom medför den inte alltför positiva kalkyler som kan bli följden vid för lågt satta räntesatser.

Liksom den ekonomiska kalkylen behandlar miljöanalysen endast transporterna och är inte en miljöanalys av hela biogassystemet. Omfattningen av miljöanalysen har begränsats till driften av transportsystemen och avser utsläppen av de vanligaste luftföroreningarna.

Beräkningsprogrammet tar inte hänsyn till variationer i rötningsprocessen som kan uppstå t.ex. vid samrötning. Med samrötning menas att olika substrat rötas tillsammans vilket kan leda till högre gasproduktion än då de rötas var för sig.



**Figur 1.** Systemgränser för studierna av ekonomi och miljöprestanda för biogassystem

## 1.5 Innehåll

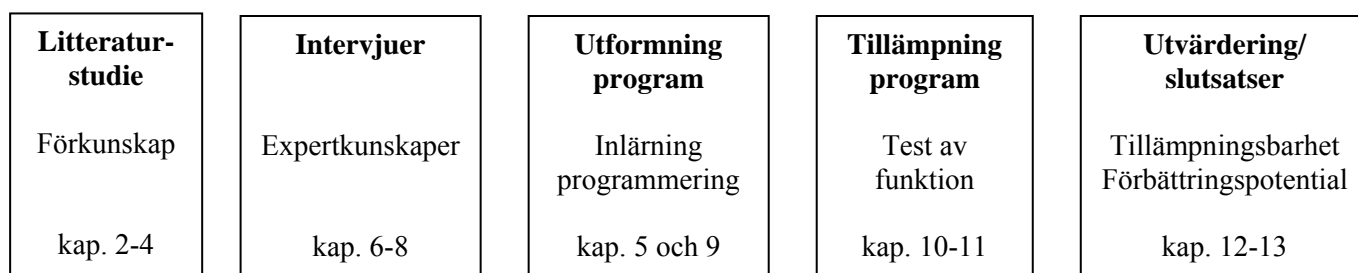
Kapitel 2 till 4 ger bakgrundsinformation om produktion och användning av biogas på gårdsnivå. I kapitel 2 ges en introduktion till gårdsbaserad biogas samt vilka avsättningsmöjligheter som finns för biogas. Kapitel 3 handlar om olika metoder att behandla biogas inför transport eller användning av gasen. En översikt av de miljöproblem som transporter i biogassystem förknippas med ges i kapitel 4.

Kapitel 5 är ett utförligare metodkapitel för framtagandet av beräkningsprogrammet. Kapitel 6 behandlar olika möjligheter för transport av substrat samt vilka kostnader och emissioner som förknippas med dessa. I kapitel 7 och 8 görs liknande genomgångar för rötrest respektive biogas. Kapitel 6, 7 och 8 ger de flesta av de tabellvärden som används i beräkningsprogrammet.

I kapitel 9 ges en genomgång av hur beräkningsprogrammet är uppbyggt och hur det ska användas. Dessutom görs en genomgång av de beräkningar som programmet utför. Kapitel 10 behandlar i sin tur en tillämpning av beräkningsprogrammet på ett verkligt fall. I kapitel 11 görs ytterligare en tillämpning av programmet, denna gång kring möjligheterna till samarbete mellan flera gårdar.

Kapitel 12 är en utvärdering av det konstruerade beräkningsprogrammet. Kapitel 13 är en diskussion om transporter i gårdsbaserade biogassystem. Här finns också de slutsatser som kunnat dras

Ett schema över arbetsgången finns i Figur 2 nedan.



→ tid

**Figur 2.** Schema för examensarbetets arbetsgång



## 2 Gårdsbaserad biogasproduktion

Biogas bildas när mikroorganismer bryter ner organiskt material i syrefria miljöer i en process som kallas rötning. Det organiska materialet, ofta kallat substrat, kan vara allt från organiskt avfall från hushåll till gödsel, skörderester och särskilda energigrödor. Biogasanläggningar på gårdsnivå har fördelen att substraten ofta är lokalt tillgängliga. Antingen finns de på den egna gården, på intilliggande gårdar eller någon annanstans i närområdet.

Den producerade biogasen består till största del av metan ( $\text{CH}_4$ ) och koldioxid ( $\text{CO}_2$ ). Biogas som inte är renad eller uppgraderad kallas ofta rågas. Det som blir kvar av det organiska materialet efter rötningen, kallat rötrest eller biogödsel, innehåller växtnäringssämnen och används som gödningsmedel.

Gårdsbaserade biogasanläggningar har generellt en gasproduktion mellan 10 och 100  $\text{Nm}^3/\text{h}$  ( $\text{Nm}^3$  utläses ”normalkubikmeter” och avser kubikmeter av en gas vid normaltillstånd, d.v.s. trycket 1,01325 bar och temperaturen 273,15 K).

Den totala biogasproduktionen i Sverige uppgick år 2001 till knappt 1,4 TWh, varav gårdsbaserad biogas utgjorde mindre än 1 % (Svenska Biogasföreningen, 2006 c).

### 2.1 Biogasprocessen

Det finns ett antal olika rötningmetoder som bland annat karaktäriseras av temperaturen i processen. Vanligast är att rötningen sker under mesofila (c:a 30-37°C) eller termofila (c:a 55-65°C) förhållanden. Ifall processtemperaturen hålls under c:a 20°C, benämns den psykofil. Generellt sett gäller att högre temperatur ger snabbare nedbrytning. (Berglund, 2006)

Ett annat sätt att kategorisera biogasprocessen är om röttkammaren kontinuerligt matas med substrat eller om rötningen sker satsvis. För en kontinuerlig process med mesofila förhållanden blir den genomsnittliga uppehållstiden ungefär 20-30 dagar. Vid satsvis rötning tillsätts allt substrat på en gång. Rötningen pågår även här 20-30 dagar varefter reaktorn töms helt och en ny sats kan påbörjas. (Berglund, 2006)

Biogas är liksom naturgas en brännbar gasblandning som till största delen utgörs av metan. Gasblandningen som erhålls vid produktionsanläggningen har en sammansättning som varierar för olika anläggningar beroende på vilka substrat som rötas. Vanligen ligger metanhalten för biogas från gårdsanläggningar runt 60 %. Rötning av enbart gödsel ger en metanhalt kring 65 %, medan rötning av endast växtmaterial ger 55 % (Lantz, 2004). Genom att blanda olika substrat (samrötning) kan högre utbyte och en större andel metan i biogasen erhållas (Svenska Biogasföreningen, 2006 a). Utöver metan består biogasen till största delen av koldioxid (c:a 40 %) samt små mängder vatten, svavelväte, vätgas, kvävgas och koloxider (Benjaminsson, 2006).

### 2.2 Produktionsanläggningen

I detta kapitel beskrivs de viktigaste delarna i en biogasanläggning.

#### 2.2.1 Röttkammare

Den största delen av biogasproduktionen sker i röttkammaren eller reaktorn som den också kallas. Det finns olika typer av röttkammare, de vanligaste beskrivs nedan.

Rötkammaren kan bestå av en *liggande ståltank* av varierande volym. Väldigt få nybyggda anläggningar är av denna typ (Nilsson, 2000).

Den vanligaste rötkammaren i biogasanläggningar som säljs i färdigt format, s.k. turn key-anläggningar, är *stående rötkammare av stål*. Anläggningen i Figur 2 nedan är ett exempel på en sådan. Själva rötkammaren är ofta en gödseltank eller spannmålssilo som anpassats för biogasproduktion. Denna typ av anläggning är flitigt använd i Danmark. (Nilsson, 2000)

En annan vanlig typ är *stående rötkammare av betong*. Syftet med denna reaktortyp är att få stor reaktorvolym till liten kostnad. Därför grundas de på befintlig eller nybyggd flytgödselbehållare. Rötkammaren är ofta belägen helt eller delvis under mark för att minska isoleringsbehovet. Det är då viktigt att använda ett isoleringsmaterial som tål väta. Det är givetvis även av största vikt att reaktorn är gastät. (Nilsson, 2000)



Hagaviks biogasanläggning. Foto: Anna Hansson.

**Figur 3.** Hagaviks biogasanläggning är ett exempel på en stående rötkammare av stål. Uppe i vänster hörn ses omröraren som är av propeller-typ (Hansson och Christensson, 2005)

### 2.2.2 Omrörare

Omrörningen av substratet i reaktorn kan ske antingen med hjälp av en propeller eller med en pump. Propellrar är dominerande eftersom de kräver mindre energi för samma omrörning.

Det finns två alternativ för omrörning med propeller. Alternativ ett är med en fritt hängande central propelleraxel där motorn placeras utanför reaktorn. Propellern drivs vanligen kontinuerligt. För att undvika att det bildas ett ytskikt används ofta två propellrar på axeln, en vid ytan och en längre ner. Propelleralternativ två är att använda en dränkbar motor som placeras inuti rötkammaren. Här är det vanligare att motorn går med hög effekt ett par gånger per dygn än att den går kontinuerligt. De båda propelleralternativen har olika för- och nackdelar. Alternativ ett har fördelen att service och underhåll underlättas av att motorn är

placerad utanför reaktorn, medan fördelen med alternativ två är lägre total energiförbrukning p.g.a. att omröraren bara går några gånger per dygn. Alternativ ett är vanligast i Sverige medan alternativ två är vanligast i Danmark. (Lantz, 2004)

### **2.2.3 Pumpar**

För att få ett jämnare inflöde till reaktorn i de fall flytande substrat används, finns ofta en pumpbrunn placerad innan reaktorn. En dränkbar skärande pump, som sönderdelar substratet, används för att pumpa upp substratet i toppen av reaktorn. Anledningen till att använda en skärande pump är att vanliga pumpar lätt sätter igen om det t.ex. finns halm i flytgödseln. Att pumpa in substratet i toppen har fördelen att ett brott på inloppsledningen inte innebär att hela tanken töms. (Lantz, 2004)

För att förflytta rötresten från röt-kammaren till rötrestlagret används antingen en pump eller ett bräddningsavlopp (Edström och Nordberg, 2004). Med hjälp av smarta rördragningar och ventilsystem kan samma pump användas för att pumpa in substrat som för att pumpa ut rötrest ur anläggningen (Andersson, 2006 b).

### **2.2.4 Rötrestlager**

Ett rötrestlager används för att lagra rötresten innan den sprids. På gårdsnivå används ofta en befintlig flytgödselbrunn som rötrestlager. Lagret bör vara gastätt för att möjliggöra uppsamling av ytterligare biogas som produceras efter att rötresten lämnat röt-kammaren. I vissa fall kan så mycket som 20 % av biogasproduktionen ske i rötrestlagret. (Lantz, 2004)

### **2.2.5 Gaslager**

För att ha möjlighet att lagra biogas innan den används eller transporteras används gaslager. Det finns både lågtrycks- och högtryckslager. Lågtryckslager är oftast integrerat i röt-kammaren eller rötrestlagret, men kan också vara en självständig enhet. Lagervolymer brukar motsvara ett dygns biogasproduktion (Edström och Nordberg, 2004). Högtryckslager kan bestå av ett större antal tryckkärl med liten volym (typ gasflaskor) eller ett mindre antal tryckkärl av större volym. Det mest kostnadseffektiva och samtidigt minst utrymmeskrävande är att använda ett större antal sammankopplade gasflaskor (Kättström och Serti, 2002). Högtryckslager är normalt sett inte aktuellt på gårdsnivå.

### **2.2.6 Kostnad biogasanläggning**

Kostnaden för framställning av biogas på en gårdsanläggning kan delas upp i fasta och rörliga poster. De fasta utgifterna utgörs av kapitalkostnader, vilka i sin tur beror av storleken på grundinvesteringen, samt räntan och vilken livslängd anläggningen förväntas ha. Storleken på investeringen för de svenska anläggningarna varierar väldigt mycket. Variationerna beror på att de uppförda anläggningarna haft väldigt olika förutsättningar. Vissa är konstruerade i undervisningssyfte och därmed inte för maximal gasproduktion per investerad krona. Investeringen per reaktorvolym (och därigenom den potentiella gasproduktionen) kan generellt sägas avta med ökande reaktorstorlek (Lantz, 2006).

För att illustrera investeringskostnaden för en gårdsbaserad biogasanläggning används Hagavik utanför Malmö som kalkylexempel. Den är lämplig som exempel eftersom den är uppförd nyligen (år 2003) och dessutom inte är byggd i undervisningssyfte. Röt-kammarens totala volym är 500 m<sup>3</sup>. Den effektiva röt-kammarens volym, d.v.s. så stor volym substrat som kan rötas åt gången, antas vara 450 m<sup>3</sup> (90 %). Den totala investeringen för den kompletta biogasanläggningen är 2,6 Mkr (Edström et al, 2005). Med 15 års avskrivningstid, 6 %

realränta och investeringskostnaden 5200 kr/m<sup>3</sup> reaktor fås en årlig kapitalkostnad på 535 kr/m<sup>3</sup> reaktor.

## **2.3 Avsättningsmöjligheter för biogas**

Biogasens olika avsättningsmöjligheter redovisas nedan.

### **2.3.1 Värme**

Den idag vanligaste användningen av gårdsproducerad biogas är förbränning med ändamålet att producera värme. Tekniken är enkel och väl beprövad samtidigt som det normalt inte krävs någon förbehandling av gasen annat än den dränering som redan finns i biogasanläggningen. (Persson, 2003)

En nackdel med att använda biogas för värmeproduktion är att värmebehovet och biogasproduktionen inte matchar varandra. Värmebehovet är högt på vintern och lågt på sommaren medan biogasproduktionen är relativt konstant över året. Detta får till följd att det antingen finns för lite biogas på vintern eller för mycket på sommaren, eller både och.

### **2.3.2 Kraftvärme**

En avsättningsmöjlighet för den producerade biogasen är kombinerad el- och värmeproduktion, s.k. kraftvärme. Eftersom värmen i avgaserna från elproduktionen tas till vara kan en total verkningsgrad över 90 % uppnås, fördelat på 30 % el och 60 % värme (Lantz, 2004). Vid enbart elproduktion utan tillvaratagande av värmen nås en verkningsgrad kring 30 % (Brolin och Andersson, 2003). Ifall biogasen ska utnyttjas för kraftvärmeproduktion måste den avvattnas för att minska slitaget på anläggningen (Svensson, 2006).

Det troligaste scenariot vid kraftvärmeproduktion är att el- och värmeproduktionen är konstant över året. Detta innebär att delar av den producerade värmen måste kylas bort under de delar av året som värmebehovet är lågt (Lantz, 2006). Ifall avsättningsmöjligheterna för den producerade värmen sett över året är goda finns bra förutsättningar för att få god ekonomi med en kraftvärmeanläggning. I effektintervall passande för gårdsanläggningar finns alternativen gasmotorer, stirlingmotorer och gasturbiner (Lantz, 2004).

Lantz (2004) utvärderar teknik och ekonomi för att producera kraftvärme på gårdsnivå. Ottomotorer med eleffekten 5,3 kW till 100 kW jämförs med stirlingmotorer på 7,3 kW och 55 kW samt gasturbiner på 28 kW och 98 kW. Resultatet blev att bäst ekonomi ges med gasmotor i hela intervallet förutom runt 50 kW där stirlingmotorn gav bättre ekonomi. Författaren poängterar dock att hänsyn bara tagits till ekonomi och inte andra faktorer som exempelvis miljöprestanda, vilket kan vara en viktig faktor vid en satsning på kraftvärme med biogas. (Lantz, 2004)

### **2.3.3 Fordonsbränsle**

Biogas kan även användas som fordonsbränsle. I så fall måste biogasen renas från vatten, korrosiva komponenter och partiklar. Härefter återstår avskiljning av koldioxid för att gasen ska kunna användas som fordonsbränsle. Vid avskiljning av koldioxid, s.k. uppgradering, höjs värmeverdet för biogasen. Den uppgraderade biogasen uppfyller den svenska standarden för fordonsgas (precis som naturgas gör) och kan därför säljas som fordonsbränsle. (Persson, 2003)



För biogas som uppgraderas till fordonskvalitet finns två standarder (A och B) vilka redovisas i Tabell 1. Skillnaden mellan standard A och standard B är den att den sistnämnda inte ställer lika höga krav på vissa värden eftersom den är ämnad att användas i bilar med lambdareglering. Med lambdareglering optimeras förhållandet mellan bränsle och luft i förbränningen för att minimera de skadliga utsläppen. I regel har alla fordon lambdareglering utom äldre lastbilar. Trots de olika standarderna uppgraderas i regel gasen enligt standard A för att kunna erbjuda gas åt alla vid samtliga tankställen. (Benjaminsson, 2006)

**Tabell 1.** Svensk standard för biogas som fordonsbränsle, SS 15 54 38. (Benjaminsson, 2006)

Komponent	Enhet	Standard A	Standard B
Metan	vol-%	96-98	95-99
Vatten	mg/Nm <sup>3</sup>	< 32	< 32
Syrgas	vol-%	< 1	< 1
Partiklar, maxstorlek	µm	1	1
Totalt kväve (exkl. N <sub>2</sub> ) räknat som NH <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	20	20
Koldioxid + syrgas + kvävgas	vol-%	4	5
Totalsvavel	mg/Nm <sup>3</sup>	< 23	< 23

### 2.3.4 Leverans till naturgasnätet

Utöver ovan nämnda avsättningsmöjligheter kan biogasen också levereras till naturgasnätet. För att distribuera gasen med naturgasnätet krävs att gasen behandlas, eftersom den annars inte har samma förbränningsegenskaper som naturgas. Det krävs att vattenhalten sänks och korrosiva komponenter avlägsnas. Dessutom måste energivärdet höjas genom avskiljning av koldioxid, så att biogasen ska kunna ersätta naturgas hos slutanvändaren (Wågdaahl, 1999).

Wobbeindex är ett mått på energitätheten i gaser och används för att bestämma om en gas kan ersätta en annan (Näslund, 2003). För den naturgas som distribueras i Sverige är wobbeindex c:a 54,8 MJ/Nm<sup>3</sup>. Motsvarande värde för uppgraderad biogas (97 % metan) är 50,6 MJ/Nm<sup>3</sup>, varför injektion av denna i naturgasnätet kommer leda till en sänkning av energitätheten för den levererade gasblandningen. Den uppgraderade biogasen kan därför blandas med t.ex. propan för att uppnå samma wobbeindex som naturgasen (Wågdaahl, 1999).

## 2.4 Användning av rötrest

Det som blir kvar av substraten efter att de rötats i biogasanläggningen kallas rötrest eller biogödsel. Rötresten används som ersättning för gödsel eller konstgödsel inom jordbruket och har flera fördelar gentemot orötad gödsel. En av dessa är att en större andel av kvävet är i form av ammonium, som är mer tillgängligt för grödorna. Detta ger bättre odlingsresultat samtidigt som näringsläckaget minskar. Vidare gör rötningen att andelen grobara ogräsfröer minskar, och därmed minskar även behovet av besprutning av grödorna. Halten av en rad patogener, d.v.s. sjukdomsalstrande mikroorganismer, minskar också under rötningen. En annan fördel är att kol-/kväveknoten i rötresten kan styras genom vilka substrat som rötas i anläggningen. På så sätt kan rötresten designas för att få den näringssammansättning som önskas. Ytterligare en fördel är att rötresten med få undantag kan användas i ekologisk odling, där konstgödsel normalt inte är tillåtet. En sista fördel, som kan vara nog så viktig, är att rötresten luktar avsevärt mindre än gödsel vid hantering och spridning på åkern. (Hansson och Christensson, 2006)

En nackdel med rötrest i förhållande till handelsgödsel är att hanteringen vid transport och spridning är mer kostsam. Detta beror på att rötresten innehåller mycket vatten och att näringen inte är lika koncentrerad som i handelsgödseln. (Christensson, 2006)

Ur miljösynpunkt är rötrest överlägset både gödsel och handelsgödsel, inte minst vad gäller utsläpp av växthusgaser. Rötning av gödsel istället för traditionell lagring innebär att utsläppen av framför allt metan, som är en stark växthusgas, minskar kraftigt (Hansson och Christensson, 2006). Handelsgödseln bidrar till växthuseffekten genom att den framställs i energikrävande processer, som ofta drivs med fossila bränslen (Erneskog, 2005).

Att bestämma värdet på rötresten är svårt. Ett sätt är att räkna hur mycket handelsgödsel som kan ersättas av rötresten. Ett annat sätt, framför allt inom ekologisk odling, är att se hur mycket avkastningen på skörden ökar när rötrest ersätter vanlig gödsel.

### 3 Behandling av biogas

Beroende på vilken den tänkta avsättningen är för biogasen varierar kravet på gasens kvalitet. Som nämnts under avsnitt 2.3, kräver värmeproduktion ingen förbehandling alls medan kraftvärmeproduktion kräver att vatten avskiljs. Även inför transport kan gasen behöva behandlas.

Vilka ämnen som finns i biogasen förutom metan och koldioxid beror på vilka substrat som rötas. På gårdsanläggningar handlar det i princip bara om vatten och i vissa fall svavelväte.

#### 3.1 Avskiljning av svavelväte

Svavelväte är korrosivt mot de flesta metaller. Egenskapen förstärks med ökad koncentration, temperatur, tryck och vattenhalt i gasen (Persson, 2003). Genom att reducera mängden svavelväte minskar också lukt och miljöpåverkan vid eventuella utsläpp av biogasen (Wågdaahl, 1999). Som tidigare nämnts minskar också utsläppen av SO<sub>x</sub> vid förbränning genom en lägre halt av svavelväte i den eldade gasen (Persson, 2003).

Svavelväte blir bara nödvändigt att avskilja då halten överstiger den maximalt tillåtna i fordonsgas, d.v.s. 23 mg/Nm<sup>3</sup> (Johansson, 2006 a). Svavelväte bildas framför allt vid rötning av slakteriavfall och gödsel från svin (Lantz, 2006). Dess korrosiva inverkan blir problematisk främst vid högt tryck. Rening är därför aktuellt i vissa fall när biogasen ska transporteras eller uppgraderas.

Vilken reningsteknik som är att föredra beror på den tänkta avsättningen för biogasen. I vissa typer av reningsanläggningar tillförs luft för att oxidera svavelvätet. Genom tillsats av luft införs utöver syre också kväve. Kvävet är i sin tur svårt att rena bort, vilket leder till att dessa metoder inte är lämpliga ifall biogasen senare ska uppgraderas till fordonskvalitet.

##### 3.1.1 Intern reduktion av svavel genom fällning med metalljoner

Med denna metod tillförs järnklorid direkt i röt-kammaren. Svavelväte reagerar med järnjonerna och bildar järnsalter vilka faller ut och transporteras ut ur röt-kammaren med rötresten. Metoden kräver små investeringar, men det är svårt att dosera mängden järnklorid. Konstant överdosering tillämpas för att säkert nå tillräckligt låga halter svavelväte. Med denna metod kan halten svavelväte sänkas till c:a 80 mg/Nm<sup>3</sup>, alltså inte tillräckligt lågt för att uppfylla kraven för fordonsgas. (Wågdaahl, 1999)

Genom att halten svavelväte i röt-kammaren minskar gynnas biogasproduktionen eftersom svavelväte hämmar röttningsprocessen. (Dahl, 2003)

Vid rötning av substrat som medför höga halter av svavelväte, exempelvis substrat med högt proteininnehåll (typiskt slakteriavfall), är metoden kostsam (Hagen, 2001).

##### 3.1.2 Reaktion med metalloxider i kemiska filter

En metod för att reducera mängden svavelväte i biogasen är kemisk absorption. Metoden baseras vanligen på att gasen leds genom en kolonn packad med en metalloxid eller en mix av olika metalloxider, vilka absorberar svavel. Vanligen används järnoxider. En kommersiell produkt av denna typ av kolonnmaterial säljs under namnet *SulfaTreat*<sup>®</sup>. Med tiden mätas kolonnmaterialiet och reningseffekten avtar. Kolonnmaterialiet måste då bytas ut. Med denna metod blir svavelhalten 1,5 mg/Nm<sup>3</sup> efter rening. (Hagen 2001; Dahl, 2003)

### 3.1.3 Biologisk rening

Ett biologiskt filter är en behållare innehållande en vätska och ett bärmaterial på vilket svaveloxiderande bakterier växer. Genom att leda biogasen genom filtret tillsammans med luft (5 – 10 %) oxideras svavelvätet till elementärt svavel. Svavlet fälls ut i vätskan vilken recirkuleras över filtret. Svavelhalten kan med biologiska filter reduceras till c:a 40 mg/Nm<sup>3</sup> och tekniken är väl är en beprövad, framför allt p.g.a. lägre kostnader än kemiska filter. I biologiska filter avskiljs också eventuell förekomst av ammoniak. (Hagen, 2001)

Att luft tillförs processen medför att gasen efteråt kommer att innehålla kväve. För att undvika detta kan syrgas tillsättas istället för luft. (Wågdahl, 1999)

### 3.1.4 Adsorption på aktivt kol

Halten svavelväte i biogasen kan också reduceras med hjälp av aktivt kol. Även vid denna metod leds gasen genom en behållare tillsammans med luft. I behållaren finns aktivt kol vilket fungerar som en katalysator för oxideringen. Svavelvätet oxideras till elementärt svavel som fälls ut på det aktiva kolet samtidigt som vattenånga bildas. Eftersom svavlet adsorberas på kolet måste detta med tiden bytas ut, alternativt regenereras. För att påskynda reaktionen, kan det aktiva kolet impregneras med kaliumjodid eller svavelsyra. Även med denna metod förorenas gasen med kväve eftersom luft tillsätts. Med denna metod blir svavelhalten 1,5 mg/Nm<sup>3</sup> efter rening. (Hagen, 2001)

### 3.1.5 Kostnad för avsvavling

I litteraturen finns inte kostnader för alla ovanstående metoder för svavelrening att tillgå och inte heller för gasflöden under 50 Nm<sup>3</sup>/h. Kostnaderna för rening av rågasflöden på 50 och 100 Nm<sup>3</sup>/h med olika reningstekniker redovisas i Tabell 2 nedan.

Tabell 2. Kostnaden för avsvavling av biogas med olika metoder. (Hornbachner et al, 2005)

Gasflöde (Nm <sup>3</sup> /h)	50		100		Svavelhalt efter rening (mg/Nm <sup>3</sup> )
	(kr/Nm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	(kr/kWh) <sup>2</sup>	(kr/Nm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	(kr/kWh) <sup>2</sup>	
Adsorption med metalloxid	0,38	0,064	0,25	0,042	1,5
Adsorption med aktivt kol	0,15	0,025	0,08	0,013	1,5

<sup>1</sup> Kostnadsuppgifterna är i källan angivna i euro, 1 euro = 9,40 kr (Forex, 2006)

<sup>2</sup> Avser rågas med energiinnehållet 5,98 kWh/Nm<sup>3</sup> (GasKalkyl 1.3, 2006)

## 3.2 Avskiljning av vatten

Temperaturen på biogasen när den lämnar av röt-kammaren är c:a 35°C. Vid denna temperatur innehåller gasen ungefär 5 % vattenånga (Hagen, 2001). Sänkt temperatur eller höjt tryck kan innebära att vatten fälls ut. Utfällt vatten kan tillsammans med svavelväte och koldioxid bilda korrosiva syror. Dränering av utfällt vatten från biogasen är därför vanligt för att undvika slitage på anläggningen. Om biogasen ska trycksättas kan det vara nödvändigt att sänka vattenhalten ytterligare.

### 3.2.1 Kondensering

Daggpunkten för en gasblandning, d.v.s. när vatten börjar fällas ut, beror av temperatur och tryck. Genom att aktivt kyla gasen kan vatten fällas ut och ledas bort med en sänkt daggpunkt som resultat (Wågdahl, 1999). Med denna metod kan daggpunkten i rågas sänkas till 0,5 - 1°C. För att sänka daggpunkten ytterligare komprimeras rågasen innan den kyls. (Hagen, 2001)

### 3.2.2 Adsorption

En metod för torkning av gaser är att låta vattnet adsorberas av något material, exempelvis kiselgel, aluminiumoxid eller magnesiumoxid. Torkmaterialet packas i reaktorer som kan regenereras. Denna typ av reaktor används ofta i par. Medan en reaktor torkar gasen regenereras den andra. (Hagen, 2001)

Regenereringen kan utföras på två sätt. En variant är att leda en liten del (3 – 8 %) av den torkade gasen genom reaktorn. Denna regenereringsmetod används bara då torkningen sker vid förhöjt tryck. Om torkningen utförs vid atmosfärstryck används istället luft som tillsätts med hjälp av en vakuumpump. Även med denna reningsmetod tillförs kväve och metoden är därför inte lämplig om biogasen ska uppgraderas till fordonskvalitet. (Hagen, 2001)

### 3.2.3 Absorption

Biogasen kan också torkas genom att låta vattnet absorberas av ett hyroskopiskt salt eller glykol. Vanligen består torkutrustningen av en reaktortank packad med saltgranulat. Gasen matas i botten av tanken varvid vattnet absorberas i saltet. Det absorberade vattnet övergår i saltet till vätska och kan därmed tappas ut genom en ventil i botten av behållaren. Med denna metod finns ingen möjlighet till regenerering av saltet eftersom det löses i vattnet. Istället tillsätts nytt salt allt eftersom det förbrukas. (Hagen, 2001)

### 3.2.4 Kostnad för avvattning

Precis som vid avskiljningen av svavel är tillgången på uppgifter för små anläggningar knapphändiga. De kostnadsuppgifter som lokaliserats är för avskiljning av vatten genom kondensering, vilka redovisas i Tabell 3 nedan.

Tabell 3. Kostnad för avfuktning av biogas. (Hornbacher et al, 2005)

Gasflöde (Nm <sup>3</sup> /h)	50		100	
	(kr/Nm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	(kr/kWh) <sup>2</sup>	(kr/Nm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	(kr/kWh) <sup>2</sup>
Kondensering	0,28	0,047	0,19	0,032

<sup>1</sup> Kostnadsuppgifterna är i källan angivna i euro, 1 euro = 9,40 kr (Forex, 2006)

<sup>2</sup> Avser rågas med energiinnehållet 5,98 kWh/Nm<sup>3</sup> (GasKalkyl 1.3, 2006)

## 3.3 Uppgradering

Idag finns det flera tillgängliga tekniker för att uppgradera biogas till fordonskvalitet. I denna rapport beskrivs vattenskrubber (absorption med vatten), Pressure Swing Adsorption (PSA) samt uppgradering med kryoteknik.

### 3.3.1 Vattenskrubber

Absorption med vatten är den vanligaste uppgraderingstekniken i Sverige. Den bygger på att löslighet i vatten är högre för koldioxid än för metan. Särskilt stor är skillnaden under förhöjt tryck och vid låg temperatur. Processen går ut på att delvis torkad och trycksatt rågas leds in i botten av ett absorptionstorn fyllt med fyllkroppar vars uppgift är att maximera överföringsytan mellan gas och vätska. Samtidigt pumpas vatten in i toppen så att de båda strömmarna möts i absorptionstornet. Den utgående gasen innehåller nästan ingen koldioxid. Däremot innehåller det utgående vattnet förutom koldioxid också en del löst metan. Vattnet leds därför till en s.k. flash-tank där trycket sänks något så att löst metan kan avskiljas och återföras till rågasflödet. (Dahl, 2003)

### 3.3.2 Pressure Swing Adsorption (PSA)

PSA-processen bygger på att koldioxid fastnar på aktivt kol under högt tryck och lossnar när trycket sjunker. Anläggningen består i praktiken av fyra kolonner fyllda med adsorptionsmaterialet aktivt kol. Kolonnerna arbetar växelvis i de fyra faserna adsorption, trycksänkning, desorption och uppbyggande av tryck. Vid adsorptionen förs biogasen in längst ned i kolonnen. På sin väg uppåt adsorberas koldioxid av kolet medan metan passerar förbi. När det aktiva kolet är mättat sänks trycket igen i flera steg till nära vakuum. Metan som adsorberats tillsammans med koldioxiden återförs till viss del under regenereringsprocessen, men den gas som släpps ut efter sista trycksänkningen innehåller trots detta lite metan. (Persson, 2003)

För att PSA ska fungera väl krävs att svavelväte och vatten avskiljs tidigare i ett separat steg, eftersom adsorptionsförmågan hos aktivt kol annars försämras. (RVF Utveckling, 2005)

### 3.3.3 Kryoteknik

Biogas kan också uppgraderas genom kraftig nedkylning, s.k. kryoteknik. Genom att trycksätta biogasen och sedan kyla den till  $-85^{\circ}\text{C}$  kondenserar koldioxiden i gasen. Under nedkylningen har även vatten, svavelväte och andra föroreningar avskiljts efter hand.

Processen kan drivas ett steg längre genom att temperaturen sänks ytterligare. Vid  $-161^{\circ}\text{C}$  övergår även metanen i flytande form, och biogasbaserad LNG (Liquefied Natural Gas) erhålls. Det finns två anläggningar i Nordamerika som använder sig av denna metod för att producera LNG ur deponigas (Pettersson et al, 2006; Barclay, 2006). En anledning till att vilja ha biogasen i form av LNG är för att effektivisera transporten av biogasen.

### 3.3.4 Kostnad för uppgradering

Vid uppgradering finns stora skalfördelar, vilket innebär att det relativt sett blir billigare för en större anläggning. De flesta tekniker är dåligt anpassade till det låga gasflödet som är aktuellt för gårdsbaserade biogasanläggningar. Därför är kostnaden för att uppgradera biogasen väsentligt mycket högre än för storskaliga uppgraderingsanläggningar.

Kostnaden för uppgradering av rågasflöden i intervallet 10-100  $\text{Nm}^3/\text{h}$  har beaktats. På så sätt täcks ett brett spektrum av gårdsbaserade biogasanläggningar in. Uppgraderingen ska ske till fordonskvalitet och förutom koldioxid ska då även vatten och svavelväte avskiljas.

Utgångspunkten har varit data för en vattenskrubber som marknadsförs av företaget BIOREGA AB anpassad för rågasflödet 12  $\text{Nm}^3/\text{h}$ , samt en sammanställning av data för olika vattenskrubbar och PSA-anläggningar i storleksordningen 100  $\text{Nm}^3/\text{h}$ . Tyvärr har inga uppgraderingskostnader för anläggningar som ligger mellan 12 och 100  $\text{Nm}^3/\text{h}$  påträffats. Se sammanställningen i Tabell 4 nedan.

Tabell 4. Uppgraderingskostnad för biogas

Rågasflöde ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )	12 <sup>1</sup>	100 <sup>2</sup>
	(kr/ $\text{Nm}^3$ )	(kr/ $\text{Nm}^3$ )
	(kr/kWh)	(kr/kWh)
	2,70	1,73
	0,45	0,29

<sup>1</sup> Benjaminsson, 2006. Uppgraderingskostnad med vattenskrubber från BIOREGA

<sup>2</sup> Persson, 2003. Sammanställning av uppgraderingskostnad vid flödet 100  $\text{Nm}^3/\text{h}$

I uppgraderingskostnaden ingår kapitalkostnad samt drift- och underhållskostnad. Kapitalkostnaden är beräknad enligt annuitetsmetoden med kalkylräntan 6 % och

avskrivningstiden 15 år. Benjaminsson (2006) har angett energiåtgången för uppgradering till 0,5 kWh el per Nm<sup>3</sup> uppgraderad gas. Någon motsvarande siffra finns inte i Persson (2003). Enligt Sandell (2006) är energiåtgången för en anläggning med rågasflödet 100 Nm<sup>3</sup>/h ungefär 0,5 kWh el per Nm<sup>3</sup> uppgraderad gas, d.v.s. samma som för den mindre anläggningen. Med utgångspunkt från detta antas energiåtgången vid uppgradering vara i princip samma för anläggningar inom det studerade intervallet.





## 4 Miljöpåverkan av emissioner från transporter i gårdsbaserade biogassystem

Flera av vår tids stora miljöproblem har direkta kopplingar till transporter. Nedan följer en kort beskrivning av de huvudsakliga miljökonsekvenserna och de vanligaste utsläppen.

### 4.1 Växthuseffekt

Växthuseffekten är det idag kanske mest uppmärksammade miljöproblemet. Till följd av framför allt förbränning av fossila bränslen ökar koncentrationen av koldioxid och andra växthusgaser i atmosfären. Dessa gaser absorberar värme i atmosfären som jorden strålar ut. Därefter strålas en del av denna värme, som annars bara skulle ha försvunnit ut i universum, tillbaka. Effekten av en ökad koncentration av växthusgaser i atmosfären är en ökad andel återstrålad värme. Stora utsläpp av växthusgaser leder till förändringar av det globala klimatet, vilket kan komma att få förödande konsekvenser. Det förutspås att dagens och den förväntade framtida fossilbränsleanvändning på sikt kommer att leda till höjda vattennivåer, än värre torka i områden som redan är drabbade av svår torka och att naturkatastrofer ska förekomma oftare. (Naturvårdsverket, 2006 d)

Utsläpp av följande ämnen bidrar till växthuseffekten: koldioxid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), lustgas (N<sub>2</sub>O), kolmonoxid (CO), kväveoxider (NO<sub>x</sub>) och oförbrända kolväten (HC). För att det ska vara möjligt att jämföra effekten av utsläpp av de olika ämnena räknas de vanligen om i koldioxidekvivalenter (Börjesson och Berglund, 2003; Statens Energimyndighet, 2002). I Tabell 5 nedan finns omräkningsfaktorerna angivna.

**Tabell 5.** Potentiell effekt för olika luftemissioner (Rydh et al, 2002)

Emission	Växthuseffekt (CO <sub>2</sub> -ekv)	Försurning (SO <sub>2</sub> -ekv)	Övergödning (PO <sub>4</sub> -ekv)
CO <sub>2</sub>	1	0	0
NO <sub>x</sub>	7	0,696	0,13
SO <sub>2</sub>	0	1	0
CO	3	0	0
HC	11	0	0
CH <sub>4</sub>	21	0	0
Partiklar	0	0	0

### 4.2 Försurning

Försurning innebär att pH i mark och vatten sänks till följd av utsläpp av syror eller syrabildande föreningar. Detta medför en förändring av näringsbalanser i mark och vatten genom att marken urlakas på näringsämnen. En rubbning av näringsämnesbalansen medför att antalet och sammansättningen av djur och växtarter förändras eller minskar. Vid sänkningar till pH kring 6 påverkas känsliga snäckor och kräftdjur. Vid lägre pH-halter kan känsliga fiskar försvinna, kring pH 4,5 påträffas sjöar som är helt tomma på fisk. Fiskarna dör av att aluminium faller ut i vatten vid försurning och uppnår dödliga halter. (Naturvårdsverket, 2006 e; Svenska Naturskyddsföreningen, 2006)

Kväveoxider (NO<sub>x</sub>) och svaveloxider (SO<sub>x</sub>) är de transportrelaterade emissioner som bidrar till försurning. För att göra utsläppen jämförbara räknas de vanligen om i svaveldioxidekvivalenter (Börjesson och Berglund, 2003; Statens Energimyndighet, 2002). Omräkningsfaktorerna anges i Tabell 5.

### **4.3 Övergödning**

Övergödning innebär att koncentrationen av kväve och fosfor i mark och vatten ökar till följd av utsläpp. Dessa utsläpp härrör framför allt från användning av konstgödsel i jordbruket, men utsläppen av kväveföreningar kan även härledas från transporter. På land blir följden att växtligheten förändras, arter som anpassats till näringsfattiga marker trängs undan av nya arter. Övergödning leder till igenväxta vattendrag med syrebrist som följd. I haven leder det till algblomning, vilken påverkar artsammansättningen eller i svåra fall till att havsbottnar dör. En del alger är giftproducerande vid blomningen vilket inverkar på människor och djurs hälsa. (Naturvårdsverket, 2006 a; Naturvårdsverket, 2006 e)

Av de transportrelaterade emissionerna bidrar endast kväveoxider (NO<sub>x</sub>) till övergödning. Vid jämförelser med andra utsläpp med övergödande effekt, räknas de vanligen om i fosfatekvivalenter (Börjesson och Berglund, 2003; Statens Energimyndighet, 2002). Omräkningsfaktorn finns i Tabell 5 ovan.

### **4.4 Utsläpp av partiklar**

Av luftföroreningarna är det partiklar som ger allvarligast påverkan på människors hälsa. Höga halter påverkar lungfunktionen och utvecklingen av lungorna. Vanligen är det i tätorter som halten partiklar uppnår ohälsosamma nivåer. I Sverige leder förhöjda halter av partiklar till uppskattningsvis 5 000 för tidiga dödsfall per år. Utsläppen härstammar bl.a. från användning och produktion av energi samt driften av olika arbetsmaskiner. (Naturvårdsverket, 2006 b; Naturvårdsverket, 2006 c)

Med partiklar menas ämnen i fast form i storleksintervallet c:a 1-100 µm. Det finns inget behov av omräkningsfaktorer för partiklar (Börjesson och Berglund, 2003; Statens Energimyndighet, 2002).

## 5 Utgångspunkter för beräkningsprogrammet

Syftet med detta examensarbete är att utveckla och testa ett beräkningsprogram för transporter i gårdsbaserade biogassystem. Programmet ska beräkna kostnader och emissioner för olika transportsätt för substrat, rötrest och biogas. Vidare ska en ungefärlig kostnad för produktionen av biogas tas fram för att underlätta att sätta in transportkostnaderna i ett sammanhang.

Programmet riktar sig till personer som är intresserade av biogasproduktion på gårdsnivå. Det är tänkt att användas som ett verktyg för att på ett enkelt sätt få en överblick över framför allt kostnaderna för transport av substrat, rötrest och biogas. Även en ungefärlig produktionskostnad för biogasen beräknas. Det är lämpligt att använda programmet som ett första test innan noggrannare och mer specifika ekonomiska kalkyler används. Programmet är alltså inte en fullständig ekonomisk kalkyl över biogasproduktion på gårdsnivå.

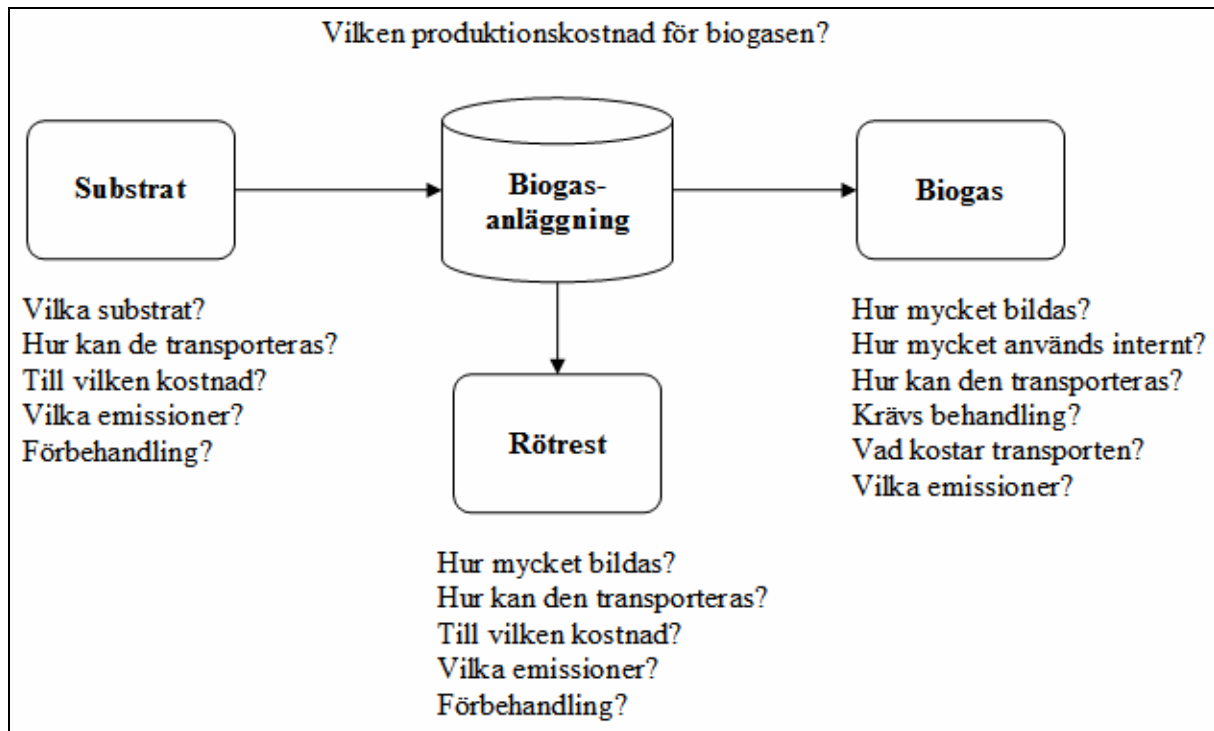
Strävan har varit att ge beräkningsprogrammet tre egenskaper. Programmet ska vara:

1. *Generellt*. Programmet ska gå att använda för gårdsbaserade biogasanläggningar med olika förutsättningar och inte gälla för endast *en* specifik anläggning eller under vissa specifika förhållanden.
2. *Transparent*. Det ska gå att följa de olika beräkningsstegen (i rapporten), se vilka tabellvärden som används samt hur de tagits fram.
3. *Flexibelt*. Tabellvärdena ska på ett enkelt sätt kunna ändras för att öka noggrannheten och även öka användbarheten för programmet. Exempel på tabellvärden som kan vara aktuella att ändra är metanutbyte för substraten, timkostnad för traktor eller lastbil, kostnad för att lägga gasledning eller elpriset.

Strategin vid konstruerandet av beräkningsprogrammet var först och främst en omfattande datainsamling. Denna inriktades på att besvara en mängd frågor, se Figur 4 nedan. Detta arbete upptog större delen av tiden för examensarbetet.

Efter litteraturstudier om gårdsbaserad biogas bestämdes vilka substrat som skulle finnas med i programmet. Kriterierna var att det skulle finnas data för genomsnittlig torrsubstanshalt och biogasproduktion per ton substrat, samt att det skulle vara substrat som är rimliga att röta i en gårdsanläggning. Genom att fråga personer med praktisk erfarenhet av transporter inom lantbruket bestämdes på vilka sätt de utvalda substraten kan transporteras. Med hjälp av bearbetade siffror från åkerier samt från rådgivare inom lantbruket beräknades vad de olika transportsätten skulle innebära för kostnader. Hur stora emissioner de olika transportsätten ger upphov till beräknades med utgångspunkt från existerande emissionsdata för de aktuella fordonen och för elproduktion i Sverige. Ett resonemang om förbehandling av substrat för att effektivisera transporten fördes med kunniga inom området.

Litteraturstudier visade hur mycket rötrest som bildas utifrån en viss mängd substrat. Möjliga transportsätt för rötresten bestämdes efter litteraturstudier och samtal med personer i biogasbranschen. Eftersom alla transportsätten för rötrest redan fanns representerade som transportsätt för substrat behövdes inga nya uppgifter om kostnader och emissioner beräknas. Även här fördes ett resonemang om effektivisering av transporten genom förbehandling av rötresten med kunniga inom området.



**Figur 4.** Frågor att besvara vid konstruerandet av beräkningsprogrammet

Som tidigare nämnts togs data för vilken biogasproduktion de olika substraten ger upphov till fram genom litteraturstudier. Information om hur mycket av biogasen som typiskt används internt för uppvärmning av biogasanläggningen togs fram på samma sätt. För att kunna besvara frågan om hur biogasen kan transporteras gjordes litteraturstudier som kompletterades med kontakter med experter inom gastransport. Vilken förbehandling som krävs för de olika transportsätten samt kostnaden för denna bestämdes också genom en kombination av personkontakter och litteraturstudier. Kostnader för transportsätten bestämdes med egna beräkningar utifrån framtagna data om investeringskostnader, driftskostnader m.m. Hur stora emissioner de olika transportsätten ger upphov till beräknades som tidigare för transport av substrat och rötrest med utgångspunkt från emissionsdata för fordon och för produktion av el i Sverige.

Metod för beräkning av produktionskostnad för biogasen bestämdes efter litteraturstudier.

Under tiden datainsamlingen pågick påbörjades även programmeringsarbetet. Eftersom det programmeringsverktyg som användes, Microsoft Visual Basic, inte behärskades sedan tidigare krävdes inläsning samt en hel del "trial and error" innan produkten stod klar. På så sätt utvecklades programmet från att i början varit väldigt enkelt och med små valmöjligheter till att bli mer avancerat och erbjuda större valmöjligheter. Det finns möjligheter att utveckla användarvänligheten ytterligare vid fortsatta studier.

## 6 Transport av substrat

Detta kapitel innehåller en beskrivning av substrattransport samt framtagning av de data som sedan används i beräkningsprogrammet.

De substrat som valts ut för studien redovisas i Tabell 6 nedan. Där finns även ett genomsnittligt värde för hur torrt substratet är, d.v.s. dess torrsubstanshalt eller TS-halt. Vidare visar tabellen hur stor metanproduktion substraten i genomsnitt ger upphov till. Dessa båda parametrar kan variera från fall till fall utifrån förutsättningarna på varje anläggning. Det kan vara värt att notera att det finns ett samband mellan hög TS-halt och hög metanproduktion per ton substrat. Detta är en logisk följd av att det är det organiska (d.v.s. torra) materialet i substraten som bidrar till metanproduktion.

**Tabell 6.** TS-halt och metanutbyte, genomsnitt för valda substrat. (Berglund och Börjesson, 2003)

<b>Substrat</b>	<b>TS-halt (%)</b>	<b>Metanutbyte (Nm<sup>3</sup>/ton)</b>
Ensilage	35	112
Fårgödsel	27,5	99
Hästgödsel	28	74
Hönsflytgödsel	10,3	28
Hönsnödgödsel	19,5	44
Klöver	20	72
Majsensilage <sup>1</sup>	33	190
Nötflytgödsel	8,5	14
Nötgödsel	18,5	36
Potatisblast	25	109
Socketbetsblast	17	37
Halm	87,5	337
Svinflytgödsel	6,5	17
Svingödsel	16	40
Vall	25	68

<sup>1</sup> Svenska Biogasföreningen, 2006 b.

Den egenskap som mest avgör hur ett substrat ska transporteras är hur blött det är. En TS-halt upp till 12 % innebär att substratet räknas som flytande och bör transporteras i tank. Dessutom räknas substratet som pumpbart. En högre TS-halt gör att substratet räknas som fast och därmed bör transporteras med vagn. Av ovan nämnda substrat räknas höns-, nöt- och svinflytgödsel som flytande och övriga som fasta (Christensson, 2006). För samtliga substrat förutom halm gäller att vikten är begränsande för hur mycket som kan lastas (Börjesson, 2006). Halmen är så skrymmande att endast hälften av ekipagets maximala lastkapacitet räknat i vikt kan utnyttjas (Braid, 2006).

Transporten av substratet kan ske på väg med traktor eller lastbil. Alternativet till de traditionella vägtransporterna är pumpning av flytande substrat i rörledningar.

### 6.1 Vägtransport

Att transportera substrat till biogasanläggningen kan ske med hjälp av vägtransporter. De fordon som kan komma på tal är lastbil och traktor. Data för kostnader och utsläpp från lastbilar och traktorer med två olika lastkapaciteter har tagits fram. Dessutom har val av två olika vagnar till var och en av traktorerna möjliggjorts i programmet. För lastbilstransport finns även en biogasdriven variant med.

De kostnader som sammanställts för vägtransporter baseras på timkostnader, eftersom det är det dominerande sättet att räkna i såväl åkeri- som jordbruksbranschen. Det är därför viktigt att rättvisande genomsnittliga hastigheter kan bestämmas. För lastbil har den genomsnittliga hastigheten uppskattats till 60 km/h. Motsvarande siffra för traktor har satts till 25 km/h.

En annan viktig faktor vid beräkning av kostnader för vägtransporter är tidsåtgång för lastning och lossning. Tid för lastning och lossning kan helt dominera den totala tidsåtgången, och därmed kostnaden. Riktvärden för tidsåtgång vid lastning och lossning för de olika substraten finns i Tabell 7, Tabell 8 och Tabell 9 nedan.

**Tabell 7.** Tid för lastning och lossning av flytande substrat (Johansson, 2006 b).

<b>Transportmedel</b>	<b>Lastning och lossning (min/last)</b>
Lastbil (40 ton)	15
Traktor (6 ton)	5
Traktor (15 ton)	10
Rörledning	0

**Tabell 8.** Tid för lastning och lossning av halm (Breid, 2006).

<b>Transportmedel</b>	<b>Lastning och lossning (min/last)</b>
Lastbil (14 ton)	40
Lastbil, biogasdriven (14 ton)	40
Lastbil (40 ton)	60
Traktor (8 ton)	30
Traktor (15 ton)	40

**Tabell 9.** Tid för lastning och lossning av övriga fasta substrat (Mårtensson, 2006 a).

<b>Transportmedel</b>	<b>Lastning och lossning (min/last)</b>
Lastbil (14 ton)	25
Lastbil, biogasdriven (14 ton)	25
Lastbil (40 ton)	35
Traktor (8 ton)	20
Traktor (15 ton)	25

### 6.1.1 Lastbil

Ett sätt att transportera substrat till biogasanläggningen är med lastbil. För fasta substrat används lastbilar med släp och för flytande substrat används istället lastbilar med tank. Kostnadsuppgifter från åkerier har anpassats för att gälla två olika lastkapaciteter genom att kostnad per ton har beräknats. Med hjälp av uppskattad genomsnittshastighet har kostnaderna räknats om från att anges per tidsenhet till att anges per sträcka, se Tabell 10 nedan.

**Tabell 10.** Kostnader för transport av substrat med lastbil

Lastkapacitet (ton)	Bränsle	Typ av substrat	Kostnad (kr/h)	Kostnad (kr/ton-h)	Kostnad (kr/ton-km) <sup>1</sup>
14	Diesel	Fast	550 <sup>2</sup> , 560 <sup>3</sup>	41,2	1,37
14	Biogas	Fast	584 <sup>4</sup>	41,7	1,39
40	Diesel	Fast	675 <sup>5</sup>	16,9	0,56
40	Diesel	Flytande	700 <sup>6</sup> , 800 <sup>7</sup> , 750 <sup>8</sup>	22,1	0,74

<sup>1</sup> Genomsnittlig hastighet 60 km/h samt tom retur antas. Lastning och lossning ingår ej.

<sup>2</sup> Mårtensson, 2006 b.

<sup>3</sup> Stenberg, 2006. Avser 13 ton.

<sup>4</sup> Stojanovic, 2006 (bränsleförbrukning), Andersson, 2006 a (inköpspris), Aspholmer, 2006 (kostnadsfördelning), E.ON, 2006 (biogaspris), OKQ8, 2006 (dieselpri). Avser 18 ton.

<sup>5</sup> Mårtensson, 2006 b.

<sup>6</sup> Olsson, 2006.

<sup>7</sup> Johansson, 2006 b. Avser två olika lastbilar, en på 36 och en på 30 ton.

<sup>8</sup> Linné, 2006. Avser 34 ton.

Genom att söka i databaser har underlag för emissioner från lastbilstransporter tagits fram. Emissionerna, som redovisas i Tabell 11 nedan, baseras på data för såväl produktion som användning av bränslet. Värdena gäller för 50 % *fyllnadsgrad*, vilket innebär att lastbilen i genomsnitt är halvfull. Ett exempel som ger denna fyllnadsgrad är om en viss sträcka körs fullastat och samma sträcka tillbaka helt utan last.

**Tabell 11.** Sammanfattning av emissioner i mg/ton•km för lastbilstransporter med 50 % fyllnadsgrad

Lastkapacitet (ton)	Bränsle	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	HC	Partiklar	CH <sub>4</sub>
14 <sup>1</sup>	Diesel	136 000	120	900	34	120	15	15
40 <sup>2</sup>	Diesel	56 000	47,8	350	11,7	50,2	6,07	6,05
14 <sup>3</sup>	Biogas	1 770	5,27	334	1,97	10,2	3,3	1530

<sup>1</sup> Nätverket för Transporter och Miljön, 2006.

<sup>2</sup> Nätverket för Transporter och Miljön, 2006. Siffrorna är omräknade från att gälla 70 % fyllnadsgrad till 50 % fyllnadsgrad.

<sup>3</sup> Statens energimyndighet, 2002 (emissioner per MJ bränsle), Stojanovic, 2006 (bränsleförbrukning).

## 6.1.2 Traktor

Ett annat sätt att transportera substrat till biogasanläggningen är med traktor och vagn. Vid transport av torra substrat används tippvagn, medan flytande substrat i stället körs med tankvagn. Två olika storlekar på traktorer har valts ut, med effekterna 60 kW och 110 kW. Eftersom prisuppgifter för biogasdrivna traktorer inte hittats, avser Tabell 12 endast kostnader för dieseldrivna traktorer.

**Tabell 12.** Kostnader för transport av substrat med traktor och vagn (HIR Malmöhus, 2006)

Traktor-effekt	Vagn	Maskin	Kostnad (kr/h)			Totalt	Kostnad (kr/ton•km) <sup>1</sup>
			Vagn	Förare	Diesel		
60 kW	Tippvagn 8 ton	81	70	200	63	414	4,14
110 kW	Tippvagn 15 ton	144	131	200	116	591	3,15
60 kW	Tankvagn 6 m <sup>3</sup>	81	95	200	63	439	5,85 <sup>2</sup>
110 kW	Tankvagn 15 m <sup>3</sup>	144	161	200	116	621	3,31 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Genomsnittlig hastighet 25 km/h samt 50 % fyllnadsgrad antas. Lastning och lossning ingår ej.

<sup>2</sup> Förutsätter att densiteten för de flytande substraten är 1000 kg/m<sup>3</sup>, vilket är rimligt.

Emissionerna från transport med traktor redovisas i Tabell 13. Siffrorna omfattar produktion och användning av dieseln.

**Tabell 13.** Emissioner vid transport av substrat med traktor i mg/ton•km med 50 % fyllnadsgrad (Börjesson och Berglund, 2003)

Lastkapacitet (ton)	Bränsle	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	HC	Partiklar	CH <sub>4</sub> <sup>1</sup>
8	Diesel	177 000	251	1 680	48,9	151	27,9	18,6
16	Diesel	145 000	206	1 370	40	124	22,9	15,2

<sup>1</sup> Svenska Petroleum Institutet, 2001.

### 6.1.3 Torkning av substrat innan transport

Flera av substraten innehåller väldigt mycket vatten. Det gäller speciellt de flytande substraten, med TS-halter under 15 %. Vatten bidrar inte till någon biogasproduktion och ett sätt att effektivisera systemet vore därför att avskilja vattnet innan transport. För att höja TS-halten finns två principiella metoder, mekanisk avskiljning och kokning.

Vid mekanisk avskiljning separeras den fasta fraktionen från vätskan genom pressning eller centrifugering. Detta skulle kunna leda till en lägre total energiinsats i systemet. I Danmark finns funderingar på system där flytgödsel ska avvattnas genom mekanisk separering innan den transporteras från gård till biogasanläggning (Lantz, 2006). Urin, som ändå inte bidrar till någon biogasproduktion, behålls på gården där dess kvävegödslingsförmåga kan utnyttjas. Systemet finns inte i bruk än och tros inte heller bli lönsamt annat än vid stora avstånd och stora gödselmängder.

Vattenavskiljning genom kokning innebär att värme tillförs för att på så vis koka bort den flytande fraktionen. Skillnaden mellan metoderna är att den mekaniska separationen ger de två faserna separerade, medan kokning bara ger den fasta fasen kvar efter behandlingen. Eftersom kvävet till stor del finns i vätskefasen, och dessutom är mera flyktigt än vatten, går gödselns kväveinnehåll förlorat vid kokningen. Ett alternativ är att vid kokningen ha kvävefällor som fångar upp kvävet, metoden är dock orimligt dyr att använda på gårdsnivå (Rodhe, 2006).

Torkning av substrat görs överhuvudtaget inte idag. Det finns dessutom för lite uppgifter för att trovärdiga kostnader ska kunna uppskattas. Därför finns torkning av substrat inte med i beräkningsprogrammet.

## 6.2 Rörledning

Ett annat alternativ för att transportera substrat till biogasanläggningen är med rörledning. Av de substrat vi valt att studera är det bara de flytande, d.v.s. höns-, nöt- och svinflytgödsel, som går att transportera på detta sätt. De andra substraten är helt enkelt för torra och därmed inte pumpbara. En rörledning för transport av flytgödsel består av ett plaströr som grävs ner på frosthjort djup. Vidare behövs en pump som driver substratet framåt i röret. Kontinuerlig eller stötvis pumpning är tänkbart. Vid kontinuerlig pumpning gäller det att dimensionera ledningen så att substratet inte sedimenterar p.g.a. låg hastighet. Stötvis pumpning innebär att substrat troligen sedimenterar i ledningen mellan pumpningarna. Detta är dock inget problem eftersom flödet vid pumpning är mycket högre så att eventuellt sediment spolats loss. (Jönsson, 2006)

Det finns system för transport av flytgödsel i rörledning på ett par ställen i Sverige. Tyvärr kunde företrädare för dessa inte bidra med de uppgifter som behövdes för beräkning av kostnader och emissioner för transporten. Dock är egenskaperna vid pumpning av rötrest är väldigt lika dem för flytgödsel (Jönsson, 2006). Därför används data för ett system för



pumpning av rötrest som är under uppbyggnad utanför Helsingborg. Detta system finns beskrivet med kostnader och emissioner i avsnitt 7.3 Rörledning.



## 7 Transport av rötrest

I detta kapitel behandlas transport av rötrest och framtagning av de data som används i beräkningsprogrammet.

De fysiska egenskaperna för rötrest liknar dem för flytgödsel. Liksom flytgödsel är rötresten flytande med låg TS-halt. Detta medför att den är pumpbar och transporteras i tank vid transport på väg. På samma sätt som de flytande substraten är även ledningsburen transport möjlig för rötresten.

### 7.1 Vägtransport

Vägtransport av rötrest är i princip identisk med vägtransport av flytande substrat. Transporten sker antingen med traktor och tankvagn eller med lastbil anpassad för flytande substrat. Det finns små skillnader vid lastning och lossning mellan rötrest och flytgödsel då rötresten har något lägre TS-halt och även mindre partikelstorlek. (Johansson, 2006 b; Olsson, 2006)

Kostnaderna och emissionerna för vägtransport av rötrest är samma som för transport av flytande substrat, se Tabell 14, Tabell 15 och Tabell 16 nedan.

**Tabell 14.** Kostnad för transport av rötrest med traktor och tankvagn (HIR Malmöhus, 2006)

Traktor-effekt	Vagn	Maskin	Kostnad (kr/h)			Totalt	Kostnad (kr/ton•km) <sup>1</sup>
			Vagn	Förare	Bränsle		
60 kW	Tankvagn 6 m <sup>3</sup>	81	95	200	63	439	5,85 <sup>2</sup>
110 kW	Tankvagn 15 m <sup>3</sup>	144	161	200	116	621	3,31 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Genomsnittlig hastighet 25 km/h samt 50 % fyllnadsgrad antas. Lastning och lossning ingår ej.

<sup>2</sup> Förutsätter att densiteten för rötresten är 1000 kg/m<sup>3</sup>, vilket är rimligt.

**Tabell 15.** Kostnad för transport av rötrest med lastbil

Lastkapacitet (ton)	Bränsle	Typ av gods	Kostnad (kr/h)	Kostnad (kr/ton•h)	Kostnad (kr/ton•km) <sup>1</sup>
40	Diesel	Flytande	700 <sup>2</sup> , 800 <sup>3</sup> , 750 <sup>4</sup>	22,1	0,74

<sup>1</sup> Genomsnittlig hastighet 60 km/h samt 50 % fyllnadsgrad antas. Lastning och lossning ingår ej.

<sup>2</sup> Olsson, 2006.

<sup>3</sup> Johansson, 2006 b. Avser två olika lastbilar, en med 36 och en på 30 tons lastkapacitet.

<sup>4</sup> Linné, 2006. Avser 34 ton.

**Tabell 16.** Sammanfattning av emissioner vid transport av rötrest i mg/ton•km vid 50 % fyllnadsgrad

Fordon	Lastkapacitet (ton)	Bränsle	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	HC	Partiklar	CH <sub>4</sub>
Traktor <sup>1</sup>	8	Diesel	177 000	251	1 680	48,9	151	27,9	18,6
Traktor <sup>1</sup>	16	Diesel	145 000	206	1 370	40	124	22,9	15,2
Lastbil <sup>2</sup>	40	Diesel	56 000	47,8	350	11,7	50,2	6,07	6,05

<sup>1</sup> Börjesson och Berglund, 2003.

<sup>2</sup> Nätverket för Transporter och Miljön, 2006.

### 7.2 Torkning av rötrest innan transport

Samma resonemang kan föras om torkning av rötrest som av substrat tidigare. Ett högt vatteninnehåll medför energikrävande transporter, vilket skulle kunna undvikas med hjälp av torkning. Ett krav är dock att näringsämnen i rötresten inte går förlorade. Dessa finns både i den flytande fasen i de fasta partiklarna i rötresten. En mekanisk separering skulle därmed inte

vara till någon nytta, eftersom näringsämnenen då skulle finnas i båda fraktionerna. Inte heller kokning skulle fungera, eftersom kvävet är mer flyktigt än vatten och därför avgår tidigare vid kokning. Metoden fungerar endast om kvävet kan infångas, men detta är som nämnts i kapitel 6.1.3 inte realistiskt på gårdsnivå p.g.a. orimliga kostnader. (Rodhe, 2006; Lantz, 2006)

### 7.3 Rörledning

Rötresten kan också transporteras med rörledning. Principen är att en plastledning grävs ner på frostfritt djup. I ledningen drivs sedan rötresten framåt med hjälp av pumpar. Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR) håller på att bygga ett sådant transportsystem utanför Helsingborg. Ett sammanlagt 10 km långt ledningsnät ska sammanbinda en biogasanläggning med fyra lagringsbrunnar i området. Rörledningen är dimensionerad för att kunna distribuera ungefär 45 000 ton rötrest per år. Investeringskostnaden är c:a 6 Mkr vilket motsvarar 600 000 kr/km rörledning. Kostnaden är fördelad enligt Tabell 17 nedan.

**Tabell 17.** Investering för transport av flytande substrat och rötrest med rörledning (Hansson, 2006)

<b>Aktivitet</b>	<b>Avskrivningstid (år)</b>	<b>Investering (kr/km)</b>	<b>Årlig kapitalkostnad (kr/km•år)<sup>1</sup></b>
Tillstånd, grävning, rörledning, brunnar	20	400 000	35 000
Byggnader, pumphus	10	70 000	9 500
Pumpar, omrörare, styrsystem	5	130 000	31 000
<b>Totalt</b>		<b>600 000</b>	<b>75 500</b>

<sup>1</sup> Den årliga kapitalkostnaden är framtagen med annuitetsmetoden

Elförbrukningen för att transportera rötrest beräknas i NSR:s system bli c:a 0,05 kWh/ton•km. Eftersom detta är den enda anläggningen i sitt slag får denna siffra fungera som ett riktvärde. (Hansson, 2006)

Emissionerna som uppstår vid transporten beräknas med utgångspunkt från elförbrukningen. Den använda elen multipliceras med de genomsnittliga emissionerna från den svenska elmixen, se Bilaga A. Med ”den svenska elmixen” avses hur elproduktionen i Sverige är fördelad mellan olika produktionssätt. Ett annat alternativ är att använda emissionerna för svensk marginael. Marginael är den el som tillkommer vid en ökad elanvändning. I Sverige är denna producerad med dansk eller finsk kolkondenskraft, vars emissioner redovisas i Bilaga A (Statens Energimyndighet, 2006).

De emissioner som uppkommer vid produktionen av komponenterna (rörledningar, pumpar o.s.v.) samt vid byggandet av transportsystemet innefattas inte i beräkningsprogrammet. Detta är förstås en brist.

## 8 Transport av biogas

I detta kapitel behandlas biogastransport samt framtagning av de data som används i beräkningsprogrammet.

Ett problem med gårdsbaserad biogas är att få full avsättning för gasen. Lösningen har hittills varit att fackla bort överflödigt gas. För att undvika detta är det angeläget att kunna transportera gasen från produktionsanläggningen till den tänkta slutanvändaren på ett ekonomiskt och miljömässigt bra sätt. I denna rapport studeras transport med gasledning och på lastbil med växelflak.

### 8.1 Gasledning

Att transportera gas med gasledning är väl beprövad teknik. Det är så naturgas transporteras i Sverige och runt om i världen. I sydvästra Sverige finns ett utbyggt naturgasnät och på sina håll används även nätet för att transportera uppgraderad biogas, vilket är fallet i Laholm. Det finns också lokala gasnät som helt och hållet är till för biogas, t.ex. i Kristianstad.

Både obehandlad och uppgraderad biogas kan transporteras i gasledning. Gasen drivs framåt i ledningen med hjälp av en kompressor. Kompressorn kan arbeta vid olika tryck. Vi har valt att studera ingångstrycken 0,3 bars övertryck och 3,8 bars övertryck. Det är standardtryck vid gastransport och i båda fallen undviks Sprängämnesinspektionens naturgasföreskrifter (SÄIFS 1987:2) och Naturgassystem-normerna (NGSN 87) genom att 4 bars övertryck inte överstigs (SGC 2006). Det finns också olika standardmässiga rördimensioner, varav tre av de minsta, 32 mm, 63 mm och 125 mm, har studerats.

Begränsande för hur mycket gas som kan överföras i en gasledning är dels att tryckfallet inte får bli för stort och dels att gashastigheten inte får bli för hög. Tryckfallet, som beräknas enligt formel i bilaga E, får inte överstiga ingående tryck minus en säkerhetsmarginal. Vårt att observera är att tryckfallet bland annat beror på ledningens längd. Gashastigheten får inte överstiga 20 m/s. Annars är risken att störande buller och vibrationer uppstår i ledningen. Formeln för beräkning av gashastigheten redovisas i Bilaga E.

Kostnaderna för att dra gasledning i olika terräng och beroende på vem som äger marken redovisas i Tabell 18 nedan. Kostnaderna är framtagna av E.ON och baseras på deras erfarenheter. I båda fallen antas byggandet av själva ledningen ske enligt *Energigasnormen* (EGN 01), men *Allmänna bestämmelser för byggnads-, anläggnings- och installationsentreprenader* (AB 92) behöver inte tillämpas ifall byggandet sker på egen mark.

Tabell 18. Kostnader för dragning av gasledning (Nilsson, 2006)

Marktyp	32 mm (kr/m)	63 mm (kr/m)	125 mm (kr/m)
<b>Egen mark</b>			
Hårdjord yta	370	440	550
Åkermark	170	200	300
<b>Annans mark (AB 92)</b>			
Hårdjord yta	470	550	650
Åkermark	340	400	500

Med annuitetsmetoden (se Bilaga D) kan en årlig kostnad för dragning av gasledning beräknas. Avskrivningstiden sätts till 20 år och realräntan till 6 %. Resultatet visas i Tabell 19 nedan.

**Tabell 19.** Årlig kostnad vid dragning av gasledning (Nilsson, 2006)

Marktyp	32 mm (kr/m-år)	63 mm (kr/m-år)	125 mm (kr/m-år)
<b>Egen mark</b>			
Hårdjord yta	32	38	48
Åkermark	16	19	26
<b>Annans mark (AB 92)</b>			
Hårdjord yta	41	48	57
Åkermark	30	35	44

Emissionerna vid transport av biogas med gasledning beräknas utifrån elförbrukningen. Ifall biogasen är uppgraderad tillkommer emissioner från elförbrukning vid uppgraderingen. Precis som vid transport av substrat och rötrest med rörledning multipliceras elförbrukningen med genomsnittliga emissioner för den svenska elmixen, se Bilaga A. Inte heller här tas de emissioner som uppkommer vid produktion av komponenter eller vid byggandet av ledningen med i beräkningsprogrammet.

## 8.2 Lastbil med växelflak

Ett annat sätt att transportera biogas är trycksatt i gasflaskor på lastbil. Idag finns fungerande system för distribution av uppgraderad biogas med lastbil och s.k. växelflak (Pettersson et al 2006). Ett växelflak består av en ramkonstruktion i stål och c:a 150 sammankopplade gasflaskor. Systemet förser tankstationer som inte befinner sig nära naturgasnätet eller någon biogasproducent med fordonsgas. Olika aktörer använder sig av olika högt tryck på sina växelflak. AGA som förser flera tankstationer i Stockholmsregionen med biogas trycksätter gasen till 200 bar, medan E.ON som levererar biogas från Kristianstad till Olofström trycksätter gasen till 300 bar. (Nilsson, 2006)

Kostnadsberäkningarna i detta kapitel utgår från E.ON:s växelflak. Deras geometriska volym är 7,63 m<sup>3</sup> (d.v.s. total invändig volym på gasflaskorna) och de rymmer totalt 2 500 m<sup>3</sup> uppgraderad biogas vid 300 bar och 15°C. (Nilsson, 2006)

### 8.2.1 Uppgraderad biogas

Kostnaderna för att transportera biogas med lastbil består av kostnad för behandling av biogasen, för trycksättning och för själva transporten. Behandlingskostnad är i detta fall lika med kostnad för uppgradering av biogasen. Kostnaden för trycksättning är c:a 1 kr/Nm<sup>3</sup> (Johansson, 2006 a). Av detta utgör elkostnad c:a 15 %, vilket med elpriset 0,65 kr/kWh ger elförbrukningen 0,24 kWh/Nm<sup>3</sup> (Nilsson, 2006). Dessa siffror gäller för trycksättning till 200 bar, men eftersom uppgifter om kostnad vid trycksättning till 300 bar inte stått att finna får kostnaden även gälla för 300 bar. Kostnaden för själva transporten består dels av kostnad för lastbilen och dels av kostnad för växelflaget. Lastbilen är en standardlastbil med lastkapacitet kring 14 ton vilket medför att samma timkostnad som i avsnitt 6.1.1 kan användas. Den antagna genomsnittshastigheten är 60 km/h. Vidare antas att lastbilen måste köra dubbla den angivna sträckan både vid hämtning och vid lämning av växelflaget. Anledningen är att det tar lång tid både att fylla och att tömma växelflaget, se resonemang om detta nedan. Detta ger

kostnaden 37 kr/km. Kostnaden fördelas sedan på antalet Nm<sup>3</sup> gas växelflaket rymmer. Växelflaket har investeringskostnaden 800 000 kr (Nilsson, 2006). Om avskrivningstiden sätts till 10 år och realräntan till 6 % blir med hjälp av annuitetsmetoden den årliga kostnaden för växelflaket c:a 109 000 kr. En sammanställning av transportkostnaderna finns i Tabell 20 nedan.

**Tabell 20.** Kostnad för transport av uppgraderad biogas med växelflak.

Post	Kostnad	Enhet
Uppgradering	2,70 <sup>1</sup>	kr/Nm <sup>3</sup>
Trycksättning	1,0 <sup>2</sup>	kr/Nm <sup>3</sup>
Lastbil	37,0	kr/km
Växelflak	109 000	kr/år

<sup>1</sup> Vid rågasflödet 12 Nm<sup>3</sup>/h. Ett högre flöde innebär lägre kostnad.

<sup>2</sup> För trycksättning till 200 bar, men får i brist på bättre värde gälla även för 300 bar.

En aspekt som är viktig att ta i beaktning är att det inte är lämpligt att fylla ett växelflak på kortare tid än 5-6 timmar. Detta beror på att det utvecklas värme vid trycksättningen. Ju fortare flaket fylls, desto mer värme utvecklas. Detta får i sin tur följden att det inte går att få plats lika mycket gas på flaket. Samma mängd gas tar som bekant olika mycket plats vid olika temperatur, större plats vid högre temperatur. Det går inte heller att tömma växelflaket för snabbt, även detta tar 5-6 timmar. Här är i stället problemet att det blir väldigt kallt och isbildning riskeras. (Johansson, 2006 a)

Den tänkta systemlösningen utgår från att biogasproducenten bara har tillgång till ett växelflak. När detta är fullt hämtas det med lastbil och körs till leveranspunkten, som t.ex. kan vara en uppgraderingsanläggning eller en slutanvändare. Här ställer lastbilen av växelflaket. Därefter kan lastbilen ha andra körningar. Efter 5-6 timmar när flaket är tömt hämtas det av lastbilen och körs tillbaka till biogasproducenten. Den biogas som bildats medan växelflaket varit iväg har tills vidare lagrats i någon form av enkelt lågtryckslager. Denna lösning har fördelen att bara ett växelflak behövs, men samtidigt nackdelen att lastbilen inte kan byta mellan två flak utan måste köra en extra vända. Det finns andra möjliga systemlösningar som kräver mer än ett växelflak. Dessa har dock inte utretts.

Beroende på vilket tryck som används på växelflaket så kan det transportera olika mycket biogas. Hur mycket uppgraderad biogas som ryms ifall trycket är 200 eller 300 bar redovisas i Tabell 21 nedan. Här redovisas också vilken energimängd den transporterade gasen innehåller.

**Tabell 21.** Transporterad volym uppgraderad biogas vid transport med växelflak.

Tryck (bar)	Transporterad gasvolym <sup>1</sup> (Nm <sup>3</sup> )	Transporterad energi <sup>2</sup> (kWh)
200	2 094	20 312
300	2 500	24 250

<sup>1</sup> Beräkningarna är gjorda med hjälp av GasKalkyl 1.3. Antagen temperatur är 15°C, växelflakets geometriska volym är 7,63 m<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Den uppgraderade biogasen har energiinnehållet 9,67 kWh/Nm<sup>3</sup>.

Emissionerna vid transport med lastbil och växelflak består dels av emissioner från elförbrukningen vid trycksättning och uppgradering av gasen, och dels av emissioner från lastbilen.

## 8.2.2 Icke-uppgraderad biogas

Något system för att trycksätta icke-uppgraderad biogas för att transportera den med lastbil på växelflak finns inte idag. Men författarna tycker det är ett intressant alternativ att spekulera kring och har tagit hjälp av diverse experter på området trycksättning av gas.

En förutsättning för att kunna trycksätta gasen är att vatten och svavelföreningar avskiljs. Dessa båda komponenter har annars en korrosiv verkan på stålflaskorna som blir speciellt märkbar vid höga tryck (Johansson, 2006 a).

En gasblandning som består av 60 % metan och 40 % koldioxid har vid försök visat sig kunna trycksättas till 76 bar vid 15°C. Det som händer om inmatning av gas fortsätter är att koldioxiden börjar kondensera (Henningsson, 2006). Detta kan innebära problem ur två aspekter. Dels kan det innebära att det blir väldigt ojämn gaskvalitet vid avtappning av gasen. Först fås en gasblandning som till stor del består av metan, sedan blir andelen koldioxid i den avtappade gasen högre allt eftersom koldioxiden återgår i gasfas. Detta skulle kunna orsaka problem vid en uppgraderingsanläggning. En lösning kan vara att låta gasen blandas i ett mellanlager på uppgraderingsanläggningen. Det andra problemet är att den kondenserade koldioxiden vid en temperaturhöjning snabbt kan återgå i gasfas och därmed orsaka en kraftig tryckhöjning i gasflaskan, med explosionsrisk som följd. Problemet att en temperaturhöjning orsakar tryckhöjning förekommer även ifall all gas befinner sig i gasfas, men tryckhöjningen är då inte alls lika kraftig. (Andersson, 2006 c)

En lösning på detta problem vore att övervaka och reglera temperaturen på växelflaget noggrant, och vid en höjning av temperaturen som riskerar medföra en explosion helt enkelt släppa ut gasen. Det vore givetvis inte bra ur ekonomisk och miljömässig synvinkel, men i alla fall bättre än en explosion.

Det skulle vara intressant att ytterligare utreda möjligheterna att trycksätta biogasen till mer än 76 bar. Eftersom praktiska försök inte är gjorda får vi nöja oss med att spekulera i vilka möjligheter ett högre tryck skulle medföra.

Kostnaderna för detta transportalternativ skulle i stora drag likna dem för uppgraderad biogas. Behandlingskostnad av gasen skulle i detta fall bestå av kostnad för avfuktning och avsvavling (i de fall det är nödvändigt). Avsvavling behövs i de fall svavelhalten i biogasen överstiger 23 mg/Nm<sup>3</sup>. Av de substrat som finns med i den här rapporten bedöms så vara fallet endast ifall svingödsel eller svinflytgödsel rötas (Lantz, 2006). Även här representeras kostnad för trycksättning av kostnad för trycksättning till 200 bar.

**Tabell 22.** Kostnad för transport av renad biogas med växelflak

Post	Kostnad	Enhet
Avfuktning (+ ev. avsvavling)	0,28 (+ 0,15) <sup>1</sup>	kr/Nm <sup>3</sup>
Trycksättning	1,0 <sup>2</sup>	kr/Nm <sup>3</sup>
Lastbil	37,0	kr/km
Växelflak	109 000	kr/år

<sup>1</sup> Vid gasflödet 50 Nm<sup>3</sup>/h.

<sup>2</sup> För trycksättning till 200 bar, men får i brist på bättre värde gälla även för 76 och 300 bar.



**Tabell 23.** Transporterad volym rågas vid transport med växelflak

Tryck (bar)	Transporterad gasvolym <sup>1</sup> (Nm <sup>3</sup> )	Transporterad energi <sup>2</sup> (kWh)
76	725	4 350
200	2 281	13 686
300	2 833	16 998

<sup>1</sup> Widing, 2006. Antagen temperatur är 15°C. Växelflakets geometriska volym är 7,63 m<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Biogasen har energiinnehållet 5,98 kWh/Nm<sup>3</sup>.

Anledningen till att just trycken 76, 200 och 300 bar valts är p.g.a. att 76 bar är det tryck vid vilken koldioxiden börjar kondensera, 200 bar är det tryck AGA använder i sina växelflak och 300 bar det tryck som E.ON använder i sina växelflak. Det bör poängteras att möjligheterna för transport vid 200 och 300 bar är spekulativa, medan de för 76 bar anses mer säkra.

Emissionerna vid transport med lastbil och växelflak består dels av emissioner från elförbrukningen vid trycksättning och avvattning och ev. avsvavling av gasen, och dels av emissioner från lastbilen. Några uppgifter om elförbrukning vid avvattning och avsvavling har inte hittats. Troligen bidrar dessa aktiviteter mycket lite till de totala emissionerna och att försumma dem kan därför anses acceptabelt.

### 8.3 Transport av biogas i form av LNG

En intressant möjlighet är att transportera gasen nedkyld i flytande form. I dagsläget är anläggningar för att kyla ner biogas till LNG dock alltför dyra och dessutom anpassade för väldigt stora gasflöden (motsvarande c:a 10-100 gårdsanläggningar). Transporten effektiviseras annars mycket genom att den mängd biogas som kan transporteras per körning är mer än tio gånger så hög ifall gasen är i form av LNG jämfört med om den är uppgraderad och trycksatt till 300 bar, se Tabell 24 nedan. Det rör sig visserligen inte om identiska lastbilar, men skillnaden i total lastkapacitet är ganska liten.

**Tabell 24.** Jämförelse mellan transport av trycksatt uppgraderad biogas och LNG

Tillstånd	Mängd per körning (kg)
Trycksatt biogas 300 bar	1 900 <sup>1</sup>
LNG	21 000 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Beräknat utifrån att den uppgraderade biogasen har densiteten 0,755 kg/Nm<sup>3</sup> (GasKalkyl 1.3, 2006).

<sup>2</sup> Pettersson et al, 2006.

Eftersom tekniken är så dåligt anpassad för gårdsanläggningar, har möjligheten att transportera biogasen som LNG inte tagits med i beräkningsprogrammet.



## 9 Beräkningsprogrammet

Beräkningsprogrammet är tänkt att användas som ett hjälpmedel för att beräkna de kostnader och emissioner som uppstår vid transporten av substrat, rötrest och biogas från en småskalig anläggning för framställning av biogas. Programmet konstruerades med hjälp av programmeringsverktyget Microsoft Visual Basic och är uppbyggt kring sex kalkylblad i Microsoft Excel.

*Allmänna anvisningar:*

- Programmet kräver att Microsoft Excel finns installerat på datorn
- När beräkningsprogrammet öppnas ställs frågan om makron ska tillåtas – svara ja
- Ifall frågan inte ställs kan det krävas att inställningarna i Microsoft Excel ändras via **Verktyg > Makro > Säkerhet**. Sätt säkerhetsnivån till **Medel**
- Använd knapparna och inte flikarna för att växla mellan kalkylbladen, annars utförs inte vissa beräkningar
- Vid inmatningar i programmet används punkt (.) som decimaltecken

### 9.1 Inmatning av värden i programmet

Beräkningsprogrammet utgår ifrån de parametrar som återfinns i kapitel 6-8 samt en rad inmatningar som görs av användaren. De data som används för beräkningarna kommer att återfinnas på något av de sex Excel-blad som programmet utgörs av. De olika Excel-bladens egenskaper beskrivs i 9.1.1 – 9.1.6 här nedan.

#### 9.1.1 Substrat

För att mata in uppgifter om substrattransport, används först knappen **Redigera substrat**. Inmatningen sker sedan med hjälp av ett formulär, se Figur 5 nedan. Formuläret aktiveras med knappen **Lägg till substrat**. I en rullista väljs vilket substrat som ska transporteras. Mängden anges sedan genom inmatning från tangentbordet. Beroende på om det valda substratet är fast eller flytande finns sedan olika transportmedel att välja på i en rullista. Därefter anges vilken sträcka substratet ska transporteras. Nästa steg är att bestämma tidsåtgång för lastning och lossning. Här finns redan en tid angiven, som beror på valt substrat och transportmedel som angivits. Denna tid kan ändras genom inmatning från tangentbordet. Transportdata för upp till fyra substrat kan matas in samtidigt i formuläret. När uppgifter för önskat antal transporter matats in används **OK** för att överföra de inmatade uppgifterna till ett kalkylblad med namnet **Substrat**. Ifall transportdata för fler än fyra substrat ska anges upprepas hela proceduren (tryck på knappen **Lägg till substrat** igen o.s.v.).

Substrat	Mängd (ton/år)	Transportmedel	Sträcka (km)	Tid för lastning + lossning (min/last)
Nötflytgödsel	4000	Traktor (15 m3)	1	10
Sockerbetsblast	1000	Lastbil (14 ton)	2	25
Majsensilage	600	Traktor (8 ton)	4	20

Buttons: Nollställ Inmatning, OK, Avbryt

Figur 5. Formulär för inmatning av data för transport av substrat

*Specialfall 1:* Ifall substratet redan finns i anslutning till biogasanläggningen och alltså inte behöver transporteras, ska data för detta substrat ändå anges. Vilket transportmedel som anges spelar ingen roll, det viktiga är att sträckan anges som 0 km.

*Specialfall 2:* Transport av flytande substrat med rörledning från mer än en plats längs samma sträckning är ett möjligt scenario. Ifall transporterna ifylles var för sig, genomförs beräkningarna utifrån att det rör sig om separata rörledningar. Huvuddelen av kostnaden vid transport med rörledning utgörs av investeringskostnaden medan driftskostnaden endast utgör ett par procent. Resultatet blir därför mer rättvisande ifall alla transporter som sker med rörledning längs samma sträckning ifylles som en enda post. Mängden som anges är den totala mängd flytande substrat som ska transporteras längs sträckningen, och sträckan som anges är den totala sträckan. På så sätt blir felet som minst.

Om någon inmatning skulle vara felaktig, måste hela raden rensas i kalkylbladet. Detta görs genom att en ruta på den aktuella raden markeras. Därefter används knappen **Rensa markerad inmatning**. Inmatningen görs sedan om på samma sätt som tidigare.

När allt i kalkylbladet **Substrat** är rätt ifyllt, används knappen **Summering** för att föra över uppgifterna till kalkylbladet med samma namn. Därefter används knappen **Redigera rötrest** för att flytta fokus till kalkylbladet **Rötrest**.

### 9.1.2 Rötresttransport

Nästa steg är att mata in uppgifter för transporten av rötrest. Även detta görs med hjälp av ett formulär som aktiveras med knappen **Lägg till rötrest**. Formuläret finns i Figur 6 nedan. Total mängd rötrest och mängd rötrest kvar att transportera visas överst i formuläret.

Mängd (ton/år)	Transportsätt	Sträcka (km)	Tid för lastning och lossning per last (min)
4000	Traktor (15 m3)	1	10
1600	Traktor (6 m3)	2	5

**Figur 6.** Formulär för inmatning av data för transport av rötrest

Med hjälp av inmatning från tangentbordet fylls en mängd rötrest i, varefter transportsätt väljs i en rullista. Sedan fylls sträckan i. En tid för lastning och lossning är automatiskt ifyllt beroende på vilket transportsätt som angivits. Denna tid kan ändras genom inmatning från tangentbordet. När uppgifter för önskat antal transporter matats in används **OK** för att överföra de inmatade uppgifterna till ett kalkylblad med namnet **Rötrest**. Ifall fler än är tre rötreststransporter ska anges upprepas hela proceduren (tryck på knappen **Lägg till rötrest** igen o.s.v.).

*Specialfall:* Precis som vid substrattransport går det vid rötresttransport med rörledning att tänka sig transport till mer än en plats längs samma sträckning. Ifall transporterna fylls i var för sig, genomförs beräkningarna även här utifrån att det rör sig om separata rörledningar. Resultatet blir mer rättvisande ifall alla rötreststransporter som sker med rörledning längs samma sträckning fylls i som en enda post (för motivering, se under *Specialfall 2* i avsnitt 9.1 ovan). Mängden som anges är den totala mängd som ska transporteras längs sträckningen, och sträckan som anges är den totala sträckan.

Om någon inmatning skulle vara felaktig, måste hela raden rensas i kalkylbladet. Detta görs genom att en ruta på den aktuella raden markeras. Därefter används knappen **Rensa markerad inmatning**. Inmatningen görs sedan om på samma sätt som tidigare.

När allt i kalkylbladet **Rötrest** är rätt, används knappen **Summering** för att föra över uppgifterna till kalkylbladet med samma namn. Därefter används knappen **Redigera biogas** för att flytta fokus till kalkylbladet **Biogas**.

### 9.1.3 Biogastransport

Sista formuläret för inmatning gäller transport av biogasen, se Figur 7 nedan. Detta aktiveras med knappen **Lägg till biogastransport**. Längst upp i formuläret syns vilken den förväntade biogasproduktionen är. Den beräknas utifrån vilka substrat och vilken mängd som matats in tidigare.

**Transport av biogas**

Producerad mängd biogas  Nm<sup>3</sup>/år

Intern användning  %

Mängd biogas att transportera  Nm<sup>3</sup>/år

**Gasledning**

Åkermark  km, varav egen mark  km

Hårdgjord yta  km, varav egen mark  km

Typ av gasledning

**Växelflak**

Typ av växelflak  Sträcka  km

Avbryt OK

**Figur 7.** Formulär för inmatning av biogastransport

Den interna användningen av biogas för uppvärmning av biogasanläggningen anges genom inmatning från tangentbordet. Ett typiskt värde för gårdsbaserade biogasanläggningar är 20-30 % (Lantz, 2006). Den mängd biogas som finns kvar att transportera beräknas och visas sedan automatiskt av programmet. Därefter är det dags att välja transportsätt. Det finns två alternativ att välja mellan, gasledning och växelflak. Valet görs genom att klicka i cirkeln till vänster om respektive alternativ.

Ifall gasledning väljs gäller det härnäst att fylla i uppgifter om marktyp där ledningen ska läggas. Först ifylles den sträcka som utgörs av åkermark. Hit räknas i programmet all mark som inte är hårdgjord. Därefter anges hur långt av denna sträcka som ligger på egen mark. Sedan är det dags att ange hur lång sträcka som utgörs av hårdgjord yta, samt hur mycket av denna som är egen mark. Slutligen väljs önskat tryck, dimension samt om biogasen ska vara obehandlad eller uppgraderad i en rullista. När valet är gjort används **OK** för att föra över de inmatade uppgifterna till kalkylbladet **Biogas**. Här utför programmet emellertid först en kontroll ifall det är möjligt att föra över den aktuella mängden biogas i den typ av gasledning som valts (tryck, dimension, kvalitet). Ifall så inte är fallet visas ett felmeddelande med upplysning om varför transporten inte är möjlig. Det kan bero på att tryckfallet i ledningen blir för stort eller gashastigheten för hög. En annan typ av gasledning måste då väljas, antingen med högre tryck, större dimension eller både och. Ett annat alternativ är att välja uppgraderad biogas istället för obehandlad.

Ifall växelflak väljs istället för gasledning blir nästa steg att ange typ av växelflak. Det som skiljer de olika alternativen är tryck och gaskvalitet. Sedan anges den sträcka som biogasen ska transporteras. Slutligen används **OK** för att föra över de inmatade uppgifterna till ett kalkylblad med namnet **Biogas**.

En fines med formuläret för biogastransport är att kostnad och emissioner för flera olika alternativ kan beräknas. Detta görs genom att hela proceduren från **Lägg till biogastransport** till **OK** upprepas. Det nya alternativet läggs överst i kalkylbladet **Biogas**.

När önskat antal alternativ matats in, används knappen **Summering** för att föra över uppgifterna till kalkylbladet med samma namn. Här finns nu samtliga inmatade transporter av substrat, rötrest och biogas, se exempel i Figur 8 nedan. En sista kontroll kan nu göras innan transportkostnader och emissioner beräknas. Beräkningen görs med knappen **Beräkna**, som också flyttar fokus till kalkylbladet **Resultat**.

	A	B	C	D	E
1	<b>Substrat</b>	<b>Mängd (ton/år)</b>	<b>Transportmedel</b>	<b>Avstånd (km)</b>	<b>Last + lossning (min)</b>
2	Nötflytgödsel	2000	Traktor (15 m3)	4	10
3	Ensilage	500	Lastbil (40 ton)	0	35
4		<b>2500</b>			
5					
6	<b>Producerad rötrest (ton/år)</b>	<b>Transporterad rötrest (ton/år)</b>	<b>Transportmedel</b>	<b>Avstånd (km)</b>	<b>Last + lossning (min)</b>
7		2500	Rörledning	0,6	0
8	<b>2500</b>	<b>2500</b>			
9					
10					
11	<b>Producerad biogas (Nm3/år)</b>	<b>Intern användning (%)</b>	<b>Transporterad biogas (Nm3/år)</b>	<b>Transportmedel</b>	<b>Tot. Avstånd (km)</b>
12	141667	25	106250	3,8 bar, 63 mm, obehandlad	4,8
13	141667	25	106250	Växefflak, 300 bar, renad	5,9
14					
15					
16					
17					
18	Redigera substrat	Redigera rötrest	Redigera biogas	Beräkna	
19					
20					
21					

**Figur 8.** Ett exempel på hur kalkylbladet **Summering** kan se ut efter att samtliga transporter matats in

### 9.1.4 Beräkning av kostnaden för biogasproduktion

För att få en ungefärlig uppfattning om den totala ekonomin för biogasproduktion på gårdsnivå, måste även produktionskostnad för biogasen beräknas. Detta görs i beräkningsprogrammet med utgångspunkt från inmatningarna som gjorts i formuläret för substrattransport. En uppskattning av vad den transporterade biogasen har för värde vid försäljning görs också här. Resultatet visas längst ner till vänster i kalkylbladet **Resultat**, se Figur 9.

### 9.1.5 Kalkylblad för sammanfattning av resultat

I kalkylbladet **Resultat** finns, förutom det ovan nämnda, även en sammanställning av kostnaderna för de valda transportererna. Kostnaderna är angivna både som kostnad per år och kostnad per kWh. För substrat- och rötresttransporten divideras kostnaden med antalet kWh i den producerade biogasen, medan kostnaden för transport och produktion av biogas divideras med antalet kWh i den transporterade biogasen. Med mängden transporterad biogas avses den producerade mängden minus den biogas som används internt för uppvärmning av biogasanläggningen. Vidare visas de emissioner som de olika transportererna medför, omräknat i ekvivalenter efter vilken potentiell miljöpåverkan de har. De emissioner som bidrar till växthuseffekten har t.ex. räknats om till mg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kWh.

	A	B	C	D
1	<b>Substrattransport</b>	<b>Kostnad (kr/år)</b>	<b>Kostnad (kr/kWh)</b>	<b>Växthuseffekt (mg CO2-ekv./kWh)</b>
2	Nöttlytgödsel	151000	0,13	18
3	Ensilage	13000	0,02	903
4	<b>Total</b>	<b>165000</b>	<b>0,10</b>	
5				
6	<b>Rötresttransport</b>	<b>Kostnad (kr/år)</b>	<b>Kostnad (kr/kWh)</b>	<b>Växthuseffekt (mg CO2-ekv./kWh)</b>
7	Rörledning	106000	0,09	9
8	Rörledning	45000	0,03	4
9	<b>Total</b>	<b>151000</b>	<b>0,09</b>	
10				
11	<b>Biogastransport</b>	<b>Kostnad (kr/år)</b>	<b>Kostnad (kr/kWh)</b>	<b>Växthuseffekt (mg CO2-ekv./kWh)</b>
12	Växefflak, 300 bar, renad	253000	0,40	3514
13	Växefflak, 200 bar, renad	255000	0,40	3577
14	Växefflak, 76 bar, renad	277000	0,44	4269
15	Växefflak, 300 bar, uppgraderad	448000	0,70	2195
16	Växefflak, 200 bar, uppgraderad	449000	0,71	2197
17	3,8 bar, 32 mm, uppgraderad	398000	0,63	1565
18	3,8 bar, 63 mm, obehandlad	150000	0,24	301
19	0,3 bar, 63 mm, uppgraderad	418000	0,66	1406
20	0,3 bar, 125 mm, obehandlad	191000	0,30	43
21				
22				
23	<b>Biogasanläggning</b>			
24	Reaktorvolym (m <sup>3</sup> )	680		
25	Total kostnad (kr/år)	459000		
26	Produktionskostnad (kr/kWh)	0,36		

Figur 9. Ett exempel på hur delar av kalkylbladet **Resultat** kan se ut efter att samtliga transporter matats in

### 9.1.6 Tabellvärden

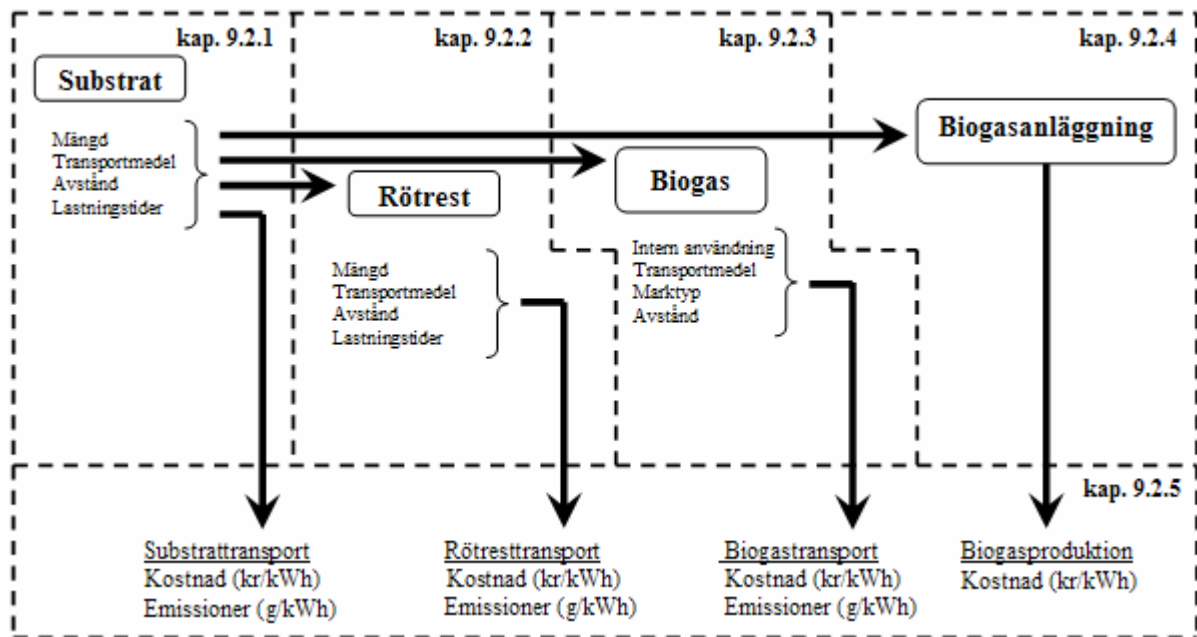
Det sjätte och sista kalkylbladet i beräkningsprogrammet innehåller tabellvärden. Användare kan komma åt kalkylbladet genom att klicka på fliken **Tabellvärden**. Där kan de olika tabellvärdena som används i beräkningsprogrammet studeras och även ändras. Exempel på tabellvärden är metanutbyte för olika substrat, kostnad för olika transportsätt per ton och km samt elpris. För att de ursprungliga siffrorna alltid ska kunna återskapas är beräkningsprogrammet skrivskyddat. Ett tips är därför att spara filen under nytt namn med de tabellvärden som gäller för en specifik biogasanläggning. På detta sätt går det att skapa flera olika varianter av beräkningsprogrammet som gäller för olika förutsättningar, t.ex. med olika räntesatser eller kostnader för att anlägga rörledning.

## 9.2 Beräkningar

Kostnaderna och emissionerna för de olika transporterna beräknas som tidigare nämnts utifrån de inmatningar som användaren gör i programmet tillsammans med parametrarna som redovisas i kapitel 6 – 8.

Figur 10 visar ett översiktligt diagram över de data som matas in i beräkningsprogrammet. Av figuren framgår också att vissa av de data som tas fram vid beräkningen av kostnaderna och emissionerna för substrattransporten också används vid beräkningar för rötrest- och biogastransporten samt för kostnadsberäkningarna för biogasanläggningen. Dessa dataflöden symboliseras av pilarna mellan de olika delarna i Figur 10 nedan.

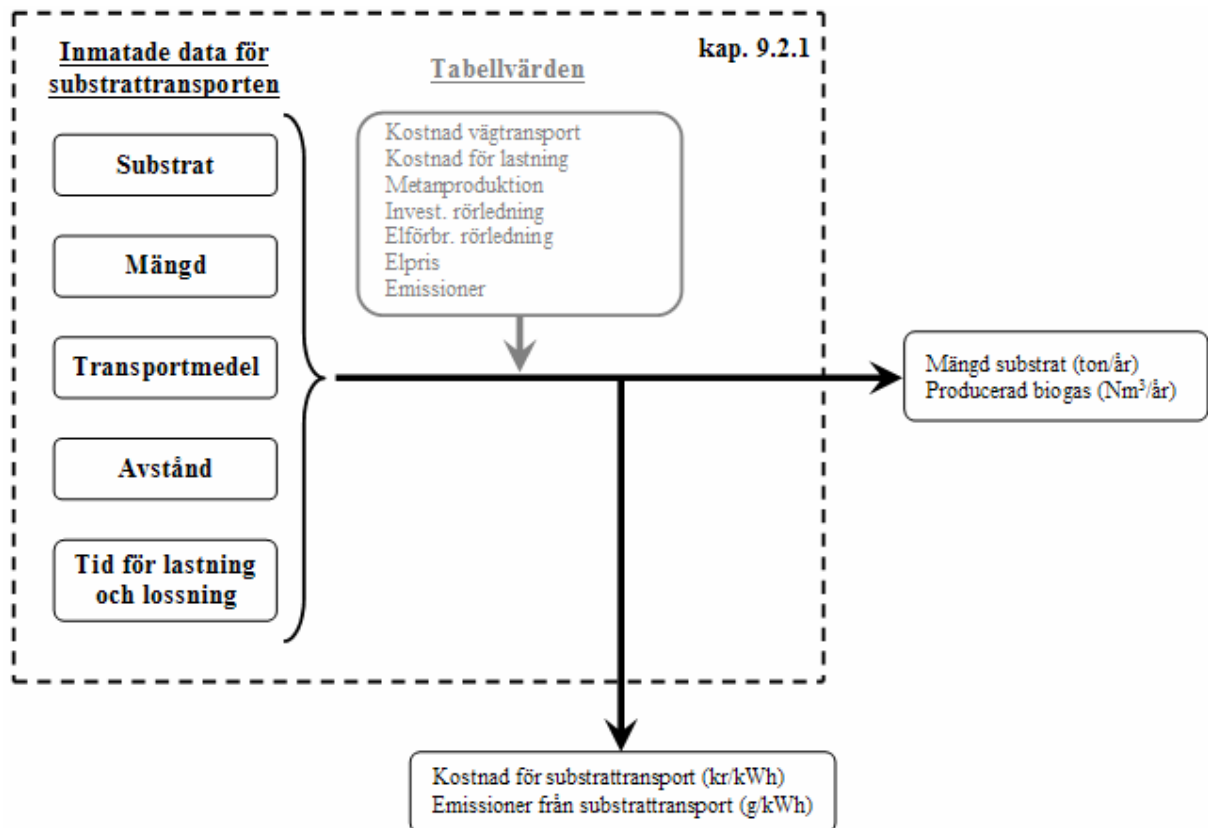




Figur 10. Översiktlig skiss över dataflödet i beräkningsprogrammet

### 9.2.1 Substrattransport

Vid kostnads- och emissionsberäkningarna för substrattransporten används de fem inmatningar som beskrivs i kapitel 9.1.1 samt de tabellvärden som presenterats i rapporten. Resultatet blir utöver kostnaderna och emissionerna för transporter av substrat (flödet nedåt i Figur 11) också den mängd biogas som produceras. Biogasproduktionen kommer tillsammans med mängden substrat att användas för beräkningar i kap 9.2.2, 9.2.3, 9.2.4 och 9.2.5.



Figur 11. De data som används för att bestämma kostnaderna och emissionerna vid transport av substrat

Kostnaden för att transportera en viss mängd av ett substrat från en punkt till en annan beror av ett flertal faktorer. Härunder följer två ekvationer som beskriver kostnaden för transport av substrat med olika transportmedel på väg (9.1) resp. transport med rörledning (9.2).

$$(9.1) \quad \text{Kostnad}_{\text{väg}} = m \cdot (S \cdot K_{\text{väg}} + L_{\text{tid}} \cdot L_{\text{pris}}) \quad (\text{kr} / \text{år})$$

$$(9.2) \quad \text{Kostnad}_{\text{rör}} = S \cdot (K_{\text{rör}} + m \cdot El_{\text{rör}} \cdot El_{\text{pris}}) \quad (\text{kr} / \text{år})$$

där

- $m$  = Mängd substrat vid aktuell transport (ton/år)
- $S$  = Transportavstånd (km)
- $K_{\text{väg}}$  = Transportkostnad för valt transportmedel (kr/ton·km)
- $L_{\text{tid}}$  = Tid för lastning och lossning (min/ton)
- $L_{\text{pris}}$  = Kostnad för lastning och lossning (kr/min)
- $K_{\text{rör}}$  = Kapitalkostnad för läggning av rörledning (kr/km·år)
- $El_{\text{rör}}$  = Elförbrukning vid pumpning (kWh/ton·km)
- $El_{\text{pris}}$  = Elpris (kr/kWh)

Liksom vid beräkning av kostnaden för transport av substrat kommer också emissionerna att beräknas på skilda sätt ifall transporten sker på väg eller med rörledning. För vägtransporter gäller ekvation (9.3), medan (9.4) beskriver emissionerna vid transport med rörledning.

$$(9.3) \quad \text{Emissioner}_{\text{väg}} = E_{\text{transport}} \cdot m \cdot S \quad (\text{mg} / \text{år})$$

$$(9.4) \quad \text{Emissioner}_{\text{rör}} = S \cdot m \cdot El_{\text{rör}} \cdot E_{\text{el}} \quad (\text{mg} / \text{år})$$

där  $S$  = Transportavstånd (km)  
 $m$  = Mängd substrat vid aktuell transport (ton/år)  
 $E_{transport}$  = Emissioner för aktuellt transportmedel vid vägtransport (mg/ton·km)  
 $El_{rör}$  = Elförbrukning vid pumpning av substrat i rörledning (kWh/ton·km)  
 $E_{el}$  = Emissioner vid elproduktion (mg/kWh)

För att kunna avgöra om en vald transport är bättre än en annan med avseende på någon faktor, exempelvis utsläppen av växthusgaser, måste de aktuella transporterna viktas mot det nyttiga arbete de uträttar. Vid substrattransport viktas transportkostnaden och emissionerna mot den biogasproduktion substratet ger upphov till. Biogasproduktionen för ett aktuellt substrat uttrycks enligt ekvation (9.5).

$$(9.5) \quad \text{Biogasproduktion} = m \cdot G \cdot H \quad (\text{kWh} / \text{år})$$

där  $m$  = Mängd substrat vid aktuell transport (ton/år)  
 $G$  = Biogasutbyte för aktuellt substrat (Nm<sup>3</sup>/ton)  
 $H$  = Energiinnehåll i producerad biogas (kWh/Nm<sup>3</sup>)

Den totala kostnaden för substrattransport till en biogasanläggning fås genom att transportkostnaden för de olika substraten adderas. På samma sätt bestäms den sammanlagda mängden emissioner och biogasanläggningens totala biogasproduktion.

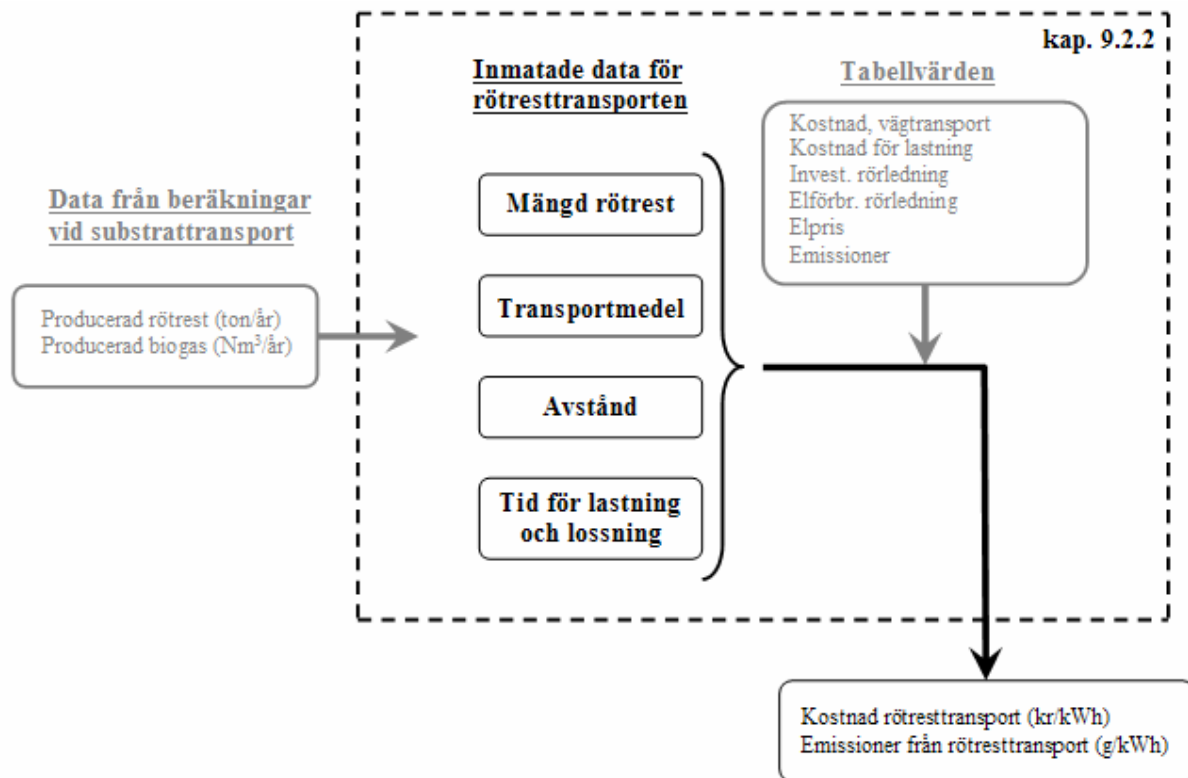
För att kvantifiera såväl kostnaderna som emissionerna för transporten av substrat, divideras de med energin i den producerade biogasen enligt ekvation (9.6) och (9.7).

$$(9.6) \quad \text{Kostnad}_{\text{tot}, kWh} = \frac{\text{Kostnad}_{\text{tot}}}{\text{Biogasproduktion}_{\text{tot}}} \quad (\text{kr} / \text{kWh})$$

$$(9.7) \quad \text{Emissioner}_{\text{tot}, kWh} = \frac{\text{Emissioner}_{\text{tot}}}{\text{Biogasproduktion}_{\text{tot}}} \quad (\text{mg} / \text{kWh})$$

### 9.2.2 Rötresttransport

För att bestämma kostnaderna och emissionerna vid rötresttransport nyttjas utöver inmatningar och tabellvärden också data från behandlingen av kostnaderna och emissionerna för substrattransporten. I Figur 12 visas de data som används vid beräkningarna. Här ses att mängden producerad biogas samt mängden ingående substrat även kommer användas vid beräkningarna för rötresttransporten.



**Figur 12.** Flödet av data vid beräkning av kostnaderna och emissionerna för transport av rötrest

Eftersom transporterna av rötrest likställs med transport av flytande substrat kommer såväl kostnaden som emissionerna för rötrest att uttryckas på samma sätt som för substrat. Skillnaden kommer först vid beräkning av kostnaderna och emissionerna i förhållande till energin i den producerade biogasen, se ekvation (9.12).

I litteraturen anges vanligen förhållandet 1/1 mellan mängden substrat in i reaktorn och mängden rötrest som tas ut (Berglund och Börjesson, 2003). För att kunna anpassa beräkningsprogrammet till de förutsättningar som råder för en specifik anläggning införs  $m_R$ , mängden rötrest, vilken används vid beräkningarna av kostnaderna och emissionerna vid rötresttransport.

Utifrån ovanstående antaganden beräknas kostnaden för transporten av rötrest precis som den för substrat fast med  $m_R$  istället för  $m$ .

$$(9.8) \quad \text{Kostnad}_{\text{väg}} = m_R \cdot (S \cdot K_{\text{väg}} + L_{\text{tid}} \cdot L_{\text{pris}}) \quad (\text{kr} / \text{år})$$

$$(9.9) \quad \text{Kostnad}_{\text{rör}} = S \cdot (K_{\text{rör}} + m_R \cdot El_{\text{rör}} \cdot El_{\text{pris}}) \quad (\text{kr} / \text{år})$$

där

- S = Transportavstånd (km)
- $m_R$  = Mängd rötrest vid aktuell rötresttransport (ton/år)
- $K_{\text{väg}}$  = Transportkostnad för valt transportmedel vid vägtransport (kr/ton·km)
- $L_{\text{tid}}$  = Tid för lastning och lossning vid transport på väg (min/ton)
- $L_{\text{pris}}$  = Kostnad för lastning och lossning (kr/min)
- $K_{\text{rör}}$  = Kapitalkostnad för läggning av rörledning (kr/km)
- $El_{\text{rör}}$  = Elförbrukning vid pumpning av rötrest i rörledning (kWh/ton·km)
- $El_{\text{pris}}$  = Elpris (kr/kWh)

Liksom kostnaderna bestäms emissionerna för rötresttransporten på samma sätt som för substrattransporten med enda skillnaden att mängden rötrest ( $m_R$ ) skrivs in istället för mängden substrat ( $m$ ).

$$(9.10) \quad Emissioner_{väg} = E_{transport} \cdot m_R \cdot S \quad (mg / \text{år})$$

$$(9.11) \quad Emissioner_{rör} = S \cdot m_R \cdot El_{rör} \cdot E_{el} \quad (mg / \text{år})$$

där  $E_{transport}$  = Emissioner för valt transportmedel (mg/ton·km)  
 $m_R$  = Mängd rötrest vid aktuell transport (ton/år)  
 $S$  = Transportavstånd (km)  
 $El_{rör}$  = Elförbrukning vid pumpning (kWh/ton·km)  
 $E_{el}$  = Emissioner vid elproduktion (mg/kWh)

Biogasproduktionen som en viss mängd rötrest motsvarar skrivs enligt ekvation (9.12).

$$(9.12) \quad Biogasproduktion_{Rötrest} = \frac{Biogasproduktion_{tot}}{m_{R,tot}} \cdot m_R \quad (kWh / \text{år})$$

där  $Biogasproduktion_{tot}$  = Biogasanläggningens totala biogasproduktion (kWh/år)  
 $m_R$  = Mängd rötrest vid aktuell rötresttransport (ton)  
 $m_{R,tot}$  = Total mängd producerad rötrest (ton/år)

Vid viktningen av kostnaden och emissionerna från en specifik transport delas den aktuella kostnaden eller emissionen med biogasproduktionen för den rötrest som transporten avser.

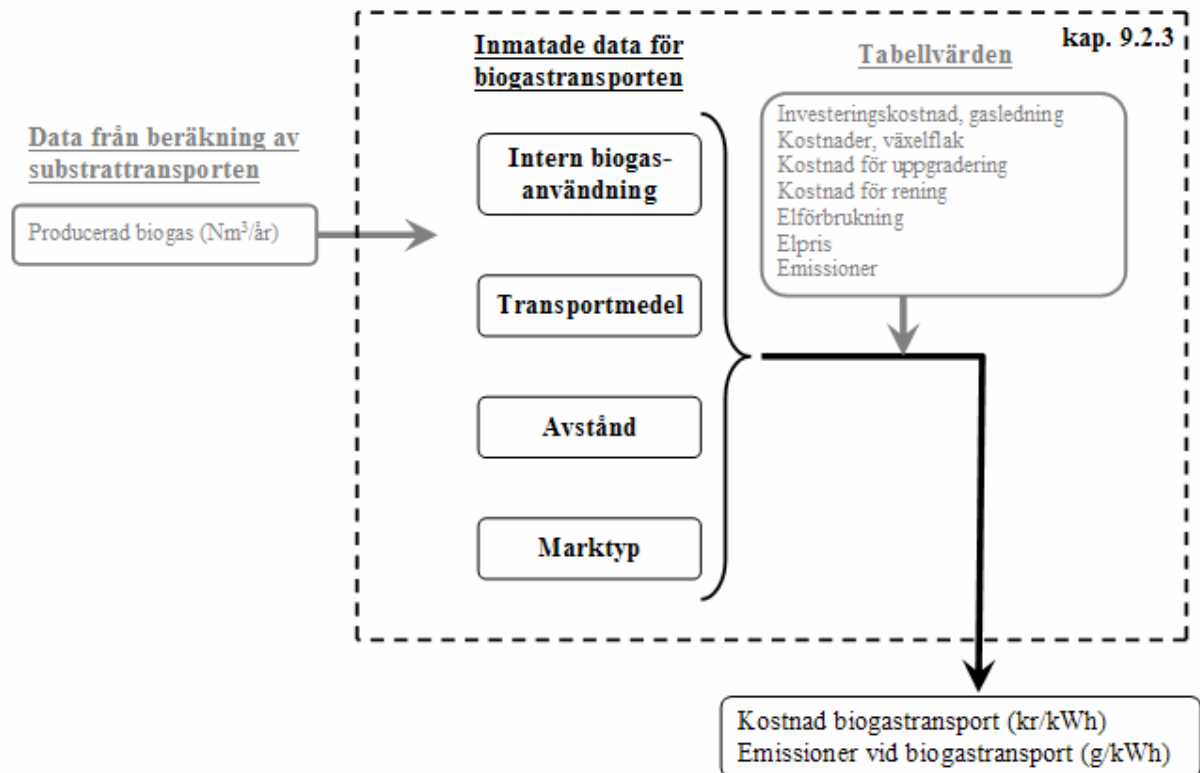
$$(9.13) \quad Kostnad_{kWh} = \frac{Kostnad}{Biogasproduktion_{Rötrest}} \quad (kr / kWh)$$

$$(9.14) \quad Emissioner_{kWh} = \frac{Emissioner}{Biogasproduktion_{Rötrest}} \quad (mg / kWh)$$

För hela systemet beräknas däremot såväl de viktade kostnaderna som emissionerna på samma sätt som för substrattransporten, d.v.s. genom att addera alla kostnader respektive emissioner och därefter dividera med systemets totala biogasproduktion. Se ekvation (9.6) och (9.7).

### 9.2.3 Biogastransport

Precis som vid transporten av rötrest och substrat finns det två varianter för att beräkna kostnaderna och emissionerna från transportsystemet för biogas beroende på de två transportsätten. I Figur 13 nedan redovisas de data som används vid beräkningen av kostnaderna och emissionerna som uppkommer vid transport av biogas.



**Figur 13.** De parametrar som används vid beräkningarna för biogastransporten

Den mängd biogas som transporteras beror av den producerade mängden biogas samt den interna användningen och uttrycks enligt ekvation (9.15).

$$(9.15) \quad Gas_{transp.} = Biogasproduktion_{tot} \cdot (100 - V) \quad (Nm^3 / \text{år})$$

där  $V =$  Internt värmebehov (%)

Kostnaden beräknas som sagt även för biogastransporten på två olika sätt, ekvation (9.16) och (9.17), beroende på vilket transportmedel som används.

$$(9.16) \quad Kostnad_{gasledning} = K_{gasledning} \cdot S + Gas_{transp.} \cdot (El_{gasledning} \cdot El_{pris} + b) \quad (kr / \text{år})$$

$$(9.17) \quad Kostnad_{växel} = K_{Inv,växel} + Gas_{transp.} \cdot (K_{tryck} + K_{transp.} \cdot S) \quad (kr / \text{år})$$

där

- $K_{gasledning}$  = Kapitalkostnad för läggning av gasledning (kr/m·år)
- $S$  = Transportavstånd (km)
- $El_{gasledning}$  = Elförbrukning vid transport med gasledning (kWh/Nm<sup>3</sup>)
- $El_{pris}$  = Elpris (kr/kWh)
- $b$  = Kostnad för behandling av biogas (kr/Nm<sup>3</sup>)
- $K_{Inv,växel}$  = Kapitalkostnad för växelflak (kr/år)
- $K_{tryck}$  = Kostnad för trycksättning vid växelflakstransport (kr/Nm<sup>3</sup>)
- $K_{transp.}$  = Transportkostnad för aktuell växelflakstransport (kr/km·Nm<sup>3</sup>)

Emissionerna vid transport med gasledning härrör endast från den förbrukade elen då endast driftfasen granskats. I fallet med växelflak tillkommer också emissioner från lastbilstransporten. Vid transport av biogas på växelflak förbrukas el i flera steg. Först vid de

olika reningsprocesserna och vid eventuell uppgradering samt då gasen trycksätts. Som tidigare nämnts finns inga uppgifter om elförbrukningen vid rening av biogas, varför emissionerna från denna förbrukning inte kan bestämmas. Summan av emissionerna från transportsystemen för biogas uttrycks då som ekvation (9.18) och (9.19)

$$(9.18) \quad Emissioner_{gasledning} = E_{el} \cdot Gas_{transp.} \cdot El_{gasledning} \quad (mg / \text{år})$$

$$(9.19) \quad Emissioner_{växel} = (E_{växel} \cdot S + E_{el} \cdot (El_{tryck} + El_{uppgr.})) \cdot Gas_{transp.} \quad (mg / \text{år})$$

där  $E_{el}$  = Emissioner från elproduktion (mg/kWh)  
 $El_{gasledning}$  = Elförbrukning vid transport med gasledning (kWh/Nm<sup>3</sup>)  
 $E_{växel}$  = Emissioner från lastbilstransporten (mg/km·Nm<sup>3</sup>)  
 $S$  = Transportavstånd (km)  
 $El_{tryck}$  = Elförbrukning vid trycksättning till växelflak (kWh/Nm<sup>3</sup>)  
 $El_{uppgr.}$  = Elförbrukning vid uppgradering av biogas (kWh/Nm<sup>3</sup>)

Precis som vid de tidigare transporterna görs en viktning av kostnaderna och emissionerna mot energin i biogasen. Då biogastransporten behandlas utförs viktningen mot energin i den gas som transporteras,  $Gas_{transp.}$ .

$$(9.20) \quad Kostnad_{Biogastransp.} = \frac{Kostnad_{tot}}{Gas_{transp.} \cdot H} \quad (kr / kWh)$$

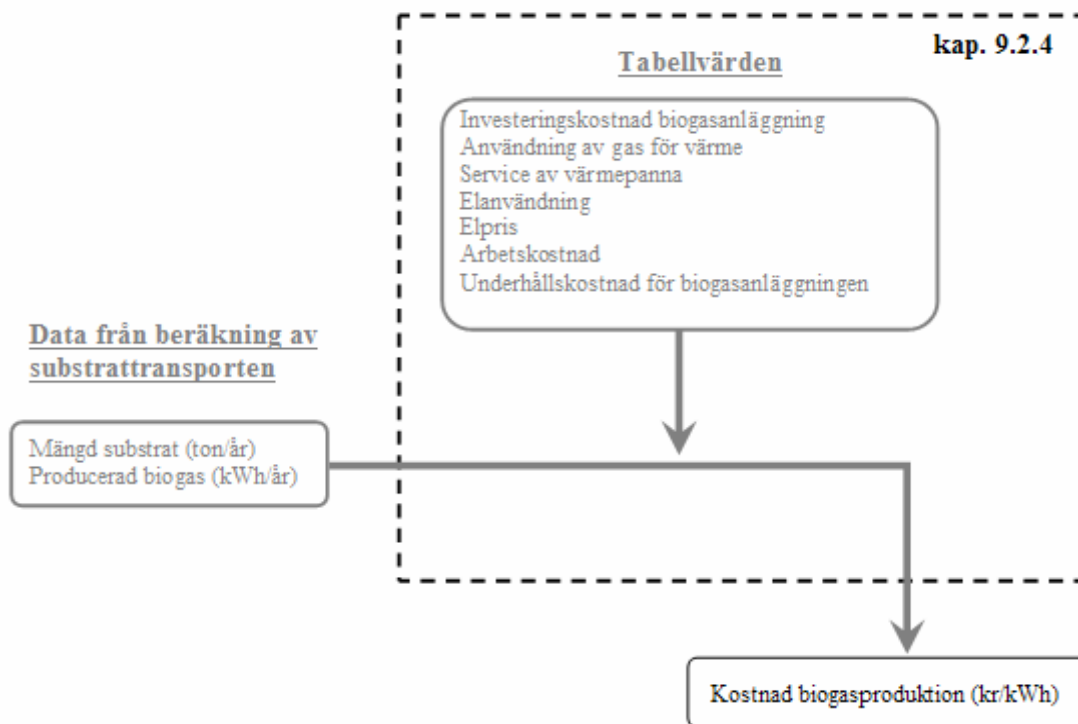
$$(9.21) \quad Emissioner_{Biogastransp.} = \frac{Emissioner_{tot}}{Gas_{transp.} \cdot H} \quad (mg / kWh)$$

där  $H$  = Energiinnehållet i den transporterade biogasen (kWh/Nm<sup>3</sup>)

Till skillnad från de andra transporterna antas att all biogas transporteras med samma transportmedel i beräkningsprogrammet. Således är  $Kostnad_{tot} = Kostnad_{gasledning}$  alt.  $Kostnad_{växel}$ .

#### 9.2.4 Beräkning av produktionskostnad för biogasen

För att beräkna produktionskostnaden för den producerade biogasen krävs inga nya inmatningar, se Figur 14. Den information som används kommer från inmatningen tillhörande substrattransporten samt värden i kalkylbladet tabellvärden.



**Figur 14.** Data för beräkning av produktionskostnad för biogasen

Storleken som krävs på röt-kammaren beror av två faktorer, mängden substrat och uppehållstiden för de valda substraten. Upphållstiden skrivs enligt ekvation (9.22) och därav reaktorvolymen som (9.23).

$$(9.22) \quad T_{\text{uppehåll}} = \frac{m_1 \cdot T_1 + \dots + m_n \cdot T_n}{m_1 + \dots + m_n} \quad (\text{dagar})$$

$$(9.23) \quad \text{Volym}_{\text{reaktor}} = \frac{m_1 + \dots + m_n}{0,9} \cdot \frac{T_{\text{uppehåll}}}{365} = \frac{m_1 \cdot T_1 + \dots + m_n \cdot T_n}{0,9 \cdot 365} \quad (m^3)$$

där  $m_1 \dots m_n$  = Mängd av de olika substraten (ton)  
 $T_1 \dots T_n$  = Upphållstid för de olika substraten (dagar)

Efter att investeringskostnaden bestämts kan den årliga kostnaden för biogasanläggningen beräknas. Denna kostnad skrivs enligt ekvation (9.24).

$$(9.24) \quad \text{Kostnad}_{\text{Anl.}} = K_{\text{kapital}} + K_{\text{arbete}} \cdot T_{\text{drift}} + El \cdot El_{\text{pris}} + V_{\text{service}} \cdot V + U \cdot m \quad (\text{kr} / \text{år})$$

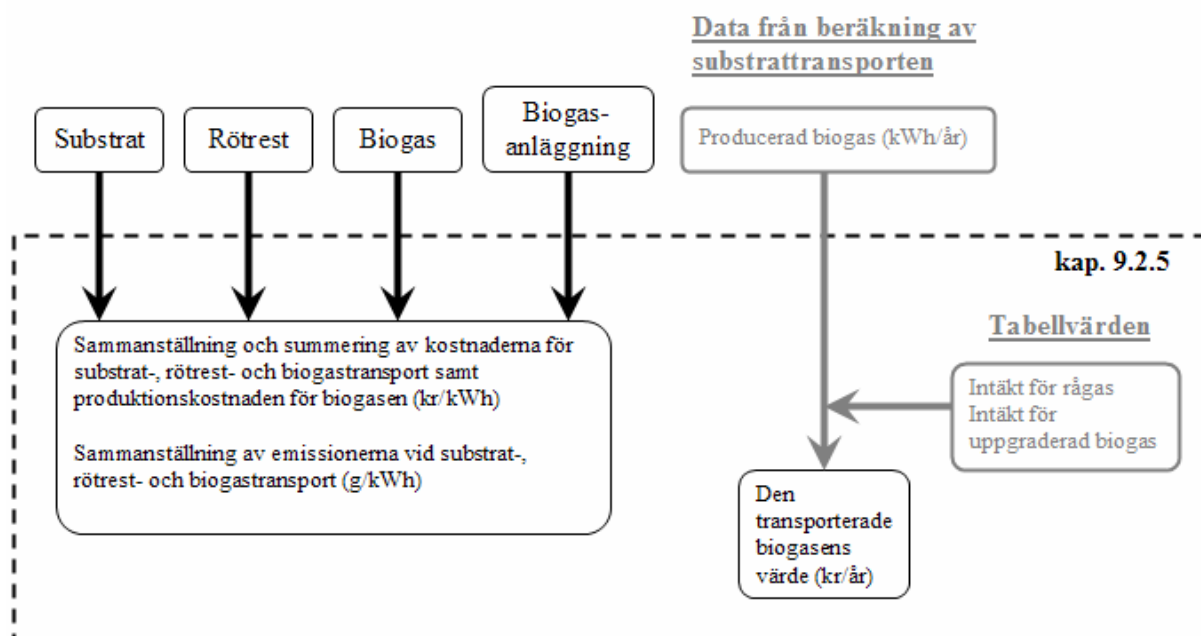
där  $K_{\text{kapital}}$  = Kapitalkostnad för biogasanläggningen (kr/år)  
 $K_{\text{arbete}}$  = Kostnad för arbete vid anläggningen (kr/h)  
 $T_{\text{drift}}$  = Tidsåtgång för drift av anläggningen (h/år)  
 $El$  = Elanvändning för anläggningen (kWh/kWh<sub>gas</sub>)  
 $El_{\text{pris}}$  = Elpris (kr/kWh)  
 $V_{\text{service}}$  = Kostnad för underhåll av värmepanna (kr/kWh<sub>värme</sub>)  
 $V$  = Internt värmebehov för biogasanläggningen (kWh<sub>värme</sub>/år)  
 $U$  = Underhåll av anläggningen (kr/ton substrat)  
 $m$  = Mängd rötat substrat (ton/år)



Kapitalkostnaden beräknas med annuitetsmetoden, se kapitel 2.2.6 där data för denna beräkning återfinns. Underhållet av rötningsanläggningen antas vara 4,5 kr per ton rötat substrat och elanvändningen antas vara 3 % av energiinnehållet i den producerade gasen. Kostnaden för service av värmepannan antas vara 0,15 öre per producerad kWh värme och det interna värmebehovet uppskattas till 25 % av energiinnehållet för den producerade biogasen. Den arbetstid biogasanläggningen kräver sätts till 2 timmar i veckan och lönen för att utföra arbetet till 200 kr/h. (Edström et. al, 2005)

### 9.2.5 Kalkylblad för sammanfattning av resultat

Till det sista kalkylbladet görs liksom för kap 9.2.5 inga nya inmatningar. Detta blad fungerar i princip som tidigare nämnts som en summering av de olika beräkningarna. Det som tillkommer i detta steg är en beräkning av den transporterade biogasens värde vid försäljning. Försäljningspriset har satts till 0,50 kr/kWh för uppgraderad biogas och 0,25 kr/kWh för icke uppgraderad (Nilsson, 2006). I begreppet icke uppgraderad biogas ingår såväl rågas som avfuktad och avsvavlad biogas.



Figur 15. Sammanställning av kostnader och emissioner samt beräkning av intäkter vid försäljning av biogasen

Vid summeringen läggs transportkostnaden för substrattransporterna ihop ifall det är mer än en substrattransport. Likadant görs om flera rötresttransporter matats in. En sammanställning görs sedan tillsammans med transport- och produktionskostnaden för biogasen. De olika kostnaderna är då normerade mot energiinnehållet, antingen i den transporterade massan eller i den transporterade gasen. Eftersom de inte är normerade efter samma energimängd kan de inte heller adderas för att få en sammanlagd transportkostnad för hela biogassystemet.

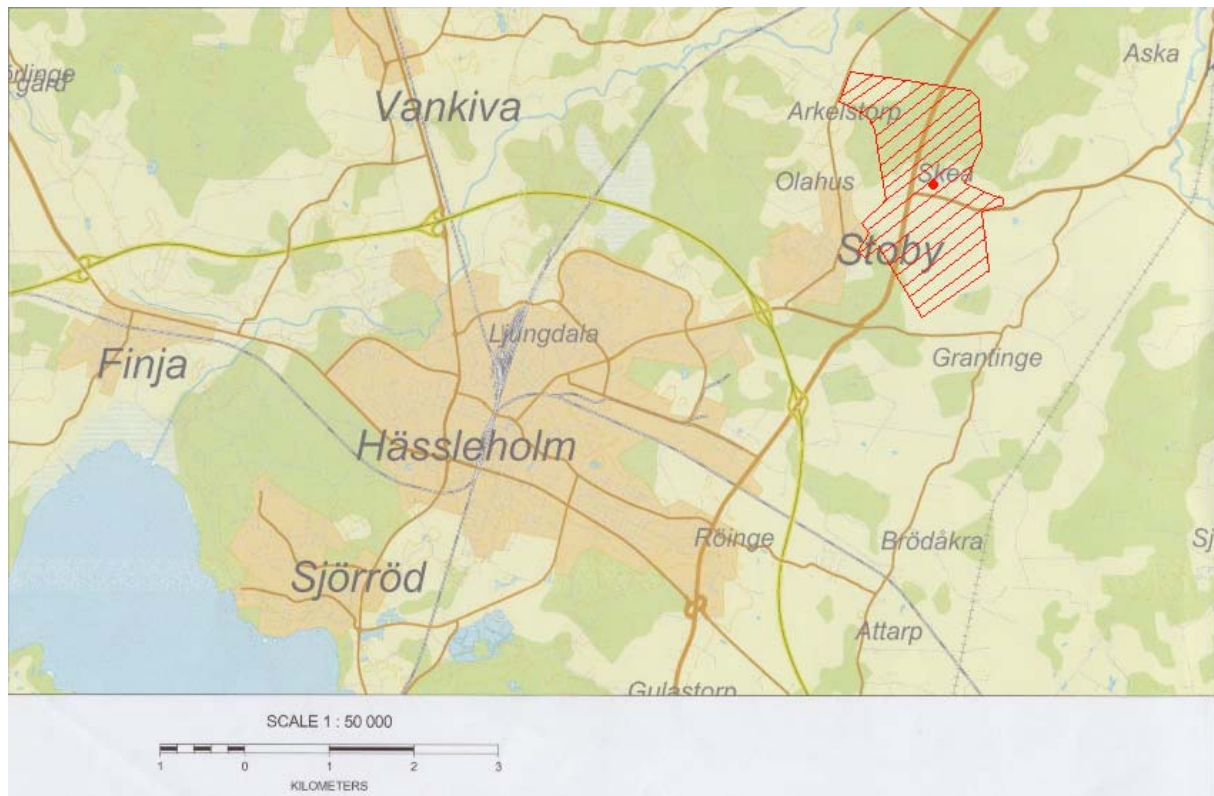


## 10 Tillämpning av programmet – fallstudie Skea gård

För att kunna studera beräkningsprogrammets funktionalitet görs en testkörning med värden för ett verkligt fall.

### 10.1 Beskrivning av testobjekt – Skea gård

Skea gård ligger c:a 5 km nordöst om Hässleholm (se Figur 16 nedan) och drivs av Charlotte och Glenn Oredsson. Gården är en ekologisk växtodlingsgård.



Figur 16. Kartutdrag från Hässleholms kommuns baskarta där Skea gårds ägor har ritats in

Skea gårds intresse för en biogasanläggning på gården bottnar i en önskan att få ett helhetsgrepp om gårdens energiförsörjning. Planen är att med tiden konvertera två traktorer till biogasdrift och att investera i ett kraftvärmeaggregat för produktion av el och värme på gården. För att kunna testa alla delar av beräkningsprogrammet antas dock att den producerade biogasen ska transporteras och säljas. En annan viktig anledning till satsningen på biogasproduktion är rötrestens goda egenskaper som gödsel. Den gödsel som används idag är nötflytgödsel som levereras från en närliggande mjölkproducent.

De substrat som anläggningen kommer röta är främst nötflytgödsel samt en mindre del matavfall. Det finns två alternativa utformningar för den tänkta biogasanläggningen på Skea gård.

- **Alternativ 1**

Rötkammare dimensionerad för totalt 2500 m<sup>3</sup> substrat per år, varav 2000 m<sup>3</sup> är nötflytgödsel från en närliggande mjölkproducent och 500 m<sup>3</sup> matavfall från Hässleholms kommun. Planen är att gödseln ska transporteras till Skea gård med traktor och 15 m<sup>3</sup> tankvagn, sträckan för detta transportsätt är c:a 4 km. Matavfallet

från Hässleholms kommun kommer att transporteras med lastbil. Denna transport ombesörjs och bekostas dock av Hässleholms Renhållare. Transportavståndet för matavfallet uppskattas till 7 km.

Den rötrest (2500 m<sup>3</sup>) som produceras ska spridas på gårdens åkrar. Planen är att transporten från rötningsanläggningen till åkern ska lösas med en 600 meter lång rörledning.

- **Alternativ 2**

Det andra alternativet är en större anläggning med kapacitet att röta totalt 8500 m<sup>3</sup> substrat, även i detta fall nötflytgödsel och matavfall. Anläggningen ska röta 8000 m<sup>3</sup> nötflytgödsel. Planerna är att transporten till gården ska ske med rörledning från en gård på 2 km avstånd. Liksom för det förstnämnda alternativet står Hässleholms Renhållare för transporten av de 500 m<sup>3</sup> matavfall som årligen ska levereras till biogasanläggningen.

Av den rötrest som produceras ska 2500 m<sup>3</sup> spridas på gårdens egna åkrar, medan 6000 m<sup>3</sup> ska levereras tillbaka till den gård som gödseln kommer från. Transporten av rötresten är tänkt att lösas med rörledning.

Förutsättningarna för de båda alternativen finns samlade i Tabell 25.

**Tabell 25.** Sammanställning av data för de två alternativa anläggningarna på Skea gård.

<b>Alternativ 1</b>	<b>Nötflytgödsel</b>	<b>Matavfall</b>	<b>Rötrest</b>	<b>Enhet</b>	
Mängd	2000	500	2500	<b>ton<sup>1</sup></b>	
Avstånd	4	7	0,6	<b>Km</b>	
<b>Alternativ 2</b>	<b>Nötflytgödsel</b>	<b>Matavfall</b>	<b>Rötrest</b>	<b>Rötrest</b>	<b>Enhet</b>
Mängd	8000	500	2500	6000	<b>ton<sup>1</sup></b>
Avstånd	2	7	0,6	2	<b>Km</b>

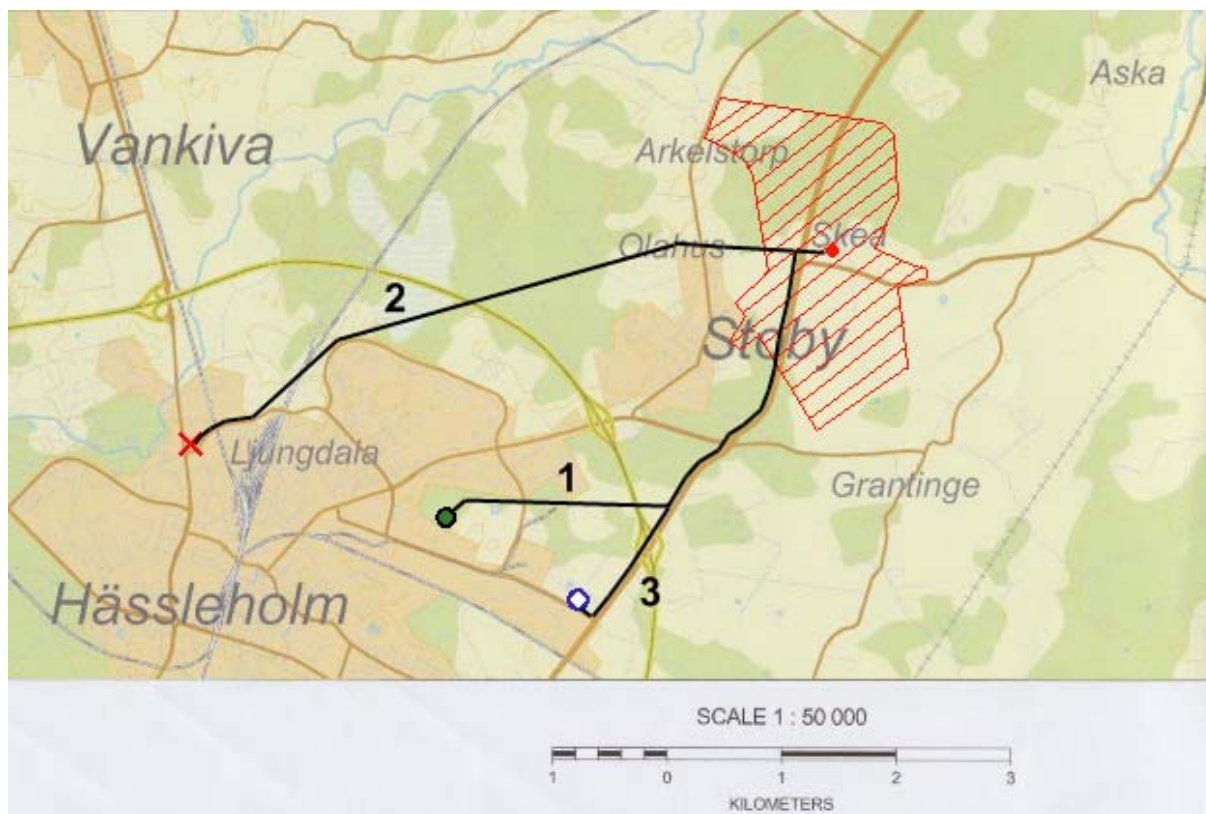
<sup>1</sup> Densiteten för såväl substraten som för rötresten antas vara 1 ton per m<sup>3</sup>

Den biogas som produceras skulle kunna transporteras in till Hässleholms stad där det finns planer att anlägga en eller två tankningsstationer för fordonsgas. Ett annat alternativ är att leverera biogasen till fjärrvärmeverket som ligger på Hässleholms östra industriområde. På värmeverket finns sedan tidigare en gasmotor som har försetts med deponigas från avfallsdeponin i Vankiva. Den deponigas som utvinns används numera internt vid avfallsanläggningen och Hässleholms fjärrvärmenät försörjs med värme från eldning av brännbart avfall och flis. Båda dessa bränslen är väldigt billiga och därför svåra för biogasen att konkurrera med. Det är därför inte troligt att sälja biogasen till värmeverket. Eftersom fjärrvärmeverket ligger på industriområdet är det ändå intressant att undersöka förutsättningarna för transport dit, då det är en möjlig lokalisering för en framtida uppgraderingsanläggning för biogas.

Transport av den producerade biogasen kan lösas med växelflak på lastbil eller med gasledning. Som tidigare nämnts finns tre tänkbara leveranspunkter. Avståndet för transport med gasledning från Skea gård till de tre leveranspunkterna finns redovisade i Tabell 26, där anges också hur långt gasledningen ska dras genom olika typer av mark för de tre alternativen. I Figur 17 finns sträckningen för de tre alternativa gasledningarna inritad.

**Tabell 26.** Avståndet från Skea gård till olika leveranspunkter vid transport med gasledning

Slutdestination gasledning	Åkermark	Egen åkermark	Hårdgjord	Egen hårdgjord	Totalt avstånd
<b>1. Fjärrvärmeverket/ Industriområdet</b>	4,6	1,3	0,2	0	4,8
<b>2. Tankställe/Göinge bil</b>	5,7	0,5	1	0	6,7
<b>3. Tankställe/Bergendahls</b>	3,9	1,3	0,4	0	4,3

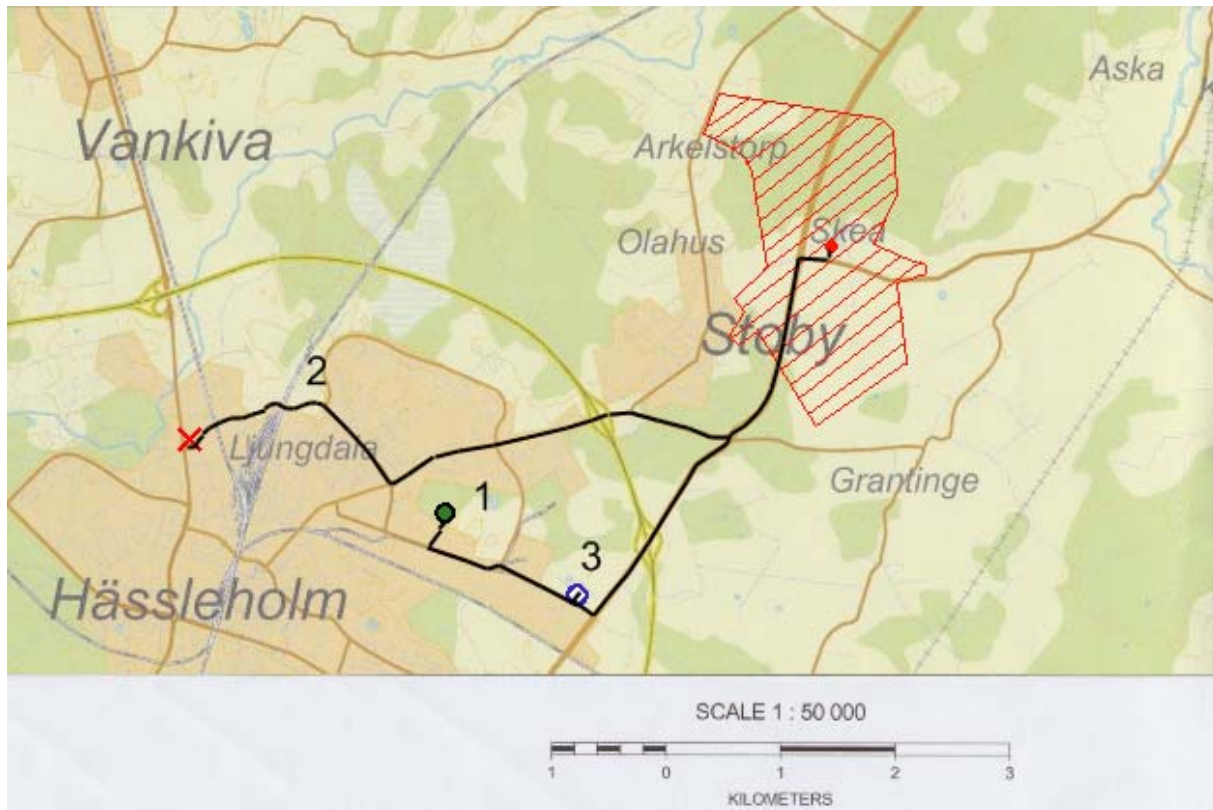


**Figur 17.** Sträckningen av gasledning från Skea gård till de tre alternativa leveranspunkterna

Ifall biogastransporten kommer att lösas med lastbil och växelflak sker transporten via vägnätet. De mest troliga fårdrutternas finns inritade i Figur 18, medan avstånden för de olika färdvägarna återfinns i Tabell 27.

**Tabell 27.** Avståndet från Skea gård till olika leveranspunkter vid transport med växelflak

Slutdestination växelflak	Avstånd (km)
<b>1. Fjärrvärmeverket/industriområdet</b>	5,9
<b>2. Tankställe/Göinge bil</b>	7,5
<b>3. Tankställe/Bergendahls</b>	4,7



**Figur 18.** De mest troliga färdruterna till de tre leveranspunkterna för transport med lastbil och växelflak

Vid inmatning av transporterna i beräkningsprogrammet krävs vissa justeringar för att få bästa möjliga överensstämmelse med verkligheten.

Eftersom matavfall inte ingår som ett valbart substrat i beräkningsprogrammet har istället det mest överensstämmande substratet valts. Matavfall har en metanproduktion på  $115 \text{ Nm}^3$  per ton medan ensilage, som är mest likt, har en produktion på  $112 \text{ Nm}^3/\text{ton}$  (Berglund och Börjesson, 2003).

Transporten av matavfallet löses med lastbil anpassad för flytande substrat. Troligen väljs en medeltung lastbil (lastkapacitet kring  $14 \text{ m}^3$ ) eftersom det rör sig om begränsade mängder och att platserna där matavfallet hämtas ligger inne i Hässleholms stad, där en större lastbil kan vara olämplig.

I beräkningsprogrammet finns ingen lastbil med tank i nämnd storlek, utan endast en större modell med lastkapacitet  $40 \text{ m}^3$ . Ensilage, som ju valts att representera matavfallet i programmet, är ett fast substrat. De transportmedel som då finns att välja bland i programmet är de som är anpassade för fasta substrat. Här finns lämpligt nog en lastbil med lastkapaciteten 14 ton. Därför antas att transporten av matavfallet sker med en sådan lastbil. Vad gäller emissionerna blir det ingen skillnad mellan en lastbil avsedd för flytande eller fasta substrat. Kostnadsmissigt blir det förmodligen en liten underskattning. Lastbilar för flytande substrat är nämligen något dyrare. Denna transport kommer dock att bekostas av Hässleholms Renhållare och inte av Skea gård. För att erhålla detta resultat med beräkningsprogrammet sätts sträckan för transport av matavfallet till noll. Utfallet blir då att både kostnad och emissioner från transporten av matavfallet enligt beräkningsprogrammet noll.

För att få med emissionerna för transporten måste därför denna inmatning göras två gånger. En gång med sträckan satt till noll för att kunna avläsa den totala kostnaden för transport av substraten till biogasanläggningen och därefter en inmatning då sträckan för matavfallstransporten anges för att få fram de emissioner denna transport medför.

Även vid transport av rötrest i alternativ 2 måste vissa justeringar göras. En mindre mängd, 2500 ton, ska transporteras 600 m till en brunn för att sedan spridas på Skea gårds ägor. Utöver denna mängd ska resterande 6000 ton transporteras till den mjölkproducent som levererar nötflytgödsel till biogasanläggningen. Brunnen är belägen mellan Skea gård och den mjölkproducent som levererar nötflytgödsel. Dessa geografiska förutsättningar medför att det räcker att lägga en rörledning mellan de båda gårdarna istället för en separat ledning till Skea gårds gödselbrunn i fält och en separat ledning för leverans av rötrest till mjölkproducenten.

Om rötreststransporten matas in i programmet som två skilda transporter, en på 2500 ton och 600 meter samt en på 6000 ton och 2 km, kommer beräkningarna att utföras för två separata rörledningar. Eftersom kostnaderna för transport med rörledning till stor del består av investeringskostnader kommer detta att resultera i en mycket högre kostnad än den verkliga. Det bästa alternativet är att mata in att hela mängden transporteras hela sträckan, 8500 ton och 2 km. Då blir resultatet en något högre kostnad än den verkliga till följd av att elförbrukningen beräknas som om hela mängden transporteras hela sträckan. Eftersom elförbrukningen utgör en väldigt liten del av kostnaden vid transport med rörledning kommer felet i detta fall att bli mycket mindre.

Eftersom det saknas uppgifter om till vilken av leveranspunkterna biogasen ska levereras väljs industriområdet slumpmässigt ut för att användas vid inmatningarna i beräkningsprogrammet.

## **10.2 Resultat av test av programmet**

### **10.2.1 Alternativ 1**

Resultaten från beräkningsprogrammet för de förutsättningar som råder för den tänkta biogasanläggningen på Skea gård redovisas härunder i Tabell 28 - Tabell 34.

Kostnaderna för transporterna återfinns i Tabell 28, Tabell 29 och Tabell 30. Kostnaden för transport av nötflytgödsel som levereras från granngården har beräknats för de möjliga transportalternativen, medan kostnaden för transport av matavfallet är satt till noll i samtliga fall eftersom detta arbete bekostas av Hässleholms Renhållare. Längst ner i de tre tabellerna redovisas det alternativ som utifrån beräkningsprogrammet medför lägst kostnad.

**Tabell 28.** Kostnad för transport av substrat till biogasanläggningen, alternativ 1

Substrat	Transportmedel	Avstånd (km)	Kostnad (kr/år)	Kostnad (kr/kWh)
Nötflytgödsel	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	4	15000	0,05
Nötflytgödsel	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	4	59000	0,20
Nötflytgödsel	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	4	40000	0,14
Nötflytgödsel	Rörledning	2	151000	0,52
Matavfall	Lastbil (14 ton)	7	0	0,00

**Alternativ med lägst kostnad:**

Nötflytgödsel	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	4	15000	0,05
Matavfall	Lastbil (14 ton)	7	0	0,00
<b>Totalt</b>			15000	0,02

**Tabell 29.** Kostnad för transport av rötrest från biogasanläggningen, alternativ 1

Transporterad rötrest (ton/år)	Transportmedel	Avstånd (km)	Kostnad (kr/år)	Kostnad (kr/kWh)
2500	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	1	14000	0,02
2500	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	1	30000	0,04
2500	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	1	26000	0,03
2500	Rörledning	0,6	45000	0,05

**Alternativ med lägst kostnad:**

2500	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	1	14000	0,02
------	------------------------------	---	-------	------

**Tabell 30.** Kostnad för transport av biogas från biogasanläggningen, alternativ 1

Transportmedel	Transporterad biogas (Nm <sup>3</sup> /år)	Avstånd (km)	Kostnad (kr/år)	Kostnad (kr/kWh)
Växelflak, 300 bar, renad	106250	5,9	253000	0,40
Växelflak, 200 bar, renad	106250	5,9	255000	0,40
Växelflak, 76 bar, renad	106250	5,9	277000	0,44
Växelflak, 300 bar, uppgraderad	65722	5,9	358000	0,56
Växelflak, 200 bar, uppgraderad	65722	5,9	359000	0,56
3,8 bar, 32 mm, uppgraderad	65722	4,8	308000	0,49
3,8 bar, 63 mm, obehandlad	106250	4,8	150000	0,24
0,3 bar, 63 mm, uppgraderad	65722	4,8	328000	0,52
0,3 bar, 125 mm, obehandlad	106250	4,8	191000	0,30

**Alternativ med lägst kostnad:**

3,8 bar, 63 mm, obehandlad	106250	4,8	150000	0,24
----------------------------	--------	-----	--------	------

I Tabell 31 redovisas de emissioner som uppstår vid transportererna av substratet. Emissionerna från transporten av rötresten och biogasen återfinns i Tabell 32 och Tabell 33. Vid transport av biogas med gasledning har minsta möjliga dimension valts på gasledningen för att erhålla den lägsta kostnaden med detta transportsätt.



**Tabell 31.** Emissionerna som uppkommer vid transport av substrat till biogasanläggningen, alternativ 1

Substrat	Mängd (ton/år)	Transportmedel	Avstånd (km)	Växthuseffekt <sup>1</sup>	Förurning <sup>2</sup>	Övergödning <sup>3</sup>	Partiklar <sup>4</sup>
Nötflytgödsel	2000	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	4	1637	7,06	1,259	0,168
Nötflytgödsel	2000	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	4	5290	33,71	6,043	0,772
Nötflytgödsel	2000	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	4	4332	27,49	4,928	0,634
Nötflytgödsel	2000	Rörledning	2	17	0,06	0,005	0,004
Matavfall	500	Lastbil (14 ton)	7	903	4,14	0,733	0,094

<sup>1</sup> Växthuseffekt anges i mg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>2</sup> Förurning anges i mg SO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>3</sup> Övergödning anges i mg PO<sub>4</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>4</sup> Partiklar anges i mg partiklar per kWh

**Tabell 32.** Emissionerna vid transport av rötrest från biogasanläggningen, alternativ 1

Transporterad rötrest (ton/år)	Transportmedel	Avstånd (km)	Växthuseffekt <sup>1</sup>	Förurning <sup>2</sup>	Övergödning <sup>3</sup>	Partiklar <sup>4</sup>
2500	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	1	174	0,75	0,134	0,018
2500	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	1	564	3,59	0,644	0,082
2500	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	1	462	2,93	0,525	0,082
2500	Rörledning	0,6	2	0,01	0,001	0,001

<sup>1</sup> Växthuseffekt anges i mg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>2</sup> Förurning anges i mg SO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>3</sup> Övergödning anges i mg PO<sub>4</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>4</sup> Partiklar anges i mg partiklar per kWh

**Tabell 33.** Emissionerna vid transporten av biogas från Skea gård till fjärrvärmeverket i Hässleholm, alternativ 1

Transporterad biogas	Transportmedel	Avstånd (km)	Växthuseffekt <sup>1</sup>	Förurning <sup>2</sup>	Övergödning <sup>3</sup>	Partiklar <sup>4</sup>
106250	Växelflak, 300 bar, renad	5,9	3514	11,87	1,011	0,923
106250	Växelflak, 200 bar, renad	5,9	3577	12,08	1,029	0,939
106250	Växelflak, 76 bar, renad	5,9	4269	14,42	1,228	1,121
65722	Växelflak, 300 bar, uppgraderad	5,9	2195	7,41	0,631	0,576
65722	Växelflak, 200 bar, uppgraderad	5,9	2197	7,42	0,632	0,577
65722	3,8 bar, 32 mm, uppgraderad	4,8	1565	5,29	0,450	0,411
106250	3,8 bar, 63 mm, obehandlad	4,8	301	1,02	0,087	0,079
65722	0,3 bar, 63 mm, uppgraderad	4,8	1406	4,75	0,404	0,369
106250	0,3 bar, 125 mm, obehandlad	4,8	43	0,15	0,013	0,011

<sup>1</sup> Växthuseffekt anges i mg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>2</sup> Förurning anges i mg SO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>3</sup> Övergödning anges i mg PO<sub>4</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>4</sup> Partiklar anges i mg partiklar per kWh

Sista tabellen i detta avsnitt, Tabell 34, innehåller en fingervisning till storleken och produktionskostnaden för en biogasanläggning enligt förutsättningarna för alternativ 1. Här redovisas också det värde den producerade biogasen har vid försäljning i form av rågas eller uppgraderad biogas.

**Tabell 34.** Produktionskostnad och försäljningsvärde för biogasen enligt alternativ 1.

<b>Biogasanläggning</b>	
Reaktorvolym (m <sup>3</sup> )	230
Total kostnad (kr/år)	171000
Produktionskostnad (kr/kWh)	0,27
<b>Beräknat försäljningsvärde på transporterad biogas (kr/år)</b>	
Rågas (kr/år) <sup>1</sup>	159000
Uppgraderad (kr/år) <sup>2</sup>	318000

<sup>1</sup> Förutsätter priset 0,25 kr/kWh vid försäljning (Nilsson, 2006)

<sup>2</sup> Förutsätter priset 0,50 kr/kWh vid försäljning (Nilsson, 2006)

## 10.2.2 Alternativ 2

Kostnaderna och emissionerna för alternativ 2 ges liksom för alternativ 1 uppdelat i kostnader och emissioner för de olika transporterna. I Tabell 35 - Tabell 37 ges kostnaderna för transporterna och i Tabell 38 - Tabell 40 presenteras emissionerna för transporterna.

Kostnaden för transport av nötflytgödsel som levereras från granngården har beräknats för de möjliga transportalternativen, medan kostnaden för transport av matavfallet är satt till noll i samtliga fall eftersom detta arbete bekostas av Hässleholms Renhållare. Längst ner i de tre tabellerna redovisas det alternativ som utifrån beräkningsprogrammet medför lägst kostnad. I Tabell 41 redovisas produktionskostnaden för biogasanläggningen samt de möjliga intäkterna vid försäljning av biogasen.

**Tabell 35.** Kostnad för transport av substrat till biogasanläggningen, alternativ 2

Substrat	Transportmedel	Avstånd (km)	Kostnad (kr/år)	Kostnad (kr/kWh)
Nötflytgödsel	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	4	61000	0,05
Nötflytgödsel	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	4	236000	0,20
Nötflytgödsel	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	4	161000	0,14
Nötflytgödsel	Rörledning	2	151000	0,13
Matavfall	Lastbil (14 ton)	7	0	0,00

Alternativ med lägst kostnad:

Nötflytgödsel	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	4	61000	0,05
Matavfall	Lastbil (14 ton)	7	0	0,00
<b>Totalt</b>			<b>61000</b>	<b>0,04</b>

**Tabell 36.** Kostnad för transport av rörest från biogasanläggningen, alternativ 2

Transporterad rörest (ton)	Transportmedel	Avstånd (km)	Kostnad (kr/år)	Kostnad (kr/kWh)
8500	Rörledning	0,6 ; 2	151000	0,09
2500	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	1	14000	0,03
6000	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	4	46000	0,04
2500	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	1	30000	0,06
6000	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	4	177000	0,15
2500	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	1	26000	0,05
6000	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	4	121000	0,10

Alternativ med lägst kostnad:

2500	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	1	14000	0,03
6000	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	4	46000	0,04
<b>Totalt</b>			<b>59000</b>	<b>0,03</b>

**Tabell 37.** Kostnad för biogastransporten från anläggningen in till Hässleholm, alternativ 2

Transportmedel	Transporterad biogas (Nm <sup>3</sup> /år)	Avstånd (km)	Kostnad (kr/år)	Kostnad (kr/kWh)
Växelflak, 300 bar, renad	215000	5,9	401000	0,31
Växelflak, 200 bar, renad	215000	5,9	405000	0,31
Växelflak, 76 bar, renad	215000	5,9	449000	0,35
Växelflak, 300 bar, uppgraderad	132990	5,9	613000	0,48
Växelflak, 200 bar, uppgraderad	132990	5,9	615000	0,48
3,8 bar, 63 mm, uppgraderad	132990	4,8	515000	0,40
3,8 bar, 63 mm, obehandlad	215000	4,8	159000	0,12
0,3 bar, 125 mm, uppgraderad	132990	4,8	550000	0,43
0,3 bar, 125 mm, obehandlad	215000	4,8	192000	0,15

Alternativ med lägst kostnad:

3,8 bar, 63 mm, obehandlad	215000	4,8	159000	0,12
----------------------------	--------	-----	--------	------

**Tabell 38.** Emissionerna från transport av substrat till biogasanläggningen, alternativ 2

Substrat	Mängd (ton/år)	Transportmedel	Avstånd (km)	Växthus-Effekt <sup>1</sup>	Förurning <sup>2</sup>	Övergödning <sup>3</sup>	Partiklar <sup>4</sup>
Nötflytgödsel	8000	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	4	1637	7,06	1,259	0,168
Nötflytgödsel	8000	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	4	5290	33,71	6,043	0,772
Nötflytgödsel	8000	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	4	4332	27,49	4,928	0,634
Nötflytgödsel	8000	Rörledning	2	17	0,06	0,005	0,004
Matavfall	500	Lastbil (14 ton)	7	903	4,14	0,733	0,094

<sup>1</sup> Växthuseffekt anges i mg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>2</sup> Förurning anges i mg SO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>3</sup> Övergödning anges i mg PO<sub>4</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>4</sup> Partiklar anges i mg partiklar per kWh

**Tabell 39.** Emissionerna från transport av rötrest från anläggningen, alternativ 2

Transporterad rötrest (ton)	Transportmedel	Avstånd (km)	Växthus-effekt <sup>1</sup>	Förurning <sup>2</sup>	Övergödning <sup>3</sup>	Partiklar <sup>4</sup>
8500	Rörledning	2	12	0,04	0,003	0,004
2500	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	1	97	0,42	0,075	0,010
6000	Lastbil (40 m <sup>3</sup> )	4	388	1,67	0,298	0,040
2500	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	1	948	6,04	1,083	0,138
6000	Traktor (6 m <sup>3</sup> )	4	3790	24,15	4,330	0,553
2500	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	1	776	4,92	0,883	0,138
6000	Traktor (15 m <sup>3</sup> )	4	3104	19,70	3,531	0,553

<sup>1</sup> Växthuseffekt anges i mg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>2</sup> Förurning anges i mg SO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>3</sup> Övergödning anges i mg PO<sub>4</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>4</sup> Partiklar anges i mg partiklar per kWh

**Tabell 40.** Emissionerna från transport av biogasen från anläggningen in till Hässleholm, alternativ 2

Transporterad biogas (m <sup>3</sup> /år)	Transportmedel	Avstånd (km)	Växthus-effekt <sup>1</sup>	Förurning <sup>2</sup>	Övergödning <sup>3</sup>	Partiklar <sup>4</sup>
215000	Växelflak, 300 bar, renad	5,9	3514	11,87	1,011	0,923
215000	Växelflak, 200 bar, renad	5,9	3577	12,08	1,029	0,939
215000	Växelflak, 76 bar, renad	5,9	4269	14,42	1,228	1,121
132990	Växelflak, 300 bar, uppgraderad	5,9	2195	7,41	0,631	0,576
132990	Växelflak, 200 bar, uppgraderad	5,9	2197	7,42	0,632	0,577
132990	3,8 bar, 32 mm, uppgraderad	4,8	1565	5,29	0,450	0,411
215000	3,8 bar, 63 mm, obehandlad	4,8	301	1,02	0,087	0,079
132990	0,3 bar, 63 mm, uppgraderad	4,8	1406	4,75	0,404	0,369
215000	0,3 bar, 125 mm, obehandlad	4,8	43	0,15	0,013	0,011

<sup>1</sup> Växthuseffekt anges i mg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>2</sup> Förurning anges i mg SO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>3</sup> Övergödning anges i mg PO<sub>4</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>4</sup> Partiklar anges i mg partiklar per kWh

**Tabell 41. Produktionskostnad och försäljningsvärde för biogasen, alternativ 2**

<b>Biogasanläggning</b>	
Reaktorvolym (m <sup>3</sup> )	680
Total kostnad (kr/år)	459000
Produktionskostnad (kr/kWh)	0,36
<b>Beräknat försäljningsvärde på transporterad biogas (kr/år)</b>	
Rågas (kr/år) <sup>1</sup>	322000
Uppgraderad (kr/år) <sup>2</sup>	643000

<sup>1</sup> Förutsätter priset 0,25 kr/kWh vid försäljning (Nilsson, 2006)

<sup>2</sup> Förutsätter priset 0,50 kr/kWh vid försäljning (Nilsson, 2006)

### 10.2.3 Biogasdriven lastbil

Lastbilstransporterna av matavfallet till biogasanläggningen kommer som tidigare nämnts skötas och bekostas av Hässleholms Renhållare. I både alternativ 1 och alternativ 2 har antagits att transporten sker med en dieseldriven lastbil med lastkapacitet 14 ton. Det kan dock vara intressant att se vilken skillnad i framför allt emissioner men även kostnad det skulle göra ifall transporterna istället utfördes med en biogasdriven lastbil med samma lastkapacitet. En sådan jämförelse finns i Tabell 42 nedan.

**Tabell 42. Jämförelse av kostnad och emissioner för lastbilar med olika drivmedel**

Transportmedel	Kostnad (kr/år)	Växthuseffekt <sup>1</sup>	Försurning <sup>2</sup>	Övergödning <sup>3</sup>	Partiklar <sup>4</sup>
Lastbil (14 ton), dieseldriven	130000	903	4,14	0,733	0,094
Lastbil (14 ton), biogasdriven	140000	280	1,78	0,319	0,050

<sup>1</sup> Växthuseffekt anges i mg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>2</sup> Försurning anges i mg SO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>3</sup> Övergödning anges i mg PO<sub>4</sub>-ekvivalenter per kWh

<sup>4</sup> Partiklar anges i mg partiklar per kWh

## 10.3 Analys av resultat

### 10.3.1 Alternativ 1

Ur ett ekonomiskt perspektiv ger programmet att lastbil (40 m<sup>3</sup>) är det klart bästa alternativet för transport av nötflytgödseln. Kostnaden för detta alternativ, 0,05 kr/kWh, är bara en fjärdedel av kostnaden för att transportera med någon av traktorerna och en tiondel av kostnaden för att transportera med rörledning. Emissionerna blir föga förvånande minst ifall transporten sker med rörledning. Näst bäst med hänsyn till emissioner är att välja lastbilstransport och sämst är transport med traktor. Rangordningen blir samma oavsett vilka av de studerade emissionerna och därmed miljöproblemen som avses. Någon prioritering av de olika miljöproblemen är därför inte nödvändig.

Vad gäller rötresttransporten så är situationen identisk. Billigast är lastbil, följt av först den större och sedan den mindre av traktorerna och dyrast är att transportera med rörledning. Transporterna kan även med avseende på emissioner rangordnas på samma sätt de för substrattransporten.

Transporten av biogas får lägst kostnad med en gasledning med trycket 3,8 bar, diametern 63 mm och obehandlad gas. Det näst bästa alternativet är att gå upp en dimension till 125 mm

med minskat tryck till 0,3 bar och fortsatt obehandlad gas. Därefter kommer i tur och ordning alternativen med lastbil och växelflak med 300, 200 och 76 bar. Gasen är i de här fallen renad. Sedan kommer alternativet att uppgradera gasen och transportera den med gasledning. Här står uppgraderingskostnaden för en stor del av kostnaden. Likadant är det med de ur ekonomisk synpunkt sämsta alternativen, nämligen transport av uppgraderad biogas med lastbil och växelflak.

Avseende låga emissioner är gasledning klart överlägset lastbil och växelflak. Bland gasledningarna går det att se ett mönster för deras miljöprestanda. De kan rangordnas (med den bästa först) enligt följande kriterier:

1. Lägre tryck, obehandlad gas
2. Högre tryck, obehandlad gas
3. Lägre tryck, uppgraderad gas
4. Högre tryck, uppgraderad gas

Även de olika varianterna av lastbil med växelflak kan rangordnas utifrån deras emissioner (med den bästa först) enligt följande kriterier:

1. Högre tryck, uppgraderad gas
2. Lägre tryck, uppgraderad gas
3. Högre tryck, obehandlad gas
4. Lägre tryck, obehandlad gas

En sammanställning av de olika kostnaderna ifall de ur ekonomisk synvinkel bästa alternativen väljs finns i Tabell 43 nedan. Den totala kostnaden kan jämföras med det ungefärliga värdet på biogasen vid försäljning.

**Tabell 43.** Total kostnad för transport med alternativen med lägst kostnad

<b>Post</b>	<b>Kostnad (kr)</b>	<b>Kostnad (kr/kWh)</b>
Substrattransport	15000	0,02 <sup>1</sup>
Rötresttransport	14000	0,02 <sup>1</sup>
Biogastransport	150000	0,24 <sup>2</sup>
Produktion av biogas	171000	0,27 <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>	<b>350000</b>	
<b>Värde vid försäljning</b>	<b>159000</b>	<b>0,25</b>

<sup>1</sup> Beräknad per kWh producerad biogas

<sup>2</sup> Beräknad per kWh transporterad biogas

### 10.3.2 Alternativ 2

Även för alternativ 2 blir lastbil det transportsätt som har lägst kostnad vid transport av nötflytgödseln. Kostnaden för att använda rörledning för transporten har dock kapats till en fjärdedel i jämförelse med i alternativ 1 och hamnar nu på andra plats. De båda traktorerna hamnar här näst sist (15 m<sup>3</sup>) och sist (6 m<sup>3</sup>). Gällande emissioner så kan de olika transportmedlen rangordnas enligt tidigare i alternativ 1. Bäst är rörledning, sedan lastbil och sist traktor.

Förhållandena vid transporten av rötresten är precis de samma som vid transporten av nötflytgödseln, både vad gäller kostnader och emissioner.

Vid transport av biogasen gäller precis samma som i alternativ 1. Minst kostar det att transportera gasen obehandlad med gasledning med trycket 3,8 bar och diametern 63 mm. Genom att ner i tryck till 0,3 bar och upp i dimension till 125 mm erhålls det alternativ som har näst lägst kostnad. Därefter kommer alternativen med lastbil och växelflak och renad gas. Än dyrare är det att uppgradera gasen och sedan transportera den med gasledning. Allra sämst ekonomi ger alternativet att uppgradera gasen och sedan transportera den med lastbil och växelflak. Vad gäller emissionerna från de olika alternativa transportsätten för biogasen så kan de rangordnas exakt som tidigare i alternativ 1.

En sammanställning av de olika kostnaderna ifall de ur ekonomisk synvinkel bästa alternativen väljs finns i Tabell 44 nedan. Den totala kostnaden kan jämföras med det ungefärliga värdet på biogasen vid försäljning.

**Tabell 44.** Total kostnad för transport med alternativen med lägst kostnad

<b>Post</b>	<b>Kostnad (kr)</b>	<b>Kostnad (kr/kWh)</b>
Substrattransport	61000	0,04 <sup>1</sup>
Rötresttransport	59000	0,03 <sup>1</sup>
Biogastransport	159000	0,12 <sup>2</sup>
Produktion av biogas	459000	0,36 <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>	<b>738000</b>	
Värde vid försäljning	322000	0,25

<sup>1</sup> Beräknad per kWh producerad biogas

<sup>2</sup> Beräknad per kWh transporterad biogas

Värt att notera är att produktionskostnaden blir högre för alternativ 2 än för alternativ 1. Så borde det inte vara eftersom det finns skalfördelar som gynnar större anläggningar. Detta tas dock inte hänsyn till i den enkla beräkningen av produktionskostnad i programmet. Anledningen till att produktionskostnaden istället blir högre är för att alternativ 2 innefattar en större andel substrat med låg biogasproduktion (nötflytgödsel). Detta medför att det krävs en mycket större reaktor samtidigt som biogasproduktionen inte ökar lika mycket.

### 10.3.3 Biogasdriven lastbil

Ifall lastbilstransporten av matavfallet skulle skötas med biogasdriven lastbil istället för dieseldriven, så skulle det medföra sänkta nivåer av alla studerade emissioner. Minskningen skulle bli olika för de olika emissionerna, från 50 % (partiklar) till en minskning med 70 % (växthusgaser). Emissionerna som medför försurning och övergödning skulle båda minska med c:a 55 %. Den årliga kostnaden skulle öka med c:a 8 % till 140 000 kr/år.





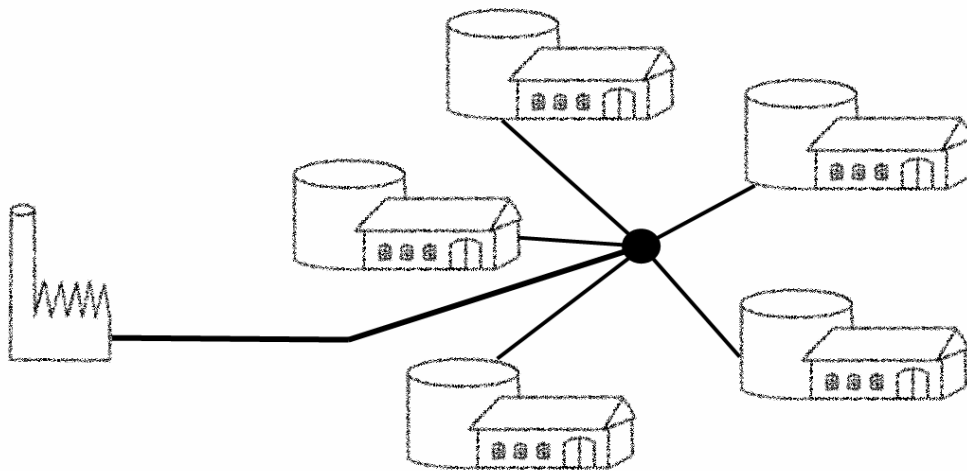
## 11 Tillämpning av programmet – samarbetsmöjligheter

Ifall det inom ett begränsat geografiskt område (upp till någon mils omkrets) finns flera lantbrukare som är intresserade av biogasproduktion, öppnar sig möjligheter för samarbete. Detta samarbete kan utformas på olika sätt. I detta kapitel studeras om det med hänsyn till transportrelaterade kostnader och emissioner är bäst att varje gård har en egen biogasanläggning eller om istället en gemensam biogasanläggning är att föredra. Parametrar som förväntas påverka vilket alternativ som är mest gynnsamt är avstånd och mängd substrat.

### 11.1 Förutsättningar

- **Alternativ 1, egen anläggning**

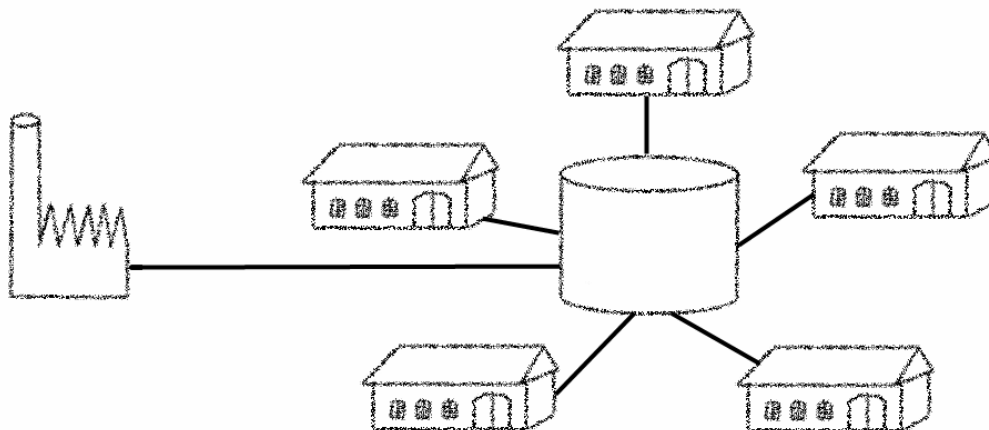
Varje gård har en egen biogasanläggning. Transport av substrat och rötrest till och från åkern sköts med traktor eller lastbil. Den producerade biogasen transporteras med gasledning till en knutpunkt, varifrån den sedan transporteras i en gemensam gasledning till avnämaren, som t.ex. kan vara en uppgraderingsanläggning eller ett kraftvärmeverk. Systemet kan översiktligt beskrivas enligt Figur 19 nedan.



Figur 19. Systemskiss för alternativ 1, egen anläggning.

- **Alternativ 2, gemensam anläggning**

I detta alternativ uppförs en större, gemensam biogasanläggning. Transport av substrat och rötrest sköts även här med traktor eller lastbil. Den producerade biogasen transporteras med gasledning till avnämaren. En översiktlig beskrivning av systemet finns i Figur 20 nedan.



Figur 20. Systemskiss för alternativ 2, gemensam anläggning.

## **11.2 Metodbeskrivning**

De transportrelaterade kostnaderna och emissionerna för de två alternativen studeras för transportmedlen traktor (15 ton) och lastbil (40 ton). Dessa faktorer studeras i två fall. I det första varieras mängden substrat, medan avståndet från gården till den punkt där knutpunkten (*alternativ 1, egen anläggning*) respektive den gemensamma biogasanläggningen (*alternativ 2, gemensam anläggning*) är belägen hålls konstant. Därefter varieras ovan nämnda avstånd medan mängden substrat hålls konstant. Dessa båda fall beskrivs närmre i följande avsnitt.

I jämförelsen är det transporten av substrat och rötrest mellan åkern och gården samt transporten av biogas till knutpunkten som studeras för *alternativ 1, egen anläggning*. För *alternativ 2, gemensam anläggning* studeras transporterna av substrat och rötrest mellan gården eller åkern till den gemensamma biogasanläggningen. Transporten av biogas från knutpunkten eller den gemensamma biogasanläggningen behandlas inte eftersom den är identisk för de båda alternativen. Jämförelsen mellan de olika samarbetsformerna görs utifrån en gårds perspektiv.

En rangordning av de olika transportmedlen utifrån hur stora emissioner de medför blir samma oavsett vilken emissionstyp som studeras. Som mått på emissioner väljs utsläpp av växthusgaser.

### **11.2.1 Mängd substrat varierar**

I detta fall varierar mängden substrat mellan 3000, 8000 och 13000 ton/år. I samtliga fall utgörs substraten av vall, sockerbetsblast samt nötflytgödsel men det är endast mängden nötflytgödsel som varierar. Det antas att vällen och sockerbetsblasten produceras på åkrar som i genomsnitt ligger 1 km från gården, medan nötflytgödseln antas produceras på gården. Vidare antas att rötresten transporteras tillbaka till åkern igen. Avståndet från gården till knutpunkten är satt till 2 km. En sammanfattning av mängder och avstånd för alternativ 1, egen anläggning, finns i Tabell 45 nedan.

**Tabell 45.** Sammanfattning av mängder och avstånd för alternativ 1, egen anläggning.

**Alternativ 1, egen anläggning**

**3000 ton/år**

	<b>Mängd</b>	<b>Enhet</b>	<b>Avstånd (km)</b>
Vall	200	(ton)	1
Socketbetsblast	300	(ton)	1
Nötflytgödsel	2500	(ton)	0
Rötrest	3000	(ton)	1
Biogas	76200	(Nm <sup>3</sup> )	2

**8000 ton/år**

	<b>Mängd</b>	<b>Enhet</b>	<b>Avstånd (km)</b>
Vall	200	(ton)	1
Socketbetsblast	300	(ton)	1
Nötflytgödsel	7500	(ton)	0
Rötrest	8000	(ton)	1
Biogas	133000	(Nm <sup>3</sup> )	2

**13000 ton/år**

	<b>Mängd</b>	<b>Enhet</b>	<b>Avstånd (km)</b>
Vall	200	(ton)	1
Socketbetsblast	300	(ton)	1
Nötflytgödsel	12500	(ton)	0
Rötrest	13000	(ton)	1
Biogas	257000	(Nm <sup>3</sup> )	2

I alternativ 2, gemensam anläggning, blir avstånden lite annorlunda. Här ska substraten istället transporteras in till en gemensam biogasanläggning. För vällen, socketbetsblasten och rötresten antas det genomsnittliga avståndet bli samma som avståndet mellan gården och den gemensamma biogasanläggningen. Observera att nu även nötflytgödseln måste transporteras, något som inte var nödvändigt i alternativ 1. Däremot behöver inte biogasen transporteras eftersom jämförelsen endast avser transport fram till den gemensamma biogasanläggningen. En sammanfattning av mängder och avstånd finns i Tabell 46 nedan.

**Tabell 46.** Sammanfattning av mängder och avstånd för alternativ 2, gemensam anläggning

**Alternativ 2, gemensam anläggning**

**3000 ton/år (per gård)**

	<b>Mängd</b>	<b>Enhet</b>	<b>Avstånd (km)</b>
Vall	200	(ton)	2
Sockerbetsblast	300	(ton)	2
Nötflytgödsel	2500	(ton)	2
Rötrest	3000	(ton)	2
Biogas	76200	(Nm <sup>3</sup> )	0

**8000 ton/år (per gård)**

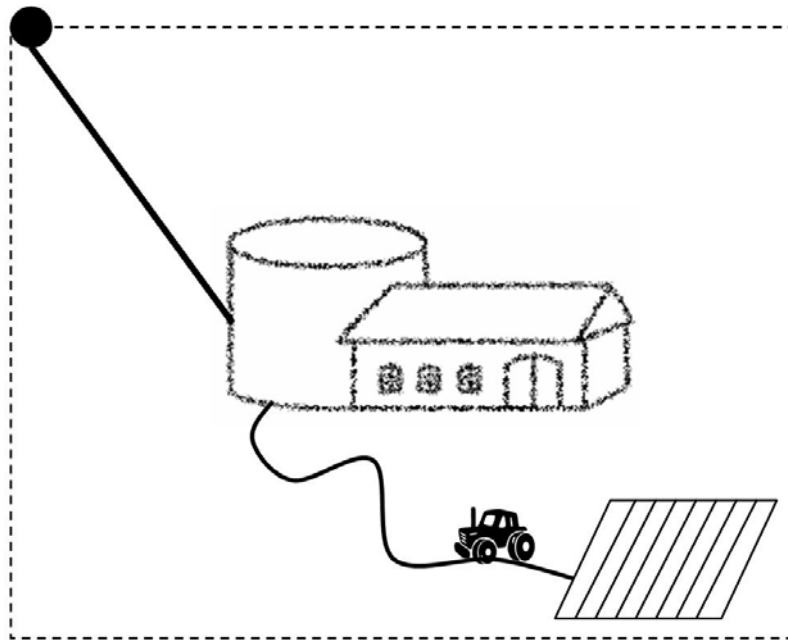
	<b>Mängd</b>	<b>Enhet</b>	<b>Avstånd (km)</b>
Vall	200	(ton)	2
Sockerbetsblast	300	(ton)	2
Nötflytgödsel	7500	(ton)	2
Rötrest	8000	(ton)	2
Biogas	133000	(Nm <sup>3</sup> )	0

**13000 ton/år (per gård)**

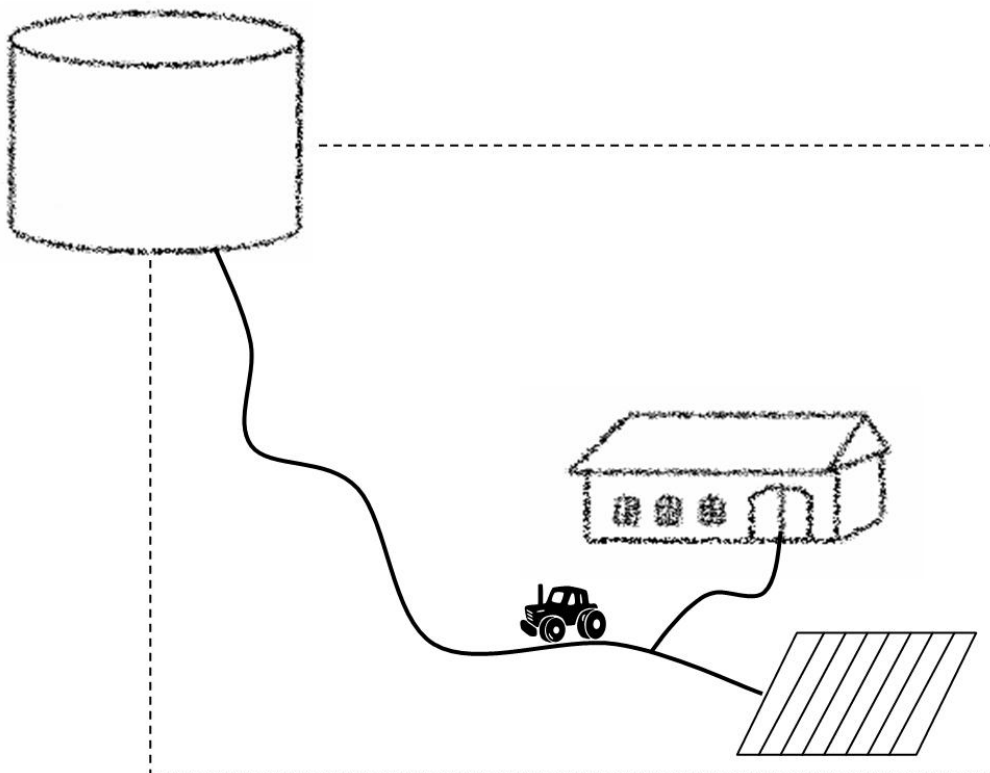
	<b>Mängd</b>	<b>Enhet</b>	<b>Avstånd (km)</b>
Vall	200	(ton)	2
Sockerbetsblast	300	(ton)	2
Nötflytgödsel	12500	(ton)	2
Rötrest	13000	(ton)	2
Biogas	257000	(Nm <sup>3</sup> )	0

### 11.2.2 Avstånd varierar

Mängden substrat hålls nu konstant till 8000 ton/år. Här varierar istället avståndet från gården till knutpunkten (i alternativ 1) respektive avståndet till den gemensamma biogasanläggningen (i alternativ 2). Avståndet varierar mellan 1 och 7 km. Se Figur 21 och Figur 22 nedan som visar systemgränserna för de båda alternativen.



**Figur 21.** Systemgräns för alternativ 1, egen anläggning.



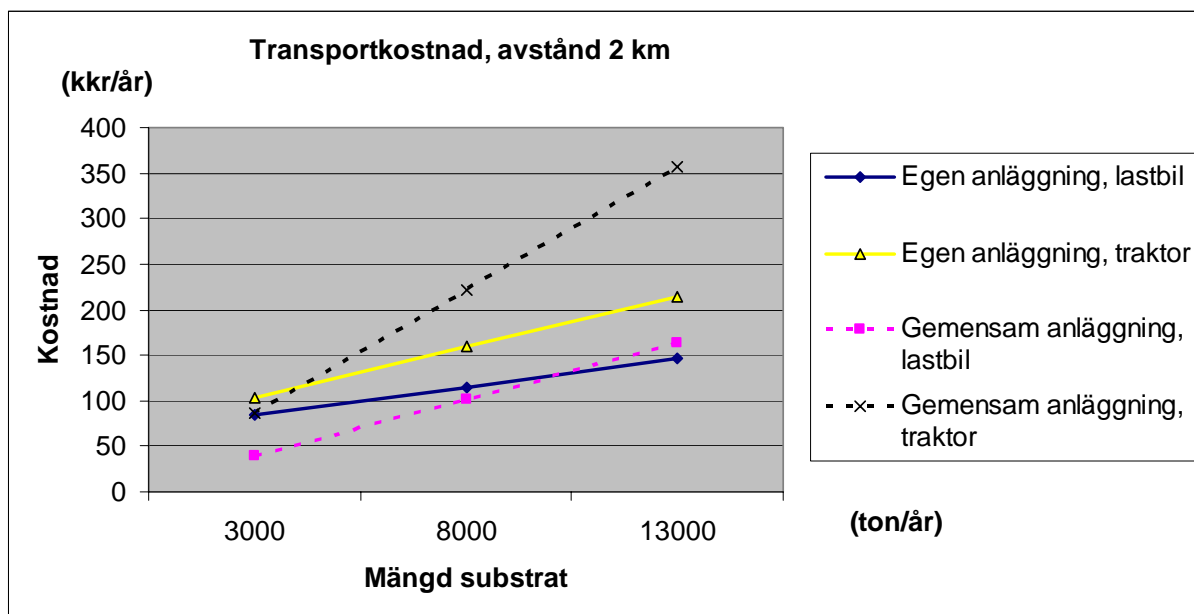
**Figur 22.** Systemgräns för alternativ 2, gemensam anläggning.

### **11.3 Resultat och analys**

Här redovisas och analyseras resultaten från tillämpningen av beräkningsprogrammet avseende samarbetsmöjligheter. Resultaten presenteras uppdelat på kostnader och emissioner.

### 11.3.1 Kostnader

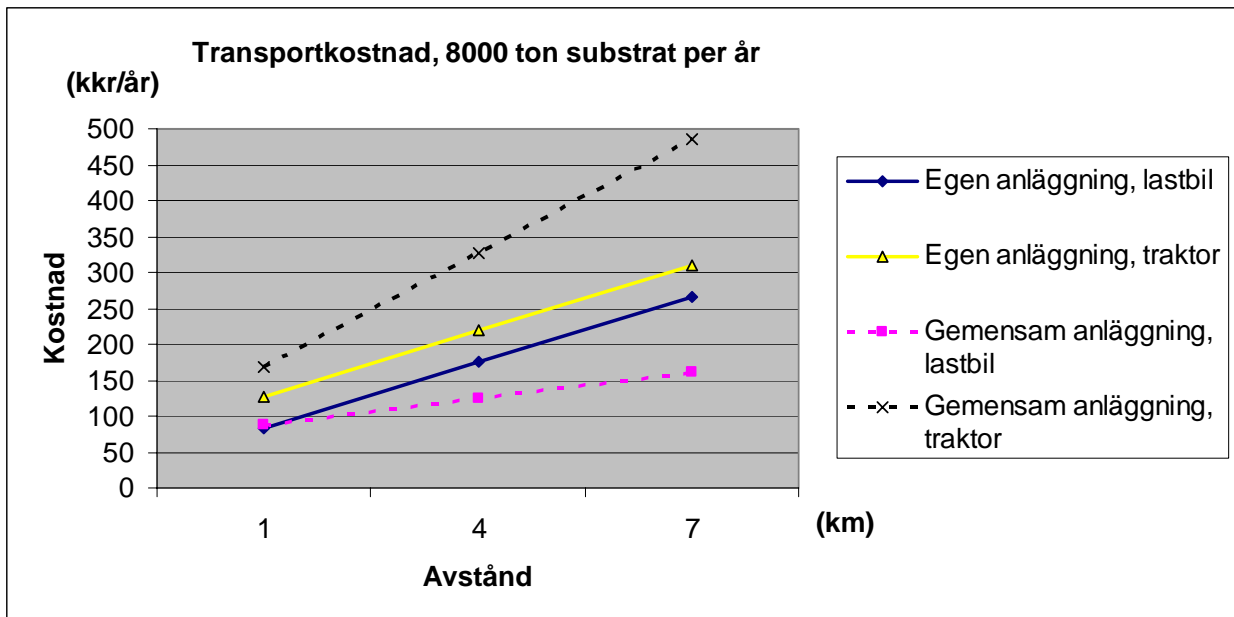
Resultatet av fallet där mängden substrat varierar redovisas i Figur 23 nedan. Mest intressant är att göra separata jämförelser för transportmedlen, så att egen anläggning, lastbil jämförs med gemensam anläggning, lastbil och egen anläggning, traktor jämförs med gemensam anläggning, traktor. På så vis kan konstateras att ifall transportmedlet traktor väljs, så erhålls en brytpunkt vid c:a 4000 ton substrat per år. Vid mindre mängder än 4000 ton/år är kostnaden för gemensam anläggning lägre än för egen anläggning. Vid mängder över 4000 ton/år är det däremot billigare med egen anläggning. Då lastbil väljs som transportmedel erhålls också en brytpunkt. Här hamnar brytpunkten dock vid en betydligt större substratmängd, nämligen 10500 ton/år. Vid mindre mängder än 10500 ton har gemensam anläggning lägst kostnad, medan egen anläggning är att föredra vid större substratmängder.



Figur 23. Transportkostnad för olika transportmedel då mängden substrat varierar.

Resultatet från fallet med varierande transportavstånd finns i Figur 24 nedan. Även här är det mest intressant att göra separata jämförelser för transportmedlen. Ifall transporten sker med lastbil finns en brytpunkt precis i början av det studerade intervallet, vid drygt 1 km. Vid kortare avstånd än så, är kostnaden lägre för egen anläggning, medan ett längre avstånd innebär att gemensam anläggning är att föredra. För traktor saknas brytpunkt inom det studerade intervallet och egen anläggning innebär alltid lägre kostnad. Ifall det finns en brytpunkt, så finns den för ett avstånd som är betydligt kortare än 1 km. Ett så kort avstånd mellan gården och knutpunkten eller den gemensamma biogasanläggningen anses inte realistiskt, och saken har därför inte undersökts vidare.

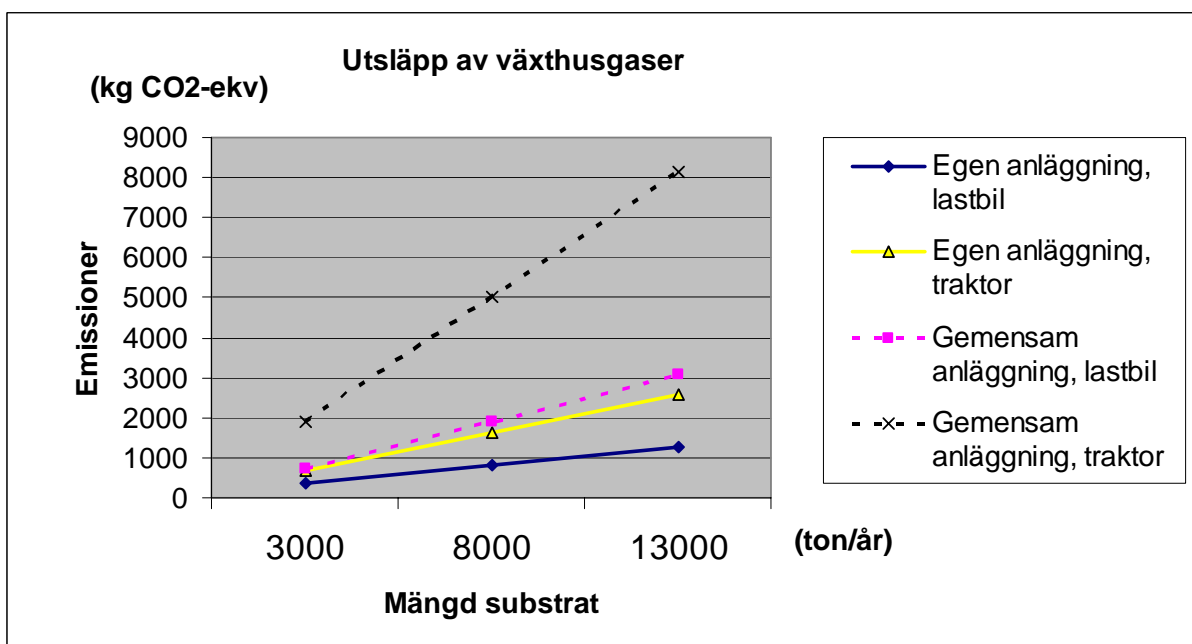
I ett veckligt scenario är det troligt att transportavståndet med gasledning är kortare än avståndet för transporter bundna till vägnätet. Detta är något som skulle gynna *alternativ 1, egen anläggning*. Hur stor skillnaden i transportavstånd är, varierar mellan olika fall och det har därför inte tagits någon hänsyn till detta i jämförelsen.



Figur 24. Transportkostnad för olika transportmedel då avståndet varieras.

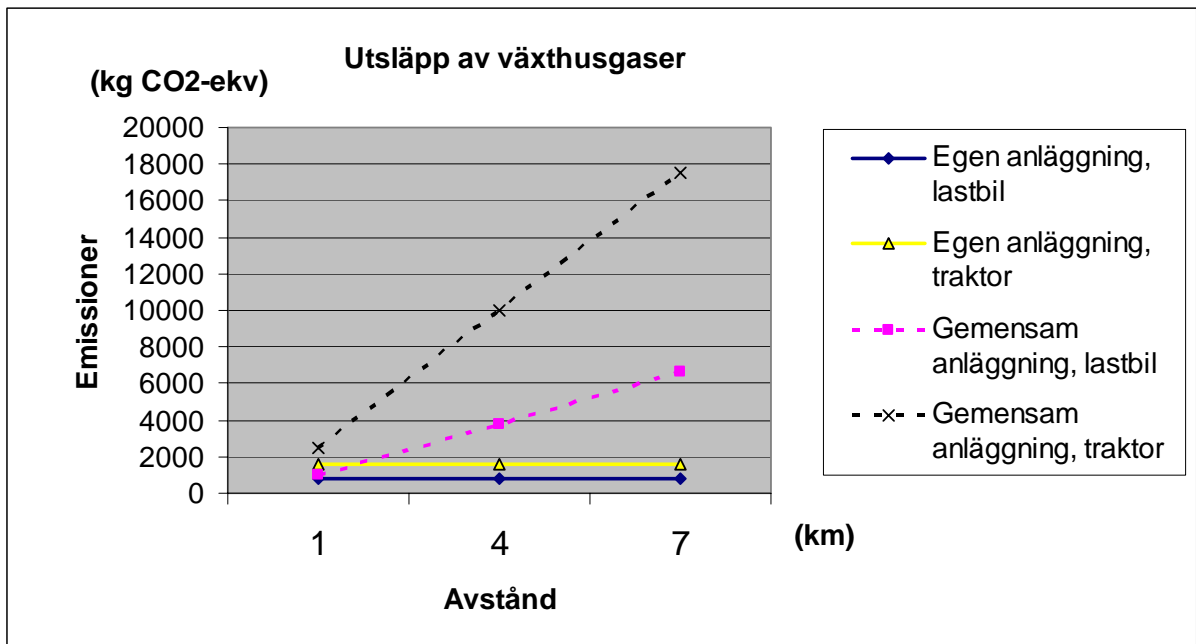
### 11.3.2 Emissioner

Resultatet av fallet där mängden substrat varierades finns i Figur 25 nedan. Det studerade intervallet visade sig helt sakna brytpunkter. För såväl lastbil som traktor var egen anläggning att föredra framför gemensam anläggning, oavsett substratmängd.



Figur 25. Utsläpp av växthusgaser för olika transportmedel då mängden substrat varieras.

Resultatet från fallet med varierande avstånd finns i Figur 26 nedan. Vid separata jämförelser för transportmedlen visade det sig att brytpunkter saknas. Egen anläggning är att föredra framför gemensam för alla avstånd i det studerade intervallet. Detta gäller såväl för lastbil som för traktor.



**Figur 26.** Utsläpp av växthusgaser för olika transportmedel då avståndet varierar.



## 12 Utvärdering av beräkningsprogrammet

Programmet fungerar bra för beräkning av ungefärliga kostnader och emissioner för olika transportalternativ.

En svaghet är att flera indata som används vid beräkningarna är osäkra. Det gäller allt ifrån metanutbyte för de olika substraten till kostnad för att lägga gasledning med olika förutsättningar.

Ett extremfall är kostnaden för att lägga rörledning för transport av substrat eller rötrest. Här bygger kostnadsberäkningarna på en enda anläggning, som dessutom inte är färdigbyggd än. Denna ledning är den första i sitt slag, vilket ofta innebär att kostnaderna blir högre än vad de behövt vara. Dessutom förläggs den i ett område med flera stora vägar som måste korsas. Detta måste rimligen innebära högre kostnad än förläggning i jordbruksmark. Men eftersom det inte gick att få tag på data för fler anläggningar så gör programmet inte skillnad i anläggningskostnad beroende på terräng. Tillståndsförfarandet borde också förenklas av att rörledningen byggs mellan två närliggande gårdar i ett jordbrukslandskap. Alltså ytterligare en faktor som talar för att kostnaden i programmet är överskattad. Något som skulle kunna tala för motsatsen är att rörledningen som beräkningarna bygger på är relativt stor, vilket kan innebära stordriftsfördelar.

Ett annat transportsätt med osäkerhet i beräkningarna är transport av biogas med lastbil och växelflak. För det första så är det osäkert ifall detta transportsätt är möjligt med biogas som inte är uppgraderad, i alla fall om trycket ska överstiga 76 bar. För det andra så är kostnaden för såväl själva växelflaget som avvattning och trycksättning av biogasen alla osäkra. Enligt programmet kostar trycksättningen dessutom lika mycket oavsett om det handlar om 76, 200 eller 300 bar, vilket är väldigt osannolikt. Det troliga är att det finns ett samband mellan kostnaden och trycket så att det blir dyrare ju högre tryck som ska uppnås.

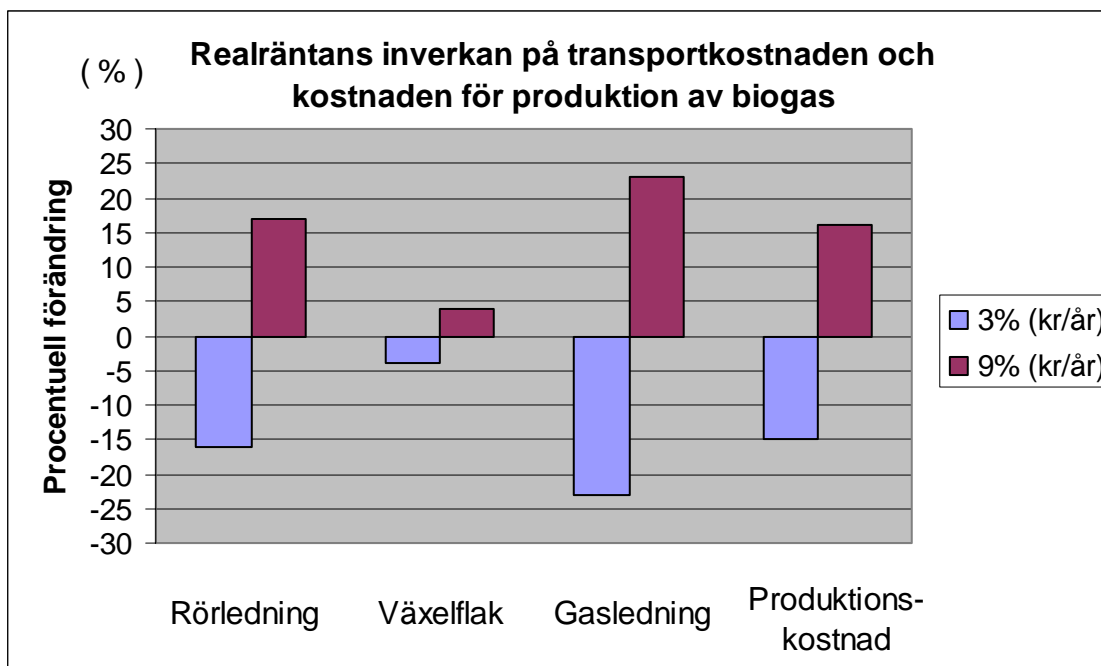
Svagheten att tabellvärdena är osäkra kan dock enkelt åtgärdas genom att tabellvärdena som används av programmet går att ändra. På så sätt kan bättre noggrannhet uppnås så fort bättre indata finns tillgängliga.

### 12.1 Känslighetsanalys

För att kvantifiera hur stort genomslag en förändring av några av parametrarna skulle medföra gjordes en känslighetsanalys.

#### 12.1.1 Ränta

En del av kostnaderna i gårdsbaserade biogassystem beror till övervägande del på investeringskostnaden. Eftersom olika företag har olika preferenser för hur kapitalkostnaderna beräknas utifrån en investerings storlek och livslängd varierar kapitalkostnaderna genom att räntesatsen varierar. Hur de kapitaltunga aktiviteterna i beräkningsprogrammet förändras med avseende på realräntan redovisas i Figur 27, där kostnaderna för Skea gård, alternativ 2, beräknats med 3 och 9 % realränta. Kostnaderna sätts i relation till dem som tidigare bestämts med 6 % ränta.



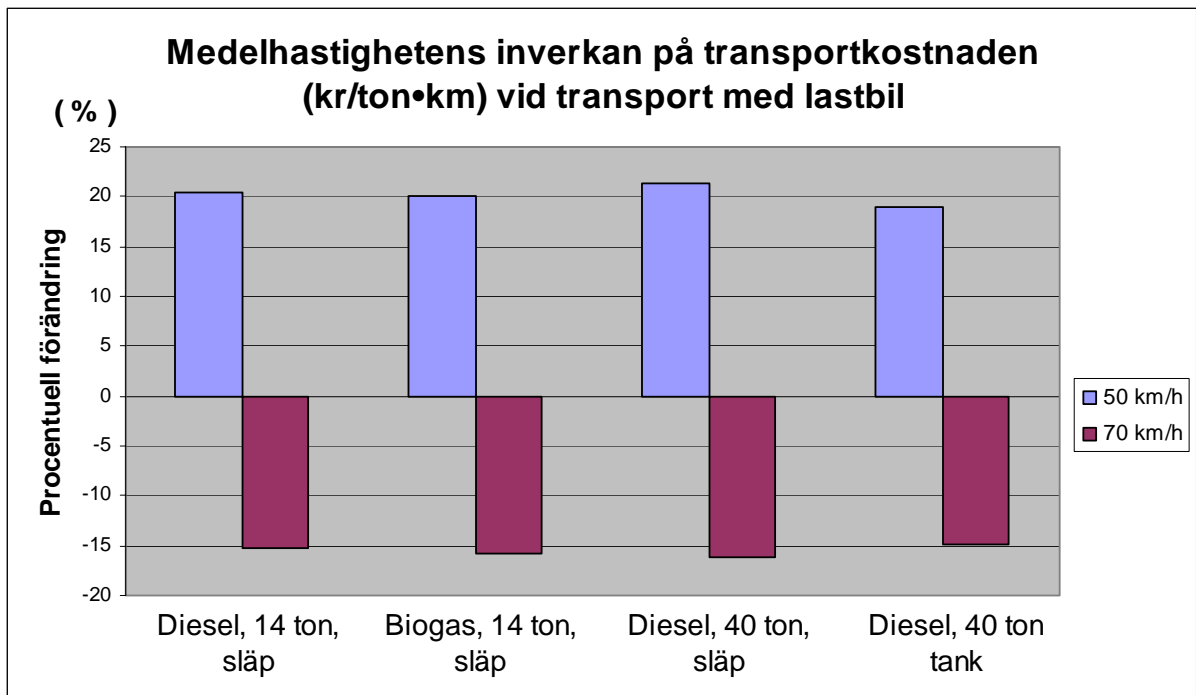
**Figur 27.** Procentuell förändring av transport- och produktionskostnaden för biogasen jämfört med 6 % realränta

En ändring av räntesatsen ger större utslag på den årliga kostnaden för en aktivitet ju högre andel av kostnaderna som utgörs av kapitalkostnader. Störst inverkan ges därför på transporten av biogas i gasledning. Genom att minska realräntan med 3 procentenheter till 3 % minskar den årliga transportkostnaden för biogas i gasledning med 23 %. En höjning av realräntan från 6 % till 9 % medför istället motsvarande ökning av transportkostnaden. Minst inverkan av realräntan ges för transportererna med växelflak där kostnadsförändringen till följd av höjd eller sänkt ränta inte överstiger 5 %.

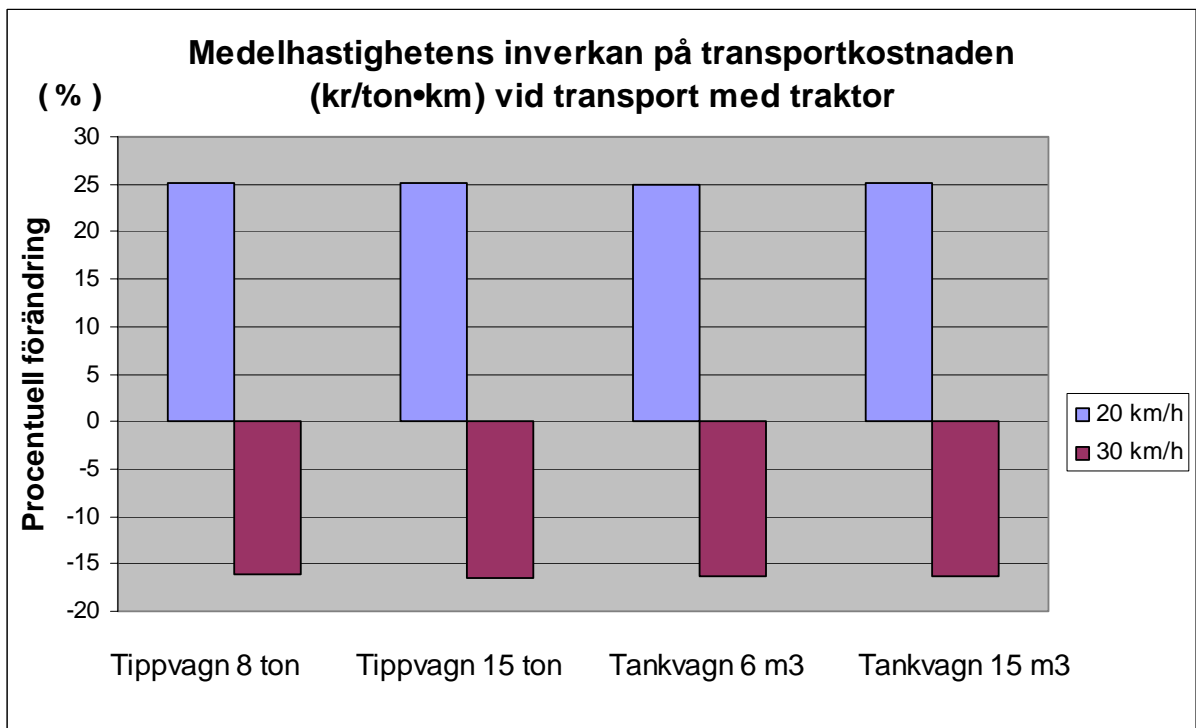
### 12.1.2 Genomsnittshastighet

Den genomsnittliga hastigheten vid vägtransporter har uppskattats till 60 km/h för lastbilstransporter och till 25 km/h för transport med traktor. Den medelhastighet som kan upprätthållas är väldigt beroende av vägtyp samt av antal av- och påfarter. Dessa faktorer kan variera väldigt från plats till plats, därav är det av stort intresse att studera hur transportkostnaden påverkas av en förändrad medelhastighet.

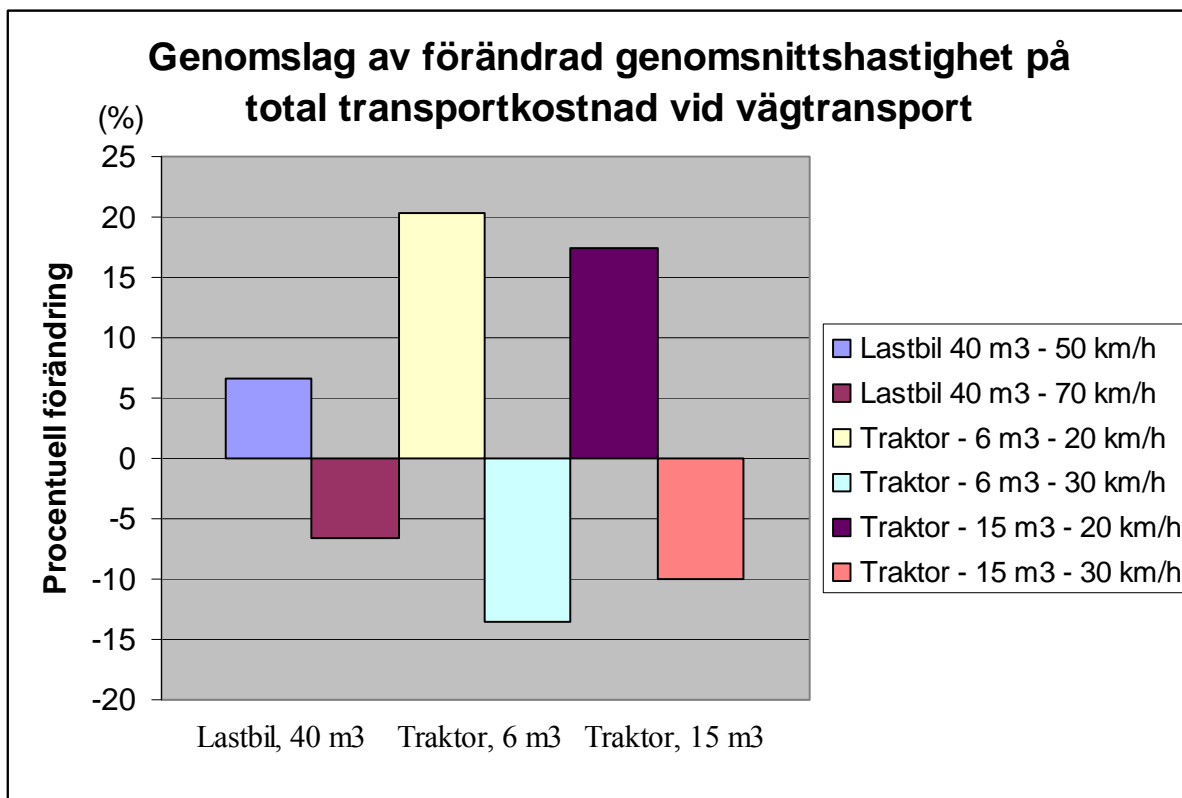
I Figur 28 och Figur 29 redovisas den förändring en ökad eller minskad medelhastighet medför vad gäller transportkostnaden vid transport av substrat eller rötrest med lastbil och traktor. Figurerna visar hur transportkostnaden angivet som kronor per transporterat ton och kilometer beror av genomsnittshastigheten. I Figur 30 redovisas vilket genomslag en ändring av medelhastighet får på den totala transportkostnaden, där även kostnaden för lastning och lossning ingår. För att bestämma hur mycket den totala transportkostnaden påverkas av medelhastigheten har kostnaden för nötflytgödseltransporten till Skea gård bestämts utifrån olika medelhastigheter, resultaten är ingångsvärdena i Figur 30.



**Figur 28.** Variationen för transportkostnaden vid förändrad medelhastighet, relaterat till 60 km/h.



**Figur 29.** Variationen för transportkostnaden vid ändrad medelhastighet, relaterat till 60 km/h.



**Figur 30.** Procentuell förändring av totala transportkostnaden vid ändrad medelhastighet, relativt 60 km/h för lastbil och 20 km/h för traktor.

### 12.1.3 Elpris

Den rörliga delen av transportkostnaden av flytande substrat och rötrest med rörledning utgörs i beräkningsprogrammet av förbrukad el. Vid transport av biogas med gasledning står elförbrukningen för en del av de rörliga kostnaderna. Eftersom de ledningsburna transporterna till allra största delen utgörs av kapitalkostnader kan det dock fastställas att elpriset inte påverkar transportkostnaden nämnvärt.

### 12.1.4 Trycksättning – växelflak

Kostnaden för trycksättning vid biogastransport med växelflak har antagits vara 1 kr/Nm<sup>3</sup> oberoende av vilket tryck som gasen ska höjas till. Den kostnadsuppgiften som finns gäller för trycksättning till 200 bars tryck, medan kostnaden för trycksättning torde bero på vilket tryck som används i växelflaget. För 76 bar borde kostnaden vara lägre och för 300 bars tryck bör kostnaden för trycksättning vara högre.

För att kontrollera hur stort utslag kostnaden för kompressionen har, görs antagandet att kostnaden för trycksättning är linjär med det tryck som ska användas. Kostnaden för trycksättning per bar och kubikmeter biogas blir då 0,005 kr enligt ekvation (12.1). Vidare blir då kostnaden för trycksättning till 76 och 300 bar 0,38 kr/Nm<sup>3</sup> respektive 1,5 kr/Nm<sup>3</sup>.

$$(12.1) \quad \text{kostnad}_{Nm^3, bar} = \frac{1}{200} = 0,005 \quad (\text{kr} / Nm^3 \cdot \text{bar})$$

Genom att införa de nya kostnaderna för 76 bar och 300 bar vid kostnadsberäkningen för Skea gård, alternativ 2, studeras den inverkan en variation av kostnaden för trycksättningen medför. Resultatet blir en ökad total transportkostnad för biogasen med c:a 27 % för 300 bars tryck, då biogasen transporteras utan att uppgraderas. Ska biogasen uppgraderas innan transport blir motsvarande ökning istället 11 %. Transportkostnaden för 76 bar, minskar med c:a 30 % till följd av en lägre kostnad för komprimeringen.

### **12.1.5 Rörledning**

Transportkostnaderna för transport av flytande substrat och rötrest med rörledning är som tidigare beskrivits baserade på en anläggning som ur många avseenden avviker från förutsättningarna vid gårdsbaserad biogasproduktion. Troligen kommer investeringskostnaden för en mindre anläggning att vara lägre, vilket det resoneras kring tidigare. Eftersom transportkostnaden med denna typ av transportsystem nästan uteslutande utgörs av kapitalkostnader kommer resultatet av en lägre investeringskostnad att återspeglas mycket tydligt i resultatet. En minskad investering med 20 % kommer således att resultera i en minskad årlig transportkostnad, även den runt 20 %.



## 13 Diskussion och slutsatser

### 13.1 Kostnader

Av de studerade transportmedlen för substrat och rötrest har lastbilstransport visat sig medföra lägst kostnad för typiska transportmängder och avstånd. Vid lastbilstransporter tillkommer dock en kostnad som inte omnämns i beräkningsprogrammet, framkörningskostnaden, vilken tillkommer vid varje tillfälle som en transporttjänst köps in. Denna avgift tillkommer eftersom lastbilen måste köras från sin utgångspunkt till den plats där substratet eller rötresten ska lastas. I de fall substrat transporteras in till, eller rötrest ifrån biogasanläggningen ger framkörningsavgiften ett stort ekonomiskt påslag om mindre mängder substrat eller rötrest transporteras vid många tillfällen. Genom att uppföra någon form av lager för substratet eller ett större rötrestlager kan framkörningsavgiften i princip elimineras genom att stora mängder kan transporteras vid ett fåtal tillfällen.

När det gäller odlade energigrödor eller skörderester finns redan den logistiska strukturen med stort transportarbete under korta tidsperioder, vilket torde medföra förutsättningar för låga transportkostnader med lastbil. Trots denna struktur är det inte klart att lastbilstransport är det transportmedel som ger lägst totalkostnad. Anledningen är att traktor och vagn vanligen används för att samla upp substratet ute i fält. Vid transport med lastbil skulle då en omlastning vara nödvändig, med höga kostnader som följd. Därför kan transport med traktor i dessa fall vara det bättre alternativet.

I de fall rötresten ska köras ut till åker med lastbil gäller samma förfarande som vid transport till anläggningen. Genom att transportera stora mängder rötrest från rötrestlagret ut till åker vid ett fåtal tillfällen kan kostnaden för framkörningsavgiften hållas nere.

Vid vägtransport har kostnaderna beräknats utifrån förutsättningen att det inte finns någon ledig kapacitet inom det egna maskinbeståndet och att transporttjänsten därför måste köpas in från maskinstation eller åkeri. Kostnaden för transport på väg skulle minska om det finns möjlighet att utföra transporten själv med egna maskiner. Förutsättningen är då att det tänkta transportmedlet finns i maskinparken och att ledig kapacitet finns. Eftersom lastbilar inte är så vanligt förekommande i maskinparken i traditionella svenska jordbruk är det främst transportkostnaden för traktortransporten som kan komma att minska.

De olika faktorernas (mängd, transportavstånd o.s.v.) påverkan på transportkostnaden för substrat och rötrest skiljer sig åt mellan vägtransport och transport med rörledning. För transport på väg beror den årliga kostnaden av rörliga faktorer (timkostnad för transporttjänsten) medan kostnaden för transport med rörledning till största delen utgörs av en årlig kapitalkostnad till följd av den höga investeringskostnaden. Eftersom kostnaden för transport med rörledning mestadels utgörs av fasta kapitalkostnader finns goda förutsättningar för bättre ekonomi ifall det är stora mängder substrat eller rötrest som ska transporteras.

Ifall flytande substrat levereras till en biogasanläggning och rötresten sedan ska transporteras tillbaka kan kostnaden för transporten med rörledning reduceras. Då finns nämligen möjligheten att lägga rörledningarna för substrat och rötrest i samma dike och på så sätt göra besparingar genom minskade kostnader för grävning. Det finns inga uppgifter för hur stor denna besparing är för rörledning, men för gasledning finns siffror för samförläggning. Genom att anta samma procentuella kostnadsförhållande som vid samförläggning av gasledning kan kostnaden sänkas med 20 %.

Uppgradering av biogas på gårdsnivå är ur rent ekonomisk synpunkt inte ett tänkbart alternativ med den teknik som idag finns tillgänglig. Ifall kostnaden för småskalig uppgradering kan minskas, så skulle det medföra mycket bättre förutsättningar för gårdsbaserad biogas. Framför allt p.g.a. att intäkten för uppgraderad gas vid försäljning är dubbelt så hög som för biogas som inte är uppgraderad, räknat per energiinnehåll i gasen. Eftersom uppgraderad biogas har fler avsättningsmöjligheter torde det generellt också finnas möjlighet till kortare avstånd till närmsta leveranspunkt för biogasen.

Transport av biogas producerad på gårdsanläggningar är det svårt att finna ekonomisk lönsamhet i. Med avstånd upp till ett fåtal kilometer ges dock bäst förutsättningar för biogastransport med gasledning då behandling av gasen inte krävs för detta transportsätt. Kostnaden för transport av biogas med växelflak är för korta avstånd betydligt högre än för gasledning, framför allt p.g.a. de reningssteg som gasen måste passera för att inte verka korrosivt på flaskorna på växelflaget. Vid kraftig ökning av transportavståndet kommer så småningom en brytpunkt att uppnås där transportkostnaden för gasledning kommer överstiga kostnaden för transport med växelflak. Resultatet från fallstudien tyder dock på att brytpunkten kommer hamna på avstånd som ligger långt över vad som är ekonomiskt godtagbart för en gårdsbaserad biogasproducent.

Investeringskostnaden för biogasanläggningen är i de flesta fall för stor för att gårdsbaserad biogas ska bli ekonomiskt bärkraftig utan externa tillskott. I det fall som studerats med beräkningsprogrammet var utfallet att produktionskostnaden för biogasen var högre än den intäkt som kan göras vid försäljning av gasen för de båda tänkta storlekarna på anläggningen.

Kostnaderna för transporter till och från biogasanläggningen utgjorde i det studerade fallet även de en stor andel av värdet hos den producerade biogasen. I fallet med den mindre anläggningen blev kostnaderna högre än biogasens totala värde, medan transportkostnaderna i det andra fallet låg något under biogasens värde. I båda fallen utgörs större delen av transportkostnaderna från biogastransporten.

För att kunna få rent ekonomiska argument för att uppföra en biogasanläggning krävs antingen goda förhållanden (stor mängd högproducerande substrat och/eller korta transportavstånd) eller också en utveckling av teknikerna för såväl rötning som transporter. Störst fokus bör riktas mot produktionskostnaden och kostnaden för transport av biogasen då dessa kostnader utgör störst andelar av den totala kostnaden. Det är också inom dessa områden som störst potential till minskade kostnader bedöms finnas. Eftersom biogasanläggningar generellt har långt kvar till lönsamhet är det viktigt med utveckling som minskar kostnaderna för all områden i produktionskedjan. Utöver teknisk utveckling är också erfarenheter av gårdsbaserad biogasproduktion en viktig komponent som kan påverka kostnaden. Fortfarande är erfarenheten av gårdsbaserad biogasproduktion relativt låg i Sverige.

Samtidigt som mognad av tekniken medför minskade produktionskostnader kan försäljningspriset för biogasen förväntas öka. Intäkten från försäljning borde öka speciellt mycket om en stor andel av fordonsflottan övergår till biogas eller naturgas till följd av höjda bensinpriser.



Ett sätt att förbättra de ekonomiska förutsättningarna kan vara genom att söka investeringsstöd för biogasanläggningen. Genom klimatinvesteringsprogrammet (KLIMP) kan stöd för upp till 30 % av investeringen för biogasanläggningen ges.

Ett annat tänkbart sätt är att ta emot organiskt avfall i anläggningen. I så fall skulle troligen avfallet levereras till anläggningen och dessutom förbättras ekonomin till följd av mottagningsavgifter. Dock kan det krävas hygienisering av substratet, vilket innebär uppvärmning till 70°C för att undvika smittspridning. Detta medför ökad energiåtgång i anläggningen samt större investeringskostnader då utrustning för hygienisering tillkommer.

Genom att värdera rötresten kan också ekonomin för anläggningen förbättras. Framför allt inom ekologisk odling där handelsgödsel inte är tillåtet kan gödsling med rötrest innebära ökad skörd och bättre total ekonomi för jordbruksföretaget.

Det kan vara intressant att diskutera produktion av kraftvärme på gården istället för transport och försäljning av biogasen. De olika systemen kräver olika investeringar. Medan transport och försäljning kräver ett transportsystem för gasen, så kräver kraftvärmeproduktion en kraftvärmeanläggning (gasmotor, stirlingmotor eller gasturbin). Den ersättning som kan erhållas för gasen respektive elen spelar naturligtvis också stor roll. Vilket som är mest ekonomiskt beror väldigt mycket på de individuella förutsättningarna. Följande parametrar talar för kraftvärme:

- Stort värmebehov
- Hög avsättning för den producerade värmen
- Den producerade värmen ersätter dyr uppvärmning, t.ex. olja
- Långt att transportera biogasen
- Hög ersättning för den producerade elen

Med hjälp av beräkningsprogrammet studerades samarbetsmöjligheterna ifall det inom ett område finns flera jordbrukare som är intresserade av biogasproduktion. De två alternativ som jämfördes var ifall varje gård skulle ha en egen biogasanläggning eller om en större, gemensam biogasanläggning var att föredra. Alternativen jämfördes med avseende på transportrelaterade kostnader och emissioner. Slutsatsen är att vilket alternativ som ur kostnadssynpunkt är att föredra beror på substratmängd och avstånd. Korta avstånd och stora mängder substrat gynnar alternativet med en egen biogasanläggning på varje gård, medan stora avstånd och små substratmängder gynnar alternativet med en gemensam biogasanläggning.

### **13.2 Miljöpåverkan**

Syftet med examensarbetet var att konstruera ett beräkningsprogram som utöver de ekonomiska förutsättningarna för transporterna beräknar vilken miljöpåverkan de olika transporterna i ett biogassystem har. Som mätare valdes de vanligaste luftemissionerna vilka räknades om i ekvivalenter efter vilken miljöpåverkan de har. Utifrån detta synsätt går det att på ett tydligt sätt rangordna de olika transportsätten efter deras miljöpåverkan. Bäst är alltid ledningsburen transport, både rörledning för pumpning av substrat och rötrest och gasledning för transport av biogasen. Därefter kommer lastbil, ju större lastkapacitet desto lägre emissioner per transporterat ton. Sist kommer traktor och även här gäller sambandet mellan lastkapacitet och emissioner per transporterat ton. Högst emissioner har alltså traktorn med liten lastkapacitet.

För de emissioner som har hälsopåverkan (främst utsläpp av partiklar) finns det en poäng i att tänka över *var* utsläppen sker. Emissionerna från ledningsburna (eldrivna) transportsystem uppkommer där elen produceras, medan emissionerna från vägtransporter (dieseldrivna) i stor utsträckning uppkommer vid förbränningen av bränslet. Utsläppen sker i det här fallet alltså mer lokalt.

De transportmedel som drivs av el ger upphov till väldigt låga utsläpp till luften. Detta beror på att den förbrukade elen anses vara producerad enligt den svenska elmixen, vilken till stor del utgörs av kärn- och vattenkraft. Ifall emissionerna från produktion av marginalet istället använts så hade resultatet blivit annorlunda. Likaså ifall produktionen av den europeiska elmixen hade använts som räknebas. I båda dessa fall hade emissionerna från eldrivna transporter ökat.

Det är intressant att relatera emissionerna orsakade av transporter till de totala emissionerna vid biogasproduktion på gårdsnivå. Uppgifter om totala emissioner från gårdsbaserade anläggningar med olika substrat finns i Börjesson och Berglund (2003). Tabell 47 nedan visar de totala emissionerna samt de som orsakas av transporter. För vall ingår odling och skörd, för halm och betblast ingår bärgning. I båda fall ingår produktion av drivmedel, konstgödsel och maskiner. Transportavståndet för substrat och rötrest är i samtliga fall 10 km och det antagna transportmedlet är traktor med lastkapacitet 15 ton. Någon transport av biogas ingår inte i jämförelsen.

**Tabell 47.** Totala emissioner vid gårdsbaserad produktion av biogas per kWh (Börjesson och Berglund, 2003)

Substrat	Växthuseffekt (mg CO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	Försurning (mg SO <sub>2</sub> -ekv/kWh)	Övergödning (mg PO <sub>4</sub> -ekv/kWh)	Partiklar (mg/kWh)
Vall <sup>1</sup>	75000	520	94	11,2
– varav transport <sup>2</sup>	4600	29	5	0,6
– andel	6 %	6 %	5 %	5 %
Halm <sup>1</sup>	42000	210	39	6,5
– varav transport <sup>2</sup>	930	6	1	0,2
– andel	2 %	3 %	3 %	3 %
Betblast <sup>1</sup>	38000	230	42	5,8
– varav transport <sup>2</sup>	8500	53	10	1,2
– andel	22 %	23 %	24 %	21 %
Svinflytgödsel <sup>1</sup>	42000	230	40	6,8
– varav transport <sup>2</sup>	18000	120	21	2,7
– andel	43 %	52 %	53 %	40 %

<sup>1</sup> Värdena är hämtade från (Börjesson och Berglund, 2003). Omräknade från mg/MJ.

<sup>2</sup> Värdena är framtagna med hjälp av beräkningsprogrammet.

Under de givna förutsättningarna (avstånd 10 km, transportmedel traktor 15 ton) varierar hur stor del av emissionerna som kommer från transporter högst avsevärt beroende på substrat. För halm utgör emissionerna från transporter 2 – 3 % medan motsvarande siffra för svinflytgödsel är 40 – 53 %. Det finns ett tydligt samband mellan hög metanproduktion per ton och låg andel emissioner från transporter. Detta innebär att ett substrat med hög metanproduktion kan transporteras betydligt längre än ett med låg produktion innan emissionerna från transporterna blir betydande. Som tidigare nämnts finns ett samband mellan hög TS-halt och hög metanproduktion per ton. Därmed kan också sägas att ju torrare ett

substrat är, desto längre kan det transporteras innan emissionerna från transporten börjar dominera de totala emissionerna.

Även om procentsatserna endast gäller för de givna förutsättningarna i jämförelsen ovan, så kan en del mer generella slutsatser dras om hur betydande emissionerna är från transporter i gårdsbaserade biogassystem. Det i jämförelsen studerade transportmedlet, traktor med lastkapacitet 15 ton, har näst högst emissioner av alla per ton och km. Bara den mindre traktorn har högre emissioner. Ifall ett transportmedel med lägre emissioner väljs, kommer andelen transportrelaterade emissioner att minska. Rörledning, som är det transportmedel med lägst emissioner, har emissionsnivåer som är mindre än 1 % av de för traktor. På så sätt kan de framräknade siffrorna fungera som tak för andelen transportrelaterade emissioner.

På motsvarande sätt kommer andelen att variera beroende på transportavståndet. Ett kortare avstånd än de 10 km som användes i jämförelsen innebär en mindre andel emissioner från transporterna, och ett längre avstånd en större andel.

Vidare kommer andelen emissioner från transporterna att variera utifrån hur de totala emissionerna beräknas. Något som har stor betydelse i sammanhanget är hur systemgränserna dras. För odlade grödor räknas t.ex. emissionerna för odling och skörd in och de totala emissionerna blir därmed högre. Detta får följden att andelen transportrelaterade emissioner blir lägre.

En sammanfattande slutsats är att de transportrelaterade emissionerna kan utgöra alltifrån en försumbar del till över hälften av de totala emissionerna. Allt beroende på:

- Vilket substrat (metanproduktion per ton)
- Vilket transportmedel
- Vilket avstånd
- Hur systemgränserna dras

Det kan vara värt att diskutera ifall emissioner till luften är ett bra sätt att värdera miljöpåverkan på. Skulle miljöpåverkan istället mätas i hur mycket utbränt kärnbränsle som bildas eller hur stor påverkan på den biologiska mångfalden i Norrland (vattenkraft) en transport ger upphov till så skulle resultatet bli helt annorlunda. Det bästa vore givetvis ifall all miljöpåverkan kunde tas med i analysen. Problemet är att det lätt skulle bli oöverskådligt. Dessutom kan det vara svårt att väga de olika miljöproblemen mot varandra och bestämma i vilken ordning de ska motverkas.

Andra miljöproblem än de som orsakas av emissioner kan vara nog så viktiga att beakta. Om de båda alternativen vägtransport och ledningsburen transport ställs mot varandra, så har det senare ett par fördelar utöver de lägre emissionerna. Ledningsburen transport medför t.ex. inte buller, ökad belastning på vägnätet eller potentiellt ökad risk för trafikolyckor.

Överslagsberäkningar kring samarbetsmöjligheter gjordes som tidigare nämnts med hjälp av programmet. Slutsatsen av dessa beräkningar är att det ur emissionssynpunkt alltid är bättre med en egen biogasanläggning på varje gård framför en gemensam, oavsett avstånd och substratmängder.



## Referenslista

- Andersson, Jan (2006 a), Mercedes Benz, personlig kommunikation augusti 2006
- Andersson, Krister (2006 b), Hagaviks biogasanläggning, personlig kommunikation september 2006
- Andersson, Roger (2006 c), AGA Gas AB, personlig kommunikation juli 2006
- Aspholmer, Lars (2006), *SÅindex 3.0*,  
<http://www.larsaspholmer.se/sa/index/bas/frameindex.htm>, 2006-10-16
- Barclay, John (2006), Prometheus Energy Company, personlig kommunikation juli 2006
- Benjaminsson, Johan (2006), *Nya renings- och uppgraderingstekniker för biogas*, Rapport SGC 163, ISSN 1102-7331
- Berglund, Maria (2006), *Biogas Production from a Systems Analytical Perspective*, Doktorsavhandling, Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola, ISBN 91-88360-80-6
- Berglund, Maria och Börjesson, Pål (2003), *Energianalys av biogassystem*, Rapport nr 44, Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola, ISSN 1102-3651
- Björk, Lars-Eric, Brolin, Hans, Pilström, Helen och Alphonse, Rune (1999), *Formler och Tabeller – från Natur och Kultur*, ISBN 91-27-72279-1
- Breid, Roger (2006), Maskinring Stångå-Svartådalén, personlig kommunikation augusti 2006
- Börjesson, Pål (2006), Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola personlig kommunikation juli – december 2006
- Börjesson, Pål och Berglund, Maria (2003), *Miljöanalys av biogassystem*, Rapport nr 45, Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola, ISBN 91-88360-64-4
- Christensson, Kjell (2006), Agellus Miljökonserter, personlig kommunikation september – oktober 2006
- Dahl, Anders (2003), *System för kvalitetssäkring av uppgraderad biogas*, Rapport SGC 138, ISSN 1102-7371
- Edström, Mats och Nordberg, Åke (2004), *Producera biogas på gården – gödsel, avfall och energigrödor blir värme och el*, JTI Informerar - nr 107, ISSN 1651-7407
- Edström, Mats, Nordberg, Åke och Ringmar, Anders (2005), *Utvärdering av gårdsbaserad biogasanläggning på Hagavik*, JTI-rapport – Kretslopp & avfall – 31, ISSN 1401-4955
- E.ON (2006), *Priser och förmåner*,  
<http://www.eon.se/templates/InformationPage.aspx?id=11874>, 2006-10-17

Erneskog, Therese (2005), *Stoppa Läckan! En skrift om förluster av växtnäring från jordbruket i Örebro län*, Lantbruksenheten, Länsstyrelsen Örebro län

Forex (2006), *Aktuella kurser*, [www.forex.se](http://www.forex.se), 2006-10-18

GasKalkyl 1.3 (2006), Svenskt Gastekniskt Center, [www.sgc.se](http://www.sgc.se), 2006-09-28

Hagen, Martin, Polman, Erik, Jensen, Jan K, Myken, Asger, Jönsson, Owe och Dahl, Anders (2001), *Adding gas from biomass to the gas grid*, Report SGC 118, ISSN 1102-7371

Hansson, Anna och Christensson, Kjell (2005), *Biogas ger energi till ekologiskt lantbruk*, Jordbruksinformation 22 - 2005, Jordbruksverket

Hansson, Anna och Christensson, Kjell (2006), *Gårdsbaserad biogasproduktion – en möjlighet för det ekologiska lantbruket*, Jordbruksverket, ISSN 1102-8025

Hansson, Katarina (2006), Nordvästra Skånes Renhållnings AB, personlig kommunikation oktober 2006

Henningson, Hans (2006), AGA Gas AB, personlig kommunikation september 2006

HIR Malmöhus (2006), *Maskinkostnader 2006 – Underlag och kalkylexempel för lantbruksmaskiner*

Hornbachner, D, Hutter, G och Moor, D (2005), *Biogas-Netzeinspeisung - Rechtliche, wirtschaftliche und technische Voraussetzungen in Österreich*

Johansson, Peter (2006 a), Svensk Biogas AB, personlig kommunikation oktober 2006

Johansson, Stefan (2006 b), KDT i Kristianstad AB, personlig kommunikation augusti 2006

Jönsson, Hans-Gösta (2006), Astimac AB, personlig kommunikation september – oktober 2006

Kättström, Hans och Serti, Sami (2002), *Modulbyggd gas-tankstation – teknisk lösning för små CBG och CNG tankstationer*, Miljöförvaltningen i Stockholm

Linné, Lars-Erik (2006), Vikingstad Åkeri AB, personlig kommunikation augusti 2006

Lantz, Mikael (2004), *Gårdsbaserad biogasproduktion för kraftvärme*, Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola

Lantz, Mikael (2006), Avdelningen för Miljö- och Energisystem, Lunds tekniska högskola, personlig kommunikation juli – december 2006

Mårtensson, David (2006 a), lantmästarstuderande, personlig kommunikation oktober 2006

Mårtensson, Henrik (2006 b), Akka Frakt AB, personlig kommunikation augusti – september 2006

- Naturvårdsverket (2006 a), *Sveriges Miljömål*,  
[http://miljomal.nu/om\\_miljomalen/miljomalen/mal7.php](http://miljomal.nu/om_miljomalen/miljomalen/mal7.php), 2006-09-14
- Naturvårdsverket (2006 b), *Sveriges Miljömål*,  
<http://miljomal.nu/Pub/Indikator.php?MmID=2&InkID=Par-222-NV&LocType=CC&LocID=SE>, 2006-09-14
- Naturvårdsverket (2006 c), *Sveriges Miljömål*,  
[http://miljomal.nu/om\\_miljomalen/miljomalen/mal2.php#luft\\_5](http://miljomal.nu/om_miljomalen/miljomalen/mal2.php#luft_5), 2006-09-14
- Naturvårdsverket (2006 d), *Klimat i förändring*,  
<http://www.naturvardsverket.se/dokument/klimat/index.html>, 2006-09-18
- Naturvårdsverket (2006 e), *Föroreningar*,  
<http://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/fororen.htm>, 2006-09-14
- Naturvårdsverket (2005), *Biogasanläggningar med potential – Utvärdering av LIP-finansierade system för rötning och kompostering*. Rapport 5476, ISBN 91-620-5476-7
- Nilsson, Roland (2006), E.ON Gas Sverige AB, personlig kommunikation juli – oktober 2006
- Nilsson, Sören (2000), *Gårdsbaserad biogas på Plönninge naturbruksgymnasium - En förstudie med det tyska konceptet som grund*, Rapport 21, Kretslopp och Avfall, JTI
- Nyman, Rose-Marie och Nyman, Horst (2001), *Sveriges Natur och miljön – 1. Papper*
- Nätverket för Transporter och Miljön (2006). [www.ntm.a.se](http://www.ntm.a.se), 2006-08-29
- OKQ8 (2006), <http://www.okq8.se/foretag/foretaget/bransle>, 2006-10-17
- Olsson, Roland (2006), Roland Olsson i Skåne AB, personlig kommunikation augusti 2006
- Persson, Margareta (2003), *Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas*, Rapport SGC 142
- Pettersson, Anna, Losciale, Michael och Liljemark, Stefan (2006). *LCNG-studie – möjligheter med LNG i fordonsgasförsörjningen i Sverige*, Rapport SGC 167
- Richert Stinzing, Anna och Åkerhielm, Helena (2001), *Fjäderfärgödsel – en kunskapssammanställning*, JTI-rapport 283, ISSN 1401-4963, Institutet för jordbruks- och miljöteknik
- Rodhe, Lena (2006), Institutet för jordbruks- och miljöteknik, personlig kommunikation september 2006
- RVF Utveckling (2005), *Metoder att mäta och reducera emissioner från system med rötning och uppgradering av biogas*, Renhållningsverksföreningen

Rydh, Carl Johan, Lindahl, Mattias och Tingström, Johan (2002), *Livscykelanalys – en metod för miljöbedömning av produkter och tjänster*, ISBN 91-44-02447-9

Sandell, Daniel (2006), Malmberg Water AB, Åhus, personlig kommunikation september 2006

Statens Energimyndighet (2002), *Miljöeffekter (klimat, miljö, hälsa) av alternativa drivmedel*, ER:21:2001

Statens Energimyndighet (2005), *Energiläget i siffror 2005*, ET2005:24

Statens Energimyndighet (2006), *Miljövärdering av el – Marginaler och medel - Underlagsrapport*, [http://www.stem.se/WEB/STEMFe01e.nsf/V\\_Media00/C12570D10037720FC12572300036F23A/\\$file/miljov.pdf](http://www.stem.se/WEB/STEMFe01e.nsf/V_Media00/C12570D10037720FC12572300036F23A/$file/miljov.pdf), 2006-12-04

Stenberg, Håkan (2006), GKF Frakt AB, personlig kommunikation augusti 2006

Stojanovic, Zoran (2006), Daimler-Chrysler, personlig kommunikation augusti 2006

Svenska Biogasföreningen (2006 a), *Biogas – förnybar energi från organiskt avfall*, [http://www.sbgf.org/\\_filer/BIOGAS\\_PDF\\_Sv.pdf](http://www.sbgf.org/_filer/BIOGAS_PDF_Sv.pdf), 2006-10-13

Svenska Biogasföreningen (2006 b), [http://www.sbgf.org/\\_filer/Studieresa\\_Tyskland\\_2004.pdf](http://www.sbgf.org/_filer/Studieresa_Tyskland_2004.pdf), 2006-09-21

Svenska Biogasföreningen (2006 c), [www.sbgf.org](http://www.sbgf.org), 2006-10-17

Svenska Naturskyddsföreningen (2006), *Försurning*, <http://www.snf.se/verksamhet/forsurning/miljopaverkan.htm>, 2006-09-14

Svenska Petroleum Institutet (2001), *Miljöfaktabok för bränslen*

Svenska Petroleum Institutet (2006), *Beräkningsfaktorer*, <http://www.spi.se/omraknfakt.asp>

Svenskt Gastekniskt Center (2006), *Säkerhet*, <http://www.sgc.se/energigas/display.asp?ID=454>, 2006-10-11

Svensson, Mattias (2006), Turbec R&D AB, personlig kommunikation oktober 2006

Svärd, Åsa och Jansen, Jes la Cour (2003). *Svenska biogasanläggningar – Erfarenhetssammanställning och rapporteringssystem*.

Widing, Nils (2006), E.ON Gas Sverige AB, personlig kommunikation september – november 2006

Wågdahl, Kaj (1999), *Distribution av biogas i naturgasnätet*, Rapport SGC 101, ISSN 1102-7371



## Bilaga A – Emissioner från svensk elproduktion

Emissionerna från de transportsystem som drivs av el härrör från produktionen av den förbrukade elen. Då transportsystemet är beläget i Sverige har emissionerna för den el som producerats i Sverige senast dokumenterade år, nämligen 2004 används. Emissionerna från den svenska elproduktionen redovisas i Tabell A:1 nedan som gram utsläpp per producerad kWh.

**Tabell A:1.** Emissioner från svenska elmixen år 2004

Emission	g/kWh
CO <sub>2</sub>	26,140
NO <sub>x</sub>	0,059
SO <sub>2</sub>	0,049
CO	0,011
HC	0,007
Partiklar	0,007

Emissionerna i Tabell A:1 är beräknade utifrån elanvändningen i Sverige och utsläppen från de fyra dominerande kraftslagen; kärnkraft, vattenkraft samt kraftvärme från industri och fjärrvärmeproduktion enligt ekvation (A.1) och ekvation (A.2) nedan. I Tabell A:2 finns emissionerna från framställning av el med de olika produktionssätten och i Tabell A:3 redovisas fördelningen mellan de olika kraftslagen i Sverige.

Multiplikation av emissionerna för vardera kraftslag med mängden producerad energi med aktuellt kraftslag ger den årliga totala mängden emissioner från kraftslaget (A.1). Emissionerna från svensk medel erhålls genom att summera totala emissionerna från de olika kraftslagen och sedan dividera med Sveriges totala produktion (A.2).

$$(A.1) \quad E_{Kraftslag, Tot} = E_{Kraftslag} \cdot prod_{Kraftslag} \quad (g / \text{år})$$

$$(A.2) \quad E_{kWh} = \frac{E_{Vattenfall, Tot} + E_{Kärnkraft, Tot} + E_{Ind-Kraftvärme, Tot} + E_{Fjv-Kraftvärme, Tot}}{prod_{Tot}} \quad (g / kWh)$$

där  $E_{Kraftslag}$  = Emissionerna från aktuellt kraftslag (g/kWh)  
 $prod_{Kraftslag}$  = Producerad el med aktuellt kraftslag (kWh/år)  
 $prod_{Tot}$  = Sveriges totala kraftproduktion (kWh/år)

**Tabell A:2.** Emissioner från de största kraftslagen i g/kWh (Nyman och Nyman 2001)

Kraftslag	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	HC	Partiklar
Vattenkraft	2,55	0,0158	0,0134	0,00372	0,00102	0,00764
Kärnkraft	0,0667	0,000263	0,0000109	0,0018	0,000247	0,0000295
Kraftvärme, industri	205,25	0,3407	0,1945	0,124	0,08455	0,03396
Kraftvärme, fjärrvärme	345,128	0,7818	0,7229	0,078385	0,05794	0,05309

**Tabell A:3.** Sveriges elproduktion år 2004 fördelad på kraftslag (Statens energimyndighet 2005)

<b>Kraftslag</b>	<b>TWh/år</b>	<b>(%)</b>
Vattenkraft	59,5	40
Kärnkraft	75	51
Kraftvärme, industri	5,4	4
Kraftvärme, fjärrvärme	7,5	5
<b>Summa</b>	<b>147,4</b>	<b>100</b>

En förändring i elanvändningen medför i första hand en minskad eller ökad mängd producerad marginalel, vilken i Sverige är dansk eller finsk kolkondenskraft. Emissionerna från denna kraftproduktion finns i Tabell A:4. Dessa data används inte i beräkningsprogrammet utan finns med som jämförelse till svenska elmixen.

**Tabell A:4.** Emissioner från kolkondenskraft (g/kWh). (Statens energimyndighet 2006)

<b>Emission</b>	<b>g/kWh</b>
CO <sub>2</sub>	969,000
NO <sub>x</sub>	0,442
SO <sub>x</sub>	0,720
HC	0,021
Partiklar	0,267
CH <sub>4</sub>	11,319

## Bilaga B – Bränsleförbrukning för biogasdriven lastbil

För att bestämma bränsleförbrukningen för en biogasdriven lastbil används data för en lastbil som finns både i en gasdriven och i en dieseldriven variant. Eftersom det specifika bränslebehovet för de båda varianterna är känt (redovisas nedan i Tabell B:1) kan förhållandet mellan förbrukad diesel och biogas bestämmas. Då dieselförbrukningen för lastbilar av olika storlekar finns att tillgå kan, med förhållandet i förbrukning, en ungefärlig biogasförbrukning bestämmas för dessa lastbilar.

**Tabell B:1.** Data som används för att bestämma förhållandet mellan förbrukad biogas och diesel vid lastbilstransport

	Diesel	Biogas
Specifik bränsleförbrukning	192 g/kWh <sup>1</sup>	187 g/kWh <sup>1</sup>
Densitet	0,815 kg/liter <sup>2</sup>	0,755 kg/Nm <sup>3</sup> <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Förbrukningen för en Mercedes NGT-Econic, Stojanovic, 2006

<sup>2</sup> Svenska Petroleum Institutet, 2006

<sup>3</sup> Gaskalkyl 1.3, 2006

Förbrukningen av diesel och biogas uttryckt i liter/kWh respektive Nm<sup>3</sup>/kWh beräknas enligt ekvation (B.1) och (B.2).

$$(B.1) \quad F\ddot{o}rbrukning_{Diesel} = \frac{192}{0,815} = 0,236 \quad (l / kWh)$$

$$(B.2) \quad F\ddot{o}rbrukning_{Biogas} = \frac{187}{0,755} = 0,248 \quad (Nm^3 / kWh)$$

Förhållandet mellan förbrukad diesel och biogas kan därefter beräknas enligt ekvation (B.3)

$$(B.3) \quad F\ddot{o}rh\ddot{a}llande = \frac{F\ddot{o}rbrukning_{Biogas}}{F\ddot{o}rbrukning_{Diesel}} = \frac{0,248}{0,236} = 1,05 \quad (-)$$

Förbrukningen, är för en biogasdriven lastbil mätt i normalkubikmeter 5 % högre än dieselförbrukningen mätt i liter för en likvärdig dieseldriven lastbil.

## Bilaga C – Kostnad för biogasdriven lastbil

Priset för att få en transporttjänst utförd av en lastbil med biogas som bränsle torde avvika från priset för samma transporttjänst utförd med en dieseldriven lastbil. Lastbilen som drivs med fordonsgas är dyrare i inköp (Andersson, 2006 a) medan bränslekostnaden är något lägre (E.ON 2006, OKQ8 2006). En förutsättning för att kunna beräkna kostnaden för en transport utförd med biogasdriven lastbil är att en förändring av åkeriets kostnader återspeglar sig direkt i det pris som kunden får betala. Andelen för de olika kostnadsposterna för ett åkeri finns i Tabell C:1.

**Tabell C:1.** Kostnadsfördelningen för 2-axlad lastbil. (Aspholmer, 2006)

<b>Kostnadsslag</b>	<b>Andel (%)</b>
Avskrivning	11,8
Ränta	3,8
Fordonsskatt	1,8
Försäkring	4,9
Lön	44,8
Administration	12,4
Däck	1,2
Diesel	12,5
Reparation	6,8
<b>Summa</b>	<b>100</b>

Av kostnadsslagen antas räntan och avskrivningen vara direkt kopplade till anskaffningsvärdet för lastbilen. Med en gasdriven lastbil som har 40 % högre inköpskostnad (Andersson, 2006 a) ökar alltså dessa poster med 40 %.

Avskrivningstiden och räntan som tillsammans utgör 15,6% av kostnaderna ökar med 40% till följd av högre anskaffningsvärde. Lastbilshyran är 560 kr/h (Stenberg, 2006) och således kan kostnadsökningen till följd av högre anskaffningsvärde uttryckas enligt ekvation (C.1).

$$(C.1) \quad \text{Kostnadsökning}_{\text{Invest}} = 560 \cdot 15,6\% \cdot 40\% = 34,9 \quad (\text{kr} / \text{h})$$

Byte av bränsle påverkar också kostnaden för åkeriet, och därigenom det pris kunden får betala. Priset exkl. moms för diesel ligger på 8557 kr/m<sup>3</sup> (OKQ8, 2006) medan priset för biogas är 6,85 kr/Nm<sup>3</sup> (EON, 2006). Eftersom förhållandet mellan förbrukningen av bränslena är känt (enligt Bilaga B) och så även kostnaderna för de båda bränslena kan kostnaden för biogas uttryckas som en faktor av dieselkostnaden enligt ekvation (C.2).

$$(C.2) \quad \text{kostnad}_{\text{Biogas}} = \text{kostnad}_{\text{Diesel}} \cdot \left( \frac{1,05 \cdot \text{pris}_{\text{Biogas}}}{\text{pris}_{\text{Diesel}}} \right) = \text{kostnad}_{\text{Diesel}} \cdot 0,84 \quad (\text{kr} / \text{år})$$

Bränslekostnaden minskar vid övergång till biogas från diesel med 16%. Bränslekostnaden för lastbil med diesel utgör enligt Tabell C:1 12,5% av den totala kostnaden på 560 kr/h. Den minskade kostnaden till följd av bränslebyte kan då skrivas som ekvation (C.3)

$$(C.3) \quad \text{Kostnadssänkning}_{\text{Bränsle}} = 560 \cdot 12,5\% \cdot 16\% = 11,2 \quad (\text{kr} / \text{h})$$

Kostnaden för biogasdriven lastbil blir slutligen:  $560 + 34,9 - 11,2 = 583,7$  (kr / h)

## Bilaga D – Annuitetsmetoden

Annuitetsmetoden används för att fördela en kostnad på den på den förväntade avskrivningstiden, så att en årlig kostnad kan bestämmas. Formeln ser ut enligt nedan:

$$(D.1) \quad K = \frac{I \cdot r}{1 - (1 + r)^{-t}} \quad (\text{kr} / \text{år})$$

där  $K$  = årlig kostnad (kr/år)  
 $I$  = investering (kr)  
 $r$  = realränta (-)  
 $t$  = avskrivningstid (år).

## Bilaga E – Tryckfall och hastighet i gasledning

Tryckfallet i en rak gasledning beräknas med formeln

$$(E.1) \quad p_2 = \sqrt{p_1^2 - \lambda \cdot \frac{16}{\pi^2} \cdot \frac{L}{D^5} \cdot Z_m \cdot R \cdot T \cdot \dot{V}_n \cdot \rho_n^2} \quad (Pa)$$

där

- $p_2$  = absolut tryck ut ur ledningen (Pa)
- $p_1$  = absolut tryck in i ledningen (Pa)
- $\lambda$  = friktionskoefficient (-)
- $L$  = ledningens längd (m)
- $D$  = ledningens inre diameter (m)
- $Z_m$  = kompressibilitetsfaktor (-)
- $R$  = specifik gaskonstant (J/kg•K)
- $T$  = temperatur (K)
- $\dot{V}_n$  = gasflöde vid normaltillstånd (Nm<sup>3</sup>/s)
- $\rho_n$  = densitet för gasen vid normaltillstånd (kg/Nm<sup>3</sup>).

Vid inmatningen i programmet ges  $p_1$ , och  $D$  direkt genom att en ledning väljs samt  $L$  genom inmatning av ledningens längd. Även gasflödet,  $\dot{V}_n$ , är givet. Övriga storheter sätts till:

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,013 \\ Z_m &= 1 \\ R &= 305 \text{ (obeh. gas), } 493 \text{ (uppgr. gas) J/kg•K} \\ T &= 288,15 \text{ K} \\ \rho_n &= 1,222 \text{ (obeh. gas), } 0,755 \text{ (uppgr. gas) kg/m}^3 \end{aligned}$$

För att kunna beräkna gasens hastighet i ledningen måste först det verkliga gasflödet beräknas. Detta görs med hjälp av en utveckling av den ideala gaslagen enligt formeln nedan:

$$(E.2) \quad p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 \Leftrightarrow V_1 = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{p_1}$$

$$(E.3) \quad p_n \cdot V_n = m \cdot R \cdot T_n \Leftrightarrow V_n = \frac{m \cdot R \cdot T_n}{p_n}$$

$$(E.4) \quad \frac{V_1}{V_n} = \frac{\frac{m \cdot R \cdot T_1}{p_1}}{\frac{m \cdot R \cdot T_n}{p_n}} = \frac{T_1 \cdot p_n}{T_n \cdot p_1} \Leftrightarrow V_1 = V_n \cdot \frac{T_1}{T_n} \cdot \frac{p_n}{p_1}$$

vilket om volymen  $V$  genom division med tid görs om till ett flöde  $\dot{V}$  ger:

$$(E.5) \quad \dot{V} = \dot{V}_n \cdot \frac{T}{T_n} \cdot \frac{p_n}{p} \quad (m^3 / s)$$

där  $\dot{V}_1$  = verkligt gasflöde ( $m^3/s$ )  
 $\dot{V}_n$  = gasflöde vid normaltillstånd ( $Nm^3/s$ )  
 $T$  = temperatur (K)  
 $T_n$  = temperatur vid normaltillstånd (K)  
 $p$  = rådande tryck (absolut) (Pa)  
 $p_n$  = tryck vid normaltillstånd (absolut) (Pa).

Sedan kan gashastigheten bestämmas med formeln

$$(E.6) \quad v = \frac{\dot{V}}{A}$$

där  $v$  = gashastighet (m/s)  
 $A$  = ledningens tvärsnittsarea ( $m^2$ ).

I beräkningsprogrammet bestäms gashastigheten för tre olika dimensioner på gasledning. De omnämns som 32 mm, 63 mm och 125 mm, vilket är de olika rörens yttre diameter. Den inre diametern, d.v.s. den som används för att bestämma gashastigheten är för de tre ledningarna 26 mm, 51,4 mm och 102,2 mm.