

CHALMERS



Bild: Ragn-Sells

Miljö- och samhällsekonomisk analys av behandling av biologiskt avfall

Examensarbete i masterprogrammet Industrial Ecology

HANNA LJUNGKVIST

Institutionen för Energi och Miljö
Avdelningen för Miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2008
ESA-rapport Nr. 2008:1

ESA-RAPPORT NR 2008:1

Miljö- och samhällsekonomisk analys av behandling av biologiskt
avfall

HANNA LJUNGKVIST

Institutionen för Energi och Miljö
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2008

Miljö- och samhällsekonomisk analys av behandling av biologiskt avfall

HANNA LJUNGKVIST

© HANNA LJUNGKVIST och Avdelningen för Miljösystemanalys, Chalmers Tekniska
Högskola, 2008

ESA-Rapport Nr 2008:1
ISSN: 1404 – 8167
Avdelningen för Miljösystemanalys
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon +46 (0) 31-772 10 00
Chalmers Reproservice
Göteborg, Sverige 2008

Sammanfattning

Biogas är ett förnyelsebart bränsle som kan utvinnas genom rötning av ett flertal olika substrat, bland annat biologiskt hushållsavfall. Alternativt kan avfallet brännas tillsammans med andra avfallsfraktioner i kraftvärmeverk. I denna studie används livscykelanalys för att undersöka vilken hantering av biologiskt hushållsavfall som är bäst ur miljösynpunkt; rötning eller förbränning. Resultaten baseras på en fallstudie av Ragn-Sells biogasanläggning i Heljestorp, Vänersborg. Alternativet är förbränning vid kraftvärmeverket i Sävenäs, Göteborg. Tre olika viktningsmetoder användes vid analysen, vilket gav olika resultat på detaljnivå. Som helhet hade dock rötningensalternativet betydligt mindre potentiell miljöpåverkan än förbränningsalternativet enligt samtliga metoder. En ekonomisk värdering av biogasanläggningens potential visade att störst samhällsekonomiska nytta skulle uppnås om all producerad biogas användes i tunga fordon eller ersatte eldningsolja. Biogas är ett högkvalitativt bränsle som i första hand bör användas i fordon, inte i värmepannor. Att producera biogas tar tillvara nyttan i avfallet på flera sätt genom att minska avfallsmängder, reducera utsläpp från transportsektorn, ge bättre luftkvalitet och återföra viktiga näringsämnen till jordbruket genom biogödsel. Dessutom kan den infrastruktur och det kunnande som byggs upp kring biogasen verka som en brygga till framtida gasbaserade transportsystem.

Abstract

Biogas is a renewable fuel that can be extracted from anaerobic digestion of many different substrates, for example biological household waste. An alternative handling of the waste is to mix it with other wastes and incinerate it in a combined heat and power (CHP) plant. This study uses life cycle assessment to investigate which type of waste handling that is better from an environmental point of view, anaerobic digestion with biogas production or incineration. The results are based on a case study of a biogas production plant owned by the company Ragn-Sells in Vänersborg. The alternative is incineration at a CHP plant in Gothenburg. Three different weighting methods were used, which produced different results on the detailed level. Overall however, the alternative with digestion and biogas production had significantly lower potential environmental impact than incineration according to all three methods. An economic valuation of the biogas production potential showed that the biggest societal savings would result from using all the produced biogas in heavy vehicles or to replace fuel oil for heating. However, since biogas is a high quality fuel it should be used as transportation fuel rather than for heating. By digestion and biogas production many potential services are gained from the organic waste. Waste volumes are reduced, emissions from the transport sector are reduced, local air quality is improved and valuable nutrients are returned to farmland through the organic fertilizer produced. The infrastructure and knowledge built up around the biogas system is also very valuable as a bridge to future gas based transport systems.

Innehållsförteckning:

Förord	1
1 Introduktion	2
1.1 Måldefinition	2
1.2 LCA-introduktion	2
1.3 Läsarguide	3
2 Bakgrund	4
2.1 Svensk biogashistorik.....	4
2.2 Dagsläget	4
2.3 Röttningsprocesser	5
2.4 Exempel.....	5
2.4.1 Biogas i Linköping	5
2.4.2 Biogas i Trollhättan	5
2.5 Biogasanläggningen i Heljestorp	6
2.6 Aktörer.....	7
2.7 Alternativ: förbränning.....	8
3 Miljöanalysmetodik	8
3.1 Funktionell enhet	10
3.2 Systembeskrivning och förutsättningar.....	10
3.2.1 Biogassystemet.....	11
3.2.1.1 Avgränsningar och antaganden för biogassystemet	12
3.2.2 Förbränningsalternativet	13
3.2.2.1 Avgränsningar och antaganden för förbränning.....	13
4 Resultat	14
4.1 LCI-resultat.....	14
4.2 Resultat av klassificering och karakterisering:	14
4.2.1 Röttningsalternativet.....	14
4.2.2 Förbränningsalternativet	16
4.3 Viktning i de båda mjukvarorna:	16
4.3.1 Eco Indicator '99:	16
4.3.2 EDIP:	17
4.3.3 EPS 2000:.....	18
5 Analys av resultat	19
5.1 Dominansanalys - vad orsakar mest miljöpåverkan?.....	19
5.2 Påverkansanalys - vilken miljöpåverkan bidrar mest till totala påverkan?	19
5.3 Sensitivitetsanalys.....	20
5.4 Variationsanalys - förändra systemen	21
6 Ekonomisk analys	22
7 Diskussion och slutsatser	23
Referenser	26
Appendix 1: Ordförklaringar	1
Appendix 2: Systemmodeller i mjukvarorna, med kommentarer	2
Appendix 3: Beräkningar av el- och fjärrvärmeproduktion	4
Appendix 4: Fullständiga LCI-data	5

Förord

Detta examensarbete på 30 poäng utgör den sista delen i min civilingenjörsutbildning. Det har utförts på avdelningen för Miljösystemanalys, institutionen för Energi och miljö på Chalmers tekniska Högskola i Göteborg.Handledare har varit Ulrika Palme och examinator Anne-Marie Tillman. Uppdraget kom från Ragn-Sells i Vänersborg och förmedlades av organisationen Miljöbron.

Jag vill tacka alla som bidragit och hjälpt mig under arbetets gång. Min handledare Ulrika Palme för uppmuntran och hjälp med rapportskrivning och allt annat under arbetets gång. Claes Fredriksson för att han tog sig tid för mig och hjälpte mig med material i arbetets startfas. Stort tack Ragnar Davidsson på Ragn-Sells och alla andra som på något sätt bidragit med data till inventeringen. Tack till Ida Sjölund på Miljöbron för stöd, tips och råd. Jag vill även tacka Anne-Marie Tillman för att jag fick chansen att använda mig av de båda mjukvarorna i arbetet - det har varit mycket intressant och lärorikt. Tack till familj och vänner som alltid ställer upp för mig. Slutligen ett stort tack till alla kollegor, och särskilt mina vänner i exjobbsrummet, på Miljösystemanalys. Utan er hade det inte varit alls lika roligt att ”gå till jobbet” den här terminen!

Göteborg, januari 2008

Hanna Ljungkvist

1 Introduktion

I dagens miljödebatt med stark fokus på global uppvärmning riktas mycket kritik mot användning av fossila bränslen, inte minst inom transportsektorn, där dessa dominerar starkt. Inom EU står transportsektorn för en dryg femtedel av utsläppen av växthusgaser (European commission, 2006). Frågan om vilka bränslen som ska ersätta bensin och diesel är både komplex och kontroversiell, med många olika aktörer involverade. Kommer en viss typ av bränslen att dominera även i framtiden, eller kommer vi se en diversifiering på marknaden? Ett fåtal nya alternativ har under de senaste åren introducerats, ofta till följd av politiska incitament och subventioner. Europakommissionen har till exempel satt upp som mål att biobränslen skall ha 5,75% av andelarna på transportbränslemarknaden år 2010 (European commission, 2006). Etanol och biogas är två exempel på biobränslen. Båda är förnyelsebara och kan produceras från en mängd olika substrat. I fallet med biogas är substraten dessutom ofta restprodukter från samhället som annars inte skulle utnyttjas, till exempel avloppsslam, fiskrens eller restprodukter från jordbruket. I vissa fall kan det dock finnas flera behandlingsalternativ för ett substrat. Vilket alternativ som väljs kan bero av flera olika faktorer, såsom tillgänglighet, politiska beslut och ekonomiska aspekter. Alternativens miljöpåverkan bidrar numera allt oftare till beslut, vilket motiverar ämnet för denna uppsats.

1.1 Måldefinition

Detta arbete syftar till att med hjälp av livscykelanalys, LCA, och baserat på en fallstudie av biogasproduktion på Ragn-Sells i Vänersborg, svara på följande frågor:

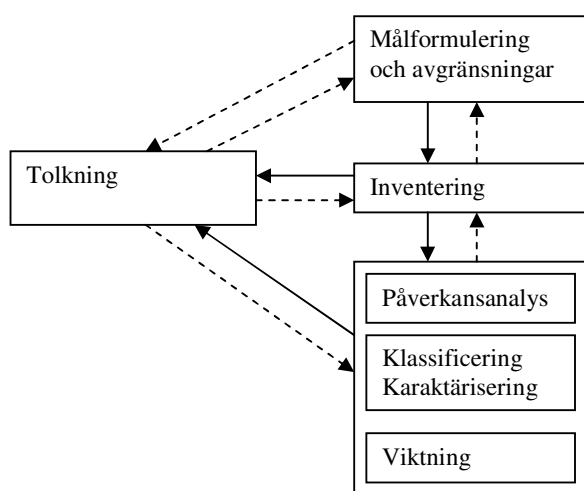
- Vilken hantering - rötning eller förbränning - är bäst för biologiskt avfall från hushåll och företag/industrier ur miljösynpunkt?
- Vilken eller vilka delar av det studerade biogassystemet, från avfall till slutanvändning, har störst miljöpåverkan?
- Vilken process i förbränningsalternativet har störst miljöpåverkan?
- Hur påverkar val av LCA-metod resultatet? Tre olika viktningmetoder jämförs.
- Hur stor är den samhällsekonomiska nyttan med att använda biogas till olika ändamål i dagsläget och hur stor potential till besparingar finns? Denna fråga besvaras separat.

Arbetet har utförts på avdelningen för miljösystemanalys på Chalmers och enligt uppdrag från Traab, Trestadsregionens avfallsaktiebolag, numera Ragn-Sells. Projektet förmedlades via organisationen Miljöbron. Resultatet är avsett kunna användas som underlag för diskussion med kunder vid upphandling av avfallshantering, samt för kommunikation med hushåll och industrier som förser rötningsanläggningen med råvara.

1.2 LCA-introduktion

Kortfattat kan man beskriva LCA som en metod för att undersöka produkters eller processers miljöpåverkan från "vaggan till graven". Metoden är standardiserad enligt ISO 14042 (ISO 14042, 2000) och består av flera delar, se Figur 1. Först och främst definieras målet med analysen och avgränsningar sätts upp. Sedan följer en inventeringsfas där nödvändiga data

samlas in och dokumenteras. Dessa data kan antingen sammanställas och presenteras direkt som en livscykelinventering (LCI), eller aggregeras ytterligare i en påverkansanalys. I detta steg klassificeras de olika inventeringsdata i olika kategorier utifrån vilken typ av miljöpåverkan de bidrar till. De relativa bidragen till olika typer av påverkan beräknas därefter i ett så kallat karaktäriseringssteg. Till sist vägs alla typer av miljöpåverkan samman till ett gemensamt endimensionellt index. Detta sista steg är inte obligatoriskt enligt ISO-standarderna, utan kan utelämnas. I detta arbete kommer en fullständig LCA att genomföras, där resultat från påverkansanalysen aggregeras till indexresultat. Det finns flera olika viktningmetoder för påverkansanalys, utvecklade för olika brancher och med olika grund för bedömning av miljöpåverkan. Vissa baseras på politiska miljömål, andra på kritiska belastningar för olika ämnen i miljön och ytterligare andra på olika kulturella perspektiv. Valet av viktningmetod kan alltså påverka resultatet av analysen avsevärt (Baumann och Tillman, 2004). Mer information om viktningmetoder följer i ett separat avsnitt.



Figur 1: De olika delarna i LCA. Fritt översatt från Baumann och Tillman (2004).

1.3 Läsarguide

Utöver denna introduktion består rapporten av ytterligare sex kapitel. I kapitel två presenteras biogasens historia kortfattat och en första inblick i rötnings- och förbränningshantering ges. Kapitel tre redovisar hur analysen genomförts, hur systemen modellerats samt vilka begränsningar och antaganden som använts. Här presenteras även de tre viktningmetoderna. Resultaten från inventering, karaktärisering och klassificering samt viktning återfinns i kapitel fyra. I kapitel fem redovisas olika analyser av resultaten. Detta kapitel innehåller även en diskussion om hur val av metod påverkar resultaten, det vill säga det svarar på den fjärde frågan i målformuleringen. Den samhällsekonomiska analysen presenteras i kapitel sex. En avslutande diskussion med slutsatser och förslag till framtida studier inom området ges i det sista kapitlet. För ordförklaringar, se appendix 1.

2 Bakgrund

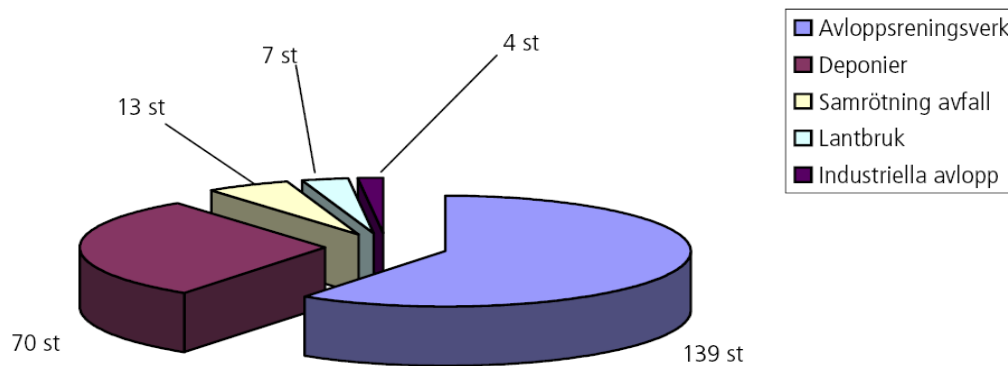
I detta avsnitt ges bakgrundsinformation om biogasframställning förr och nu, samt en inledande beskrivning av de båda alternativ för avfallsbehandling som studerats i detta arbete.

2.1 Svensk biogashistorik

Biogasproduktion har funnits länge. Exakt när man började producera biogas i Sverige är svårt att säga, men enligt Berglund (2006) började biogasproduktion från avloppsslam ta fart ordentligt på 1960-talet. Främsta avsikten med behandlingen var att stabilisera slammet och minska dess volym. På 1980-talet började även industrier att behandla sitt avloppsvatten med anaerob nedbrytning för att minska mängden biologiskt material i utloppsvattnet. Att utvinna metangas ur avfallsdeponier blev vanligt först i slutet av 1980-talet. Även i detta fall var avsikten att minska utsläppen, i detta fall av metan till luft, och inte att utnyttja gasen som energikälla. Oljekrisen under 1970-talet bidrog till ett ökat intresse för lokalt producerad energi, vilket ledde till flera statligt subventionerade gårdsanläggningar för biogasproduktion växte fram, främst på större svingårdar med gödsel som substrat. Dessa togs i bruk mellan 1975 och 1984, men blev inte fler än 15 då investeringsstöden från staten togs bort. De flesta finns inte kvar i bruk idag. Sedan mitten av 1990-talet har flera större biogasanläggningar byggts, främst i södra Sverige, avsedda för rötning av olika flytande substrat som industriavfall, gödsel, jordbruksrester med mera (Berglund, 2006).

2.2 Dagsläget

Biogas är ett område i snabb utveckling. I Sverige producerades år 2006 ca 1,5 TWh biogas vid 240 anläggningar (Svenska Gasföreningen, 2006a). En normalkubikmeter, Nm³, biogas motsvarar ungefär 10 kWh. Under första halvan av 2007 ökade produktionen med 38% jämfört med motsvarande period ett år tidigare (Djurkovski, 2007). Majoriteten av anläggningarna ligger vid kommunala avloppsreningsverk (se Figur 2) och får sitt substrat därifrån. Under 2006 levererades mer än 23 miljoner Nm³, biogas till fordonsdrift, vilket motsvarar mer än hälften av den fordonsgas som såldes (Svenska Gasföreningen, 2006b). Resterande del består av naturgas. För närvarande finns drygt 100 tankställen för biogas i Sverige, varav runt 80 publika, och inom några år förväntas antalet flerdubblas. Idag rullar 13 500 gasdrivna fordon på svenska vägar, varav hälften i Västsverige (Djurkovski, 2007). Business Region Göteborg har nyligen lämnat in en ansökan till naturvårdsverket för klimatinvesteringar på 378 miljoner kronor, varav en stor del skall gå till investeringar i biogas. Av de femton åtgärder som föreslås handlar två om småskalig biogasproduktion där gårdar kopplas ihop i ett nätverk med uppgradering av gasen till fordonsgas. Även satsningar på en blandning av biogas och vätgas, så kallad BioHytan, föreslås (Business Region Göteborg, 2007) Fram till 2050 bedöms den nationella biogaspotentialen vara runt 14 TWh per år. Som jämförelse kan nämnas att hela vägtransportsektorn i Sverige använder omkring 90 TWh per år (Energimyndigheten, 2006). Störst potential som substrat har odlade grödor, förutsatt att 10% av Sveriges nuvarande åkerareal används för grödor till biogasproduktion. Även gödsel och matavfall har stor möjlighet att få ökande betydelse (Linné och Jönsson, 2004). En stor fördel med biogasen anses vara att distributionen kan ske via det redan existerande naturgasnätet (E.ON, 2007).



Figur 2: Biogasanläggningar i Sverige år 2005 (Svenska gasföreningen, 2006b).

2.3 Röttningsprocesser

Biogas bildas när biologiskt material bryts ner av metanproducerande bakterier under syrefria förhållanden. Dessa processer fungerar i temperaturintervallet 10-70°C. De vanligaste processtemperaturerna vid biogasanläggningar ligger i det mesofila området (kring 35°C) eller det termofila området (kring 55°C) eftersom omsättningen på bakterierna är hög vid dessa temperaturer. Termofila processer har blivit allt vanligare, då mindre volymer på röttkammare krävs vid högre temperatur (BioSystem AB, 2004). Våta processer är vanligast förekommande, men rötning kan även ske i torra processer (Edström et al, 2004). Beroende på substrat kan processen utformas på olika sätt. I enstegsprocesser används en röttkammare, medan tvåstegsprocesser använder sig av seriekopplade kammare. Vid rötning av avloppsslam kan olika typer av bärcroppar för mikroorganismer och filter användas för att optimera processen (BioSystem AB, 2004).

2.4 Exempel

Här följer två korta exempel på städer som var tidigt ute i biogas-Sverige. De använder olika substrat, men nyttjar gasen för samma ändamål: fordonsgas.

2.4.1 Biogas i Linköping

I Linköping startades tillverkning av biogas som lösning på två problem i början av 90-talet, nämligen dålig luftkvalitet och hantering av avfall från slakterinäringen. 1996 bildades Linköping Biogas AB, som skulle producera biogas till stadsbussarna i staden samt ta hand om slakteriernas avfall och producera biogödsel. År 2004 slogs företaget ihop med nybildade Svensk Biogas AB, som har i uppdrag att förvalta de två befintliga produktionsanläggningarna i Linköping och Norrköping samt främja ny produktion och distribution i regionen. Anläggningen i Norrköping är en s.k. gröngasanläggning, där substratet utgörs av restprodukter från etanolproduktion. Den producerade gödseln används i sin tur som gödning till etanolgrödorna (Svensk Biogas, 2007). Gödseln är miljö- och kvalitetscertifierad enligt Statens provnings och forskningsinstitutets regler sedan mars 2003 (Svenska biogasföreningen, 2007). Hösten 2006 fanns 12 tankställen för biogas i regionen och drygt 5 procent av bränslemarknaden bestod av biogas.

2.4.2 Biogas i Trollhättan

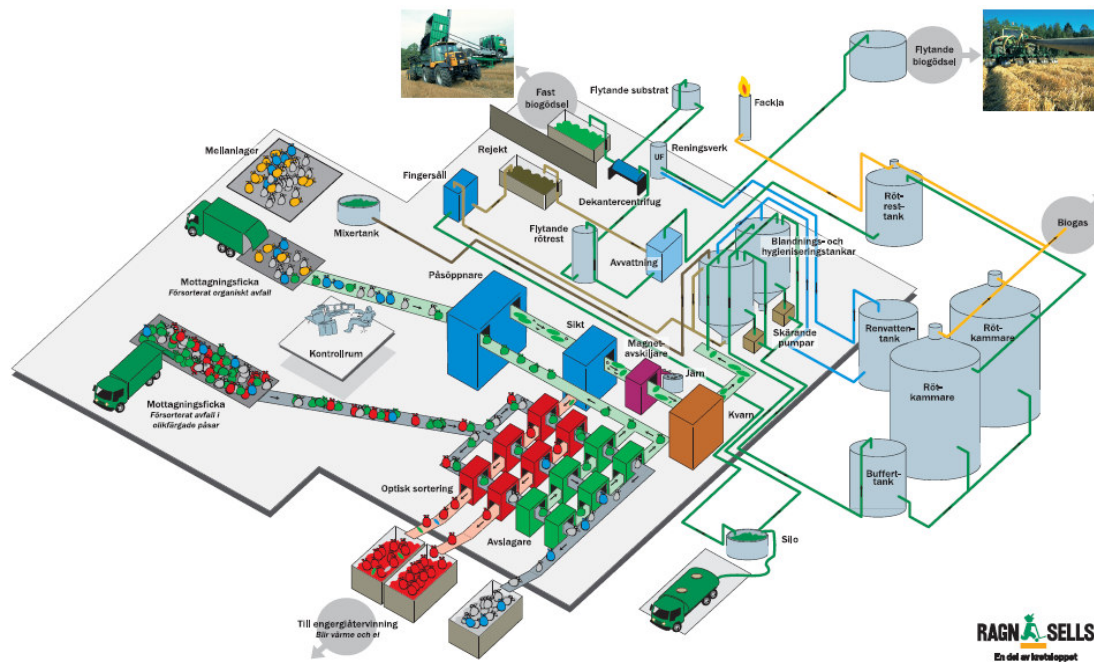
Trollhättan var först i Sverige med att köra bussar på biogas. Satsningen startade 1996 med gasproduktion från avloppsslam vid det kommunala avloppsreningsverket och har senare

byggs ut för att även kunna ta emot och röta slam från livsmedelsindustrin. I Trollhättan använder man sig av en mesofil tvåstegsprocess, där den första kammaren är 3000 m³ och den andra 1200 m³. Temperaturen är 33°C och totala uppehållstiden i de båda kamrarna är 25 dygn (Miteva, 2004). Vid reningsverket finns sedan 2001 en uppgraderingsstation som renar gasen både från den egna produktionen och från Ragn-Sells från koldioxid och fukt. Den uppgraderade gasen blir fordonsgas. Staden har en tankstation för bussar och en publik station för personbilar. Priset på biogas i Trollhättan är lågt, endast 7,50 kronor per Nm³, vilket gör det ca 40% billigare att köra på biogas jämfört med bensin (Betsgren, 2006). På andra tankställen i landet tar man ofta runt 10 kronor per Nm³ (FordonsGas, 2007). Idag körs bland annat 17 stadsbussar och omkring 130 personbilar på biogas i Trollhättan (Trollhättan energi, 2007).

2.5 Biogasanläggningen i Heljestorp

Avfallsföretaget Trestadsregionens avfalls AB, numera Ragn-Sells, separerar och rötar sedan år 2000 den organiska fraktionen av det mottagna hushållsavfallet från omgivande kommuner till biogas. Det organiska avfallet, vilket motsvarar ca 25% av den totala avfallsmängden, sorteras av hushållen i gröna plastpåsar, som skiljs ut med optisk sortering i anläggningen (se Figur 3). Sorteringsanläggning har en kapacitet på 50 000 ton avfall per år, medan rötningsanläggningen har en totalkapacitet på 22 000 ton. Materialet passerar en magnetavskiljare som avlägsnar eventuella metallföremål. Sedan mals avfallet till 12 mm storlek och förs vidare till kombinerade blandnings- och hygieniseringsstankar där det finfördelas och späds till önskad konsistens (TS-halt på 8-10%). I tankarna sjunker för tungt material till botten och alltför lätt material flyter till ytan och kan separeras bort. Därefter hygieniseras massan genom värmebehandling vid 70°C i en timme för att eliminera mikroorganismer som kan orsaka sjukdomar. Materialet pumpas sedan via en bufferttank till en av två rötningstankar, där det rötas i en våt termofil enstegsprocess vid 55°C med totalomblandning under ca 18 dygn. Gasen avleds från toppen av tankarna (Ragn-Sells, 2007). Därefter leds materialet till en rötresttank där efterrötning och ytterligare gasutvinning sker. Till sist används en skruvavvattnare för att erhålla en flytande rest och ett fast rejekt. Den flytande resten separeras till ett fast biogödsel samt ett flytande substrat som efter ytterligare filtrering ger flytande biogödsel samt rent vatten. Vattnet återanvänds som spädningsvatten i processen (Ragn-Sells, 2007). Biogödseln är certifierad enligt Statens Provnings och Forskningsinstituts regler (SP, 2006) och godkänt för ekologisk odling enligt EUs regler sedan juni 2006. Den fasta biogödseln används inom anläggningen för täckning av deponier, medan den flytande gödseln transporteras till lantbrukare i närområdet (Davidsson, 2007).

År 2006 producerade anläggningen 1 066 293 Nm³ biogas från 11 272 ton avfall (Traab, 2006). Gasen består till ca 70% av metan och resten koldioxid. Rötgasen säljs i dagsläget i första hand till Trollhättan för uppgradering till fordonsgas, och i andra hand vid behov via deponigasnätet till Norra Älvsborgs Lasarett, NÄL, och Trestad center för uppvärmning. Finns inget behov av gasen för dessa ändamål bränns den i en fackla vid anläggningen (se Figur 3). Från september 2009 kommer överskottsgas distribueras till fjärrvärmenätet (Davidsson, 2007).



Figur 3: Sorterings- och röttningsanläggningen i Heljestorp (Ragn-Sells, 2007).

2.6 Aktörer

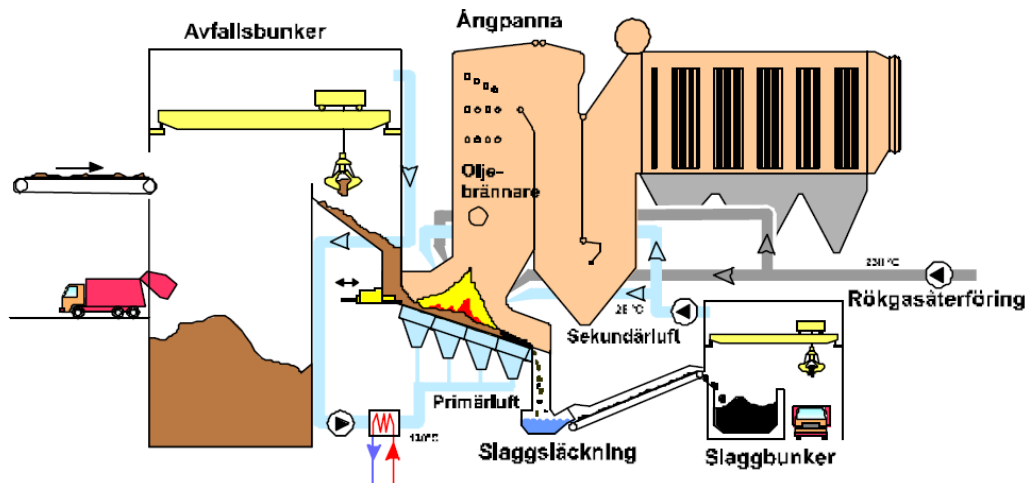
Många faktorer påverkar möjligheten för en röttningsanläggning att uppföras, drivas och vara lönsam. En viktig faktor är hur olika aktörer samverkar, eller inte samverkar, kring olika delar av verksamheten. Nedan görs ett försök att beskriva betydelsen av de aktörer som omger röttningsanläggningen i Heljestorp.

Flera olika aktörer samverkar och berörs av biogasproduktionen vid Heljestorp. De anställda på företaget är självklara aktörer, då de är beroende av anläggningen för sin försörjning. Hushållen i regionen förser anläggningen med en stor del av råvaran, och är därför beroende av god information om hur avfallet skall sorteras. Stickprov visar att det mesta sorteras på rätt sätt. Även restauranger och livsmedelsindustrier bidrar med råvara. Dagligvaruhandlarna i området säljer de olika färgade påsarna, vilket är en förutsättning för att systemet med optisk sortering ska fungera. Åkare, både privata och kommunala, har företaget som kund och ser till att avfallet transporteras till anläggningen. De kunder som köper gasen spelar naturligtvis en stor roll - utan dem finns ingen avsättning för produkten.

Det finns även aktörer som inte påverkar/ påverkas så direkt, men som ändå spelar en viktig roll. De odlare som tar emot biogödsel från anläggningen är beroende av olika organisationers syn på gödseln. Till exempel accepterar inte Kontrollföreningen för ekologisk odling, KRAV, produkter som gödslats med biogödsel från anläggningen. Detta trots att gödseln godkänns för ekologisk odling enligt EUs regler. Även större uppköpare av foder/spannmål ställer sig negativa. Detta påverkar naturligtvis möjligheten att få avsättning för gödseln och kan ha negativ inverkan på den allmänna inställningen till denna typ av gödsel. I dagsläget genererar biogödseln inga inkomster, tvärtom bekostar företaget transporten av gödsel till odlarna. Indirekt påverkas anläggningen också av den politiska inställningen till biogas i regionen. Miljömål och kommunala eller regionala satsningar på förnyelsebara bränslen är exempel på faktorer som påverkar hur eftertraktad gasen är, och därmed företagets ekonomiska förutsättningar.

2.7 Alternativ: förbränning

Alternativet till att röta det organiska avfallet är att transportera det till Renovas kraftvärmeverk i Sävenäs, Göteborg. Dit körs redan det brännbara avfallet för förbränning i det stora kraftvärmeverket. Avfallet förbränns i någon av de tre ugnarna, vilka producerar ånga som driver en turbin med generator och mottryckskondensator för produktion av elektricitet och fjärrvärme. Avtappningsånga från turbinen driver absorptionsvärmepumpar som producerar ytterligare fjärrvärme. Den totala förbränningskapaciteten är 59 ton avfall per timme. Fukthalten i avfallet är i genomsnitt 32% (Gustafson, 2007). Avfallet förbränns på rooster, varpå slaggen faller ner i ett vattenfyllt slaggläckningstråg. Därifrån transporteras den till en slaggbunker (se Figur 4). Slaggen motsvarar ca 20% av det ursprungliga avfallets vikt. De rökgaser som bildas vid förbränningen avförs via en avgasångpanna till en reningsanläggning med flera steg (Renova, 2006). Inga pannor bränner enbart biologiskt avfall. Med hänsyn till vilket värmevärde pannorna är byggda för, 7-14 MJ/kg, skulle man kunna blanda in upp till 80 % biologiskt avfall med värmevärde 6,1 MJ/kg (Pettersson, 2007).



Figur 4: Principskiss av kraftvärmeverket i Sävenäs (Renova, 2006).

3 Miljöanalysmetodik

Studien började med ett besök på rötningsanläggningen och samtal med företagets miljöingenjör, Ragnar Davidsson. Sedan började jag orientera mig inom ämnet med hjälp av litteraturstudier och informationssökning på internet. De första modellerna av systemen för rötning och förbränning skissades upp och jag formulerade mina frågeställningar. Därefter vidtog inventeringen, då data för systemen samlades in och dokumenterades som LCI-data i Excel. Under denna fas lärde jag mig succesivt mer om systemen och kunde förbättra modellerna därefter. Därefter påbörjade jag arbetet med två mjukvaror för LCA; SimaPro 7 Faculty och GaBi 4. Efter en inlärningsperiod modellerades systemen för rötning och förbränning i de båda programmen med hjälp av insamlade LCI-data. Klassificering, karakterisering och påverkansbedömning utfördes med viktningmetoderna EDIP, Eco Indicator '99 och EPS 2000. Anledningen till att dessa metoder valdes är dels att de är välkända och väldokumenterade, dels att de baserar vägningen på olika grunder, vilket gör det mer intressant att jämföra resultaten. Här följer en kort beskrivning av metoderna och vad de grundar sig på. Beskrivningen grundas på Baumann och Tillman (2004).

Ecoindicator'99

Eco Indicator'99, eller EI'99, utvecklades för designers och ingenjörer, och särskilt för användning inom produktutveckling. Första versionen kom 1995, och uppdaterades 1999. Metoden är avsedd för europeiska förhållanden. Viktningen är unik genom att den grundar sig på tre kulturella perspektiv: hierarkistiskt, individualistiskt och jämlikt. Enligt det individualistiska perspektivet uppstår miljöproblem endast ur bevisade orsak- verkansamband och ingen hänsyn tas till långsiktiga effekter. Det hierarkistiska perspektivet bygger definitioner av miljöpåverkan på fakta som erkänts av vetenskapligt och politiskt trovärdiga samhällsgrupper. Det jämlika perspektivet baseras på försiktighetsprincipen och har ett långt tidsperspektiv, vilket gör det till det mest omfattande. De tre perspektiven ger varsin uppsättning vikter. Dessa tre kan även vägas ihop till en medelvikt. Vikterna baseras på "avstånd till mål-principen", där målet är en låg påverkan. I detta arbete har det jämlika perspektivet använts. Nedan listas metodens påverkanskategorier (fritt översatta till svenska av författaren). Dessa delas sedan in i de tre övergripande grupperna Mänsklig hälsa, Ekosystemkvalitet och Resurser, vilka viktas olika i slutsteget.

- Acidification/Eutrophication = Försurning/Övergödning
- Carcinogens = Cancerframkallande ämnen
- Climate change = Klimatförändringar
- Ecotoxicity = Ekotoxicitet
- Fossil fuels = Fossila bränslen
- Land use = Markanvändning
- Minerals = Mineraler
- Ozone layer = Ozonlager
- Respiratory organics = Organiska ämnen som påverkar luftvägarna
- Respiratory inorganics = Oorganiska ämnen som påverkar luftvägarna
- Radiation = Strålning

EDIP

Liksom EI'99 skapades EDIP för produktutveckling. Metoden tar extra hänsyn till giftiga/toxiska ämnen genom att värdera dem i tre giftighetskategorier: persistent toxicitet, ekotoxicitet och humantoxicitet. Den slutliga viktningen sker i tre separata kategorier: miljöpåverkan, resursutnyttjande och arbetsmiljö. Viktningen av kategorin miljöpåverkan baseras på danska politiska mål, medan viktningen av arbetsmiljö baseras på dansk statistik om arbetsplatsolyckor. Resursutnyttjande viktas baserat på förhållandet mellan användning och återskapande av resurserna. Påverkanskategorier:

- Acidification = Försurning
- Eutrophication = Övergödning
- Ecotoxicity water, chronic = kronisk ekotoxicitet, vatten
- Ecotoxicity water, acute = akut ekotoxicitet, vatten
- Ecotoxicity soil, chronic = kronisk ekotoxicitet, jord
- Global warming (GWP 100) = Global uppvärmningspotential, 100 år
- Human toxicity (Air, Water, Soil) = Humantoxiska ämnen (till Luft, Vatten eller Jord)
- Ozone depletion = Ozonedbrytning
- Photochemical smog = Fotokemisk smog
- Resources = Resurser
- Slags/ashes = Slagg/askor
- Waste (Bulk, Hazardous, Radioactive) = Avfall (Bulk, Farligt, Radioaktivt)

EPS 2000

EPS är förkortning för "Environmental Priority Strategies in product design", och utvecklades ursprungligen för Volvo. Viktningen baseras på hur mycket människor är villiga att betala för att bevara fem "skyddsvärda subjekt"; mänsklig hälsa, biologisk diversitet, ekosystems produktionskapacitet, abiotiska resurser samt kulturella och rekreationella värden. Valet av dessa fem subjekt baseras på FN:s Riodeklaration. Varje subjekt har ett antal subkategorier som exempelvis "ökad dödlighet orsakad av föroreningar". Subkategorierna tillskrivs en vikt som motsvarar vad man är villig att betala för att undvika dem. Resurser vägs ofta tyngre än utsläpp i denna metod, som har en något annorlunda typ av påverkanskategorier mer kopplade till mänskliga behov och mänsklig hälsa:

- Life expectancy = Förväntad livslängd
- Morbidity = Sjuklighet
- Severe morbidity = Svår sjuklighet
- Nuisance = Obehag
- Severe nuisance = Svårt obehag
- Crop growth capacity = Odlingskapacitet, grödor
- Wood growth capacity = Odlingskapacitet, skog
- Fish and meat production = Fisk- och köttproduktion
- Soil acidification = Markförsurning
- Production capacity drinking water = Produktionskapacitet, dricksvatten
- Production capacity irrigation water = Produktionskapacitet, bevattningsvatten
- Depletion of reserves = Uttömning av resurser
- Species extinction = Artutrotning

3.1 Funktionell enhet

En av förutsättningarna för LCA är att man har en funktionell enhet. Den funktionella enheten motsvarar referensflödet som alla andra flöden i analysen jämförs med. De system som analyseras i detta arbete är multifunktionella, d.v.s. flera olika nyttor erhålls från dem. Då den främsta uppgiften i detta arbete är att jämföra två alternativa avfallshanteringar, har ton torrsbstans (TS) biologiskt avfall valts till funktionell enhet. Med andra ord jämförs vilken miljöpåverkan som erhålls vid två alternativa behandlingsformer för ett ton avfall. Beroende på hur avfallet behandlas producerar det dock även el och värme, eller drivmedel och gödsel, vilket ger upphov till olika sorters miljöpåverkan i de två systemen. Utöver kvittblivningen av ett ton avfall med tillhörande processer omfattar båda systemen i analysen de olika typer av miljöpåverkan som erhålls från 5500 kWh fjärrvärmeproduktion, 2500 kWh elproduktion, 4255 MJ fordonsbränsle och kvävegödsel motsvarande 5257 g totalkväve. Dessa mängder härrör från den funktionella enheten, då 5500 kWh värme och 2500 kWh el är vad som erhålls då ett ton TS biologiskt avfall förbränns (Baumann och Tillman, 2007, s 503). För rötningsalternativet motsvarar 4255 MJ fordonsbränsle och 5257 g totalkväve i biogödsel vad som producerades och användes till dessa ändamål från ett ton TS avfall vid den aktuella anläggningen under 2006. I den ekonomiska värderingen undersöks endast slutanvändningen av biogasen jämfört med fossila bränslen. Ingen livscykelmetodik används, utan vinster av minskade utsläpp värderas på årsbasis utifrån olika produktions- och användningsscenarier.

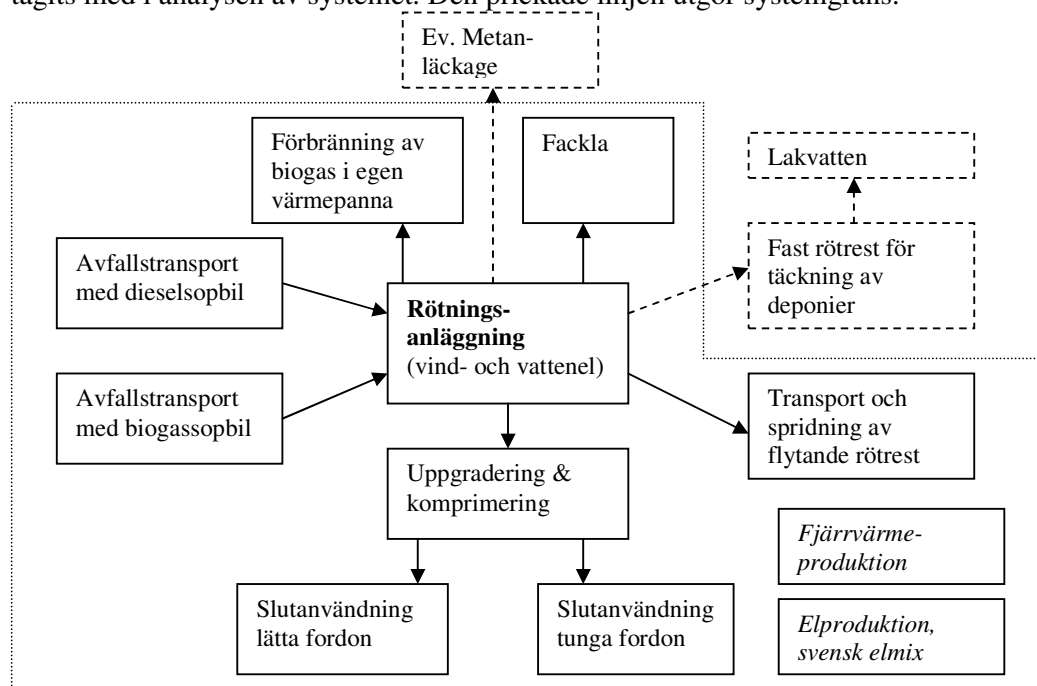
3.2 Systembeskrivning och förutsättningar

Här beskrivs systemen för biogasproduktion respektive förbränning i större detalj. Figur 5 och Tabell 1 visar hur systemen modellerats och de avgränsningar och antaganden som gjorts redovisas. Exempel på hur modelleringen ser ut i de båda mjukvarorna finns i appendix 2. Av

pedagogiska skäl har inga ”slupna” miljöeffekter modellerats i systemen. Detta hade bidragit till ”negativa utsläpp”, vilket ansågs olämpligt då arbetet skall användas i kommunikation med olika intressenter som kan vara mindre insatta i LCA-konventioner. Istället för att modellera ”sluppen produktion av fossila bränslen” i rötningsalternativet modelleras motsvarande användning av fossila bränslen i förbränningsalternativet. Motsvarande gäller för systemens övriga nyttor. Detta ger en bättre beskrivning av de verkliga systemen och medför att alla beräkningar blir i positiva tal. Ansträngningar har gjorts för att använda så specifika data som möjligt, för att få bästa möjliga beskrivning av verkliga förhållanden. Avfallens torrsubstanshalt är 25% (Davidsson, 2007), varför ett ton TS motsvaras av 4 ton vått avfall. För båda systemen gäller att produktion och underhåll av kapitalvaror som fordon och anläggningar ej tagits med i beräkningarna, så långt det varit möjligt. Avsteg från denna princip redovisas nedan.

3.2.1 Biogassystemet

Biogassystemet består av rötningsanläggningen, leveranser av avfall och användning av produkter. Avfallstransporten till anläggningen utförs av sopbilar drivna med diesel eller biogas. Bilarna antas gå tomma tillbaka, d.v.s. både tur- och retursträckan räknas med. Vid anläggningen bildas biogas, fast rötrest och flytande rötrest. Den mesta biogasen säljs till Trollhättan för uppgradering till fordonsgas. En del distribueras till anläggningens deponigasnät, varifrån gas säljs till kunder för uppvärmning (se avsnitt 2.5). Dessutom används en viss del för eget bruk vid anläggningen, eller facklas bort vid överskott. Den fasta rötresten används för att täcka deponier vid anläggningen, medan den flytande används som gödsel i jordbruket. Då avfallet rötas kan det inte användas för el- och värmeproduktion, som det gör i förbränningsalternativet. För att kunna jämföra de två systemen på rättvis basis inräknas de utsläpp som produktion av motsvarande mängd el och värme bidrar till om de produceras i Göteborgs fjärrvärmesystem i rötningsalternativet (Knutsson, 2007). I Figur 5 nedan visar de streckade linjerna vilka processer som avgränsats och de heldragna vilka som tagits med i analysen av systemet. Den prickade linjen utgör systemgräns.



Figur 5: Modell för rötningsalternativet

3.2.1.1 Avgränsningar och antaganden för biogassystemet

Uppgifter om bränsleåtgång, transportsträckor och lastkapacitet nedan är baserade på uppgifter från personliga kontakter med anställda inom avfallshanteringsbranschen. Utsläppsdata för biogasdrivna och fossilbränsle drivna fordon baseras på en rapport från RVF Utveckling (RVF 2005a). Övriga källor och orsaker till antaganden redovisas nedan.

- Det avfall som transporteras från Trollhättan färdas 1 mil enkel resa med biogasdrivna sopbilar som drar 7,3 Nm³ per mil (Svensson, 2007). Bilarna antas lasta max 8 ton.
- Avfallet från övriga kommuner antas färdas i snitt 4 mil till anläggningen med dieslbilar som drar 3,5 liter per mil. Bilarna antas lasta max 8 ton.
- Fast rötrest har avgränsats eftersom utsläpp från denna blandas med andra utsläpp till luft och lakvatten från deponier.
- Lagring av flytande rötrest på företagets område ingår ej, då inga mätningar av utsläpp från denna finns, samt därför att ny lagringsanläggning är under uppbyggnad (Astorsson, 2007).
- Den flytande rötresten transporteras 2,75 mil enkel väg till jordbruk och sprids i växande gröda (Astorsson, 2007). Kväveavgång vid spridning är 5 procent, enligt Berg (2000).
- Kemikalieanvändning för rengöring och övrigt underhåll av anläggningen har avgränsats med motiveringen att den bedöms utgöra en mycket liten del av totala miljöpåverkan (eget, förenklande antagande).
- Rågasen från anläggningen antas bestå av 70 procent metan (Ragn-Sells, 2007).
- Den gas som distribueras till deponigasnätet antas i analysen användas för eget bruk. Denna förenkling motiveras av att anläggningens egen gasanvändning överstiger den mängd biogas som går till deponinätet.
- Läckage vid uppgradering och komprimering antas vara 2 procent, vilket är garanterat högsta läckage angivet av tillverkaren av utrustningen (Bohlin, 2004).
- Eventuella övriga metanläckage har uteslutits då storleksordningen på dessa, om de finns, är okänd.
- El och värme motsvarande vad som skulle producerats om avfallet bränts i kraftvärmeverk antas komma från svensk elmix respektive fjärrvärmeproduktion i Göteborg (för detaljer se appendix 3).
- Utsläpp från svensk elproduktion är baserade på livscykeldata där utsläpp från produktion och underhåll av anläggningar är inkluderade. Endast produktionsdata hittades inte.

3.2.2 Förbränningsalternativet

Alternativet till rötning av avfallet är förbränning i kraftvärmeverk i Göteborg. Transporten till förbränningsanläggningen sker med stora lastbilar som lastar ca 30 ton vardera. Vid anläggningen utvinns värme och elektricitet ur det förbrända avfallet. I detta alternativa fall antas konstgödsel ersätta biogödseln och bensen och diesel ersätta fordonsgasen. Då systemet består av flera olika typer av processer som inte kan länkas samman på liknande sätt som i Figur 5, redovisas i de istället i Tabell 1 nedan.

Tabell 1: Processer i förbränningsalternativet

Inkluderade processer	Avgränsade processer
Avfallstransport, enkel väg	Elanvändning vid anläggningen
Förbränningsanläggning	Aska och slagg
Bensin i lätta fordon	Transport av konstgödsel
Diesel i tunga fordon	Kemikalieanvändning
Konstgödselproduktion	

3.2.2.1 Avgränsningar och antaganden för förbränning

- Endast utsläpp från enkel resväg allokeras till förbränningsalternativet, eftersom bilarna ofta har andra uppdrag på retursträckan (Fredriksson, 2007). Enkel resväg är 11 mil.
- Utsläppsvärden för konstgödselproduktion är baserade på livscykeldata från Berglund och Börjesson (2003).
- Transport av konstgödsel till jordbruket har undantagits, då inga sådana uppgifter kunde erhållas och mängden gödsel var liten.
- Analogt med uteslutandet av deponier i rötningssystemet har ask- och slagghantering inte inkluderats för förbränningsalternativet.
- Kemikalieanvändning har avgränsats på samma sätt som i rötningssystemet.
- För utsläpp från förbränningsanläggningen används tabelldata från Baumann och Tillman (2004) för förbränning av biologiskt hushållsavfall. I verkligheten blandas detta avfall med andra fraktioner före förbränning.
- De inköp av el som gjorts vid driftstopp och liknande har ansetts vara försumbara och därför uteslutits. Vid normala förhållanden producerar anläggningen sin egen elektricitet.

4 Resultat

I detta avsnitt redovisas resultaten steg för steg. Först ges en sammanställning av de största utsläppstyperna från inventeringsfasen. Därefter redovisas resultat från klassificering och karaktärisering med olika metoder i mjukvarorna SimaPro och GaBi. Till sist presenteras och jämförs de endimensionella indexvärden som erhålls vid viktning med de olika metoderna, det vill säga den totala miljöpåverkan.

4.1 LCI-resultat

En första sammanställning av de största utsläppen från rötnings- och förbränningsalternativet gjordes utifrån LCI-data. Resultatet visar att förbränningsalternativet har högre utsläpp av fossil koldioxid, kväveoxider och svaveloxider, men lägre utsläpp av metan (se Tabell 2). För en sammanställning av samtliga utsläpp, se appendix 4.

Tabell 2: Sammanställning av utvalda LCI-data

Utsläpp i kg:	Rötning	Förbränning
Fossil CO ₂	286,00	346,11
NO _x	1,44	24,28
SO _x	0,26	1,00
CH ₄	1,91	0,05

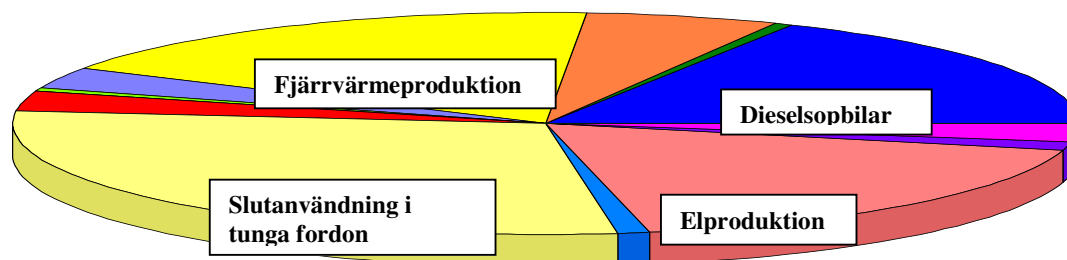
4.2 Resultat av klassificering och karaktärisering:

Mjukvarorna skiljer sig åt beträffande vilka metoder och kategorier som finns tillgängliga. Eco Indicator'99 har samma kategorier och ger jämförbara karaktäriseringsresultat i både GaBi och Sima Pro (endast försumbara avvikelser). EDIP-metoden visade sig ha ett reducerat antal påverkanskategorier i GaBi, varför resultatet nedan baseras på SimaPro. Då EPS 2000 inte ingick i den tillgängliga databasen i GaBi baseras resultaten från denna metod endast på SimaPro.

4.2.1 Rötningalternativet

EI'99 anger att "Oorganiska ämnen som påverkar luftvägarna" är den största påverkanskategorin i rötningssalternativet. Slutanvändning av biogas i tunga fordon bidrar mest till denna kategori, följt av elproduktion och fjärrvärmeproduktion som ersätter förbränning i kraftvärmeverk (se förklaring i avsnitt 3.2.1). På fjärde plats kommer dieselsopbilar (se Figur 6).

Oorganiska ämnen som påverkar luftvägarna:

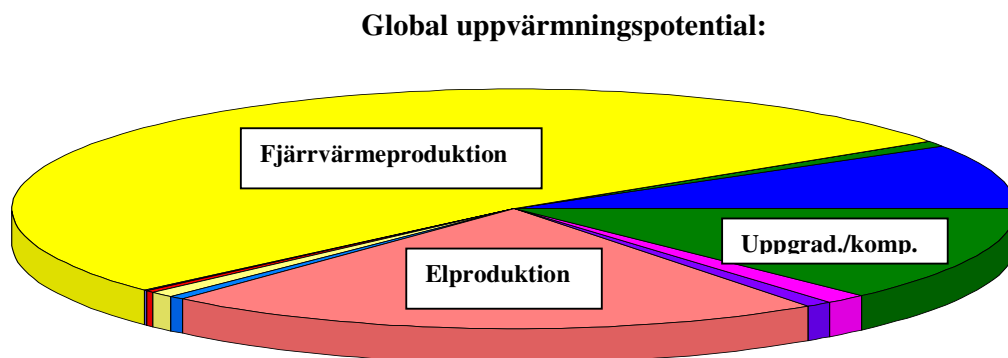


Figur 6: Processer som i EI'99 bidrar mest till Oorganiska ämnen, luftvägar i rötningssalternativet.

Den näst största påverkanskategorin enligt EI'99 är klimatförändring, följd av försurning/övergödning. Fjärrvärmeproduktion bidrar mest till klimatförändringskategorin, eftersom en del av den producerade värmen kommer från olja och naturgas. Även elproduktion bidrar i stor utsträckning, på grund av den mängd el som produceras (2500 kWh). Till försurning/övergödning bidrar slutanvändning av gas i tunga fordon mest, följt av fjärrvärmeproduktion.

EDIP använder något annorlunda påverkanskategorier (se kapitel 3). Då rötning analyseras med denna metod är Global uppvärmningspotential största kategori med totalt 340,4 kg CO₂-ekvivalenter (se Figur 7). Fjärrvärmeproduktion är den process som bidrar mest till denna kategori, följt av elproduktion och därefter uppgradering/komprimering. Försurning är andra största påverkanskategori, följd av övergödning. Till försurning bidrar slutanvändning av gas i tunga fordon mest, följt av elproduktion och fjärrvärmeproduktion.

EPS 2000 skiljer sig från de båda övriga metoderna genom att ha helt andra påverkanskategorier som produktionskapacitet för dricksvatten, utrotning av arter och fisk- och köttproduktion. Det finns ingen kategori för global uppvärmning eller liknande i denna metod. Vid analys av rötningensalternativet är Förväntad livslängd den största kategorin och Svår sjuklighet den näst största. Båda får störst bidrag från fjärrvärmeproduktion och därefter från elproduktion. På tredje plats kommer uppgradering/komprimering.

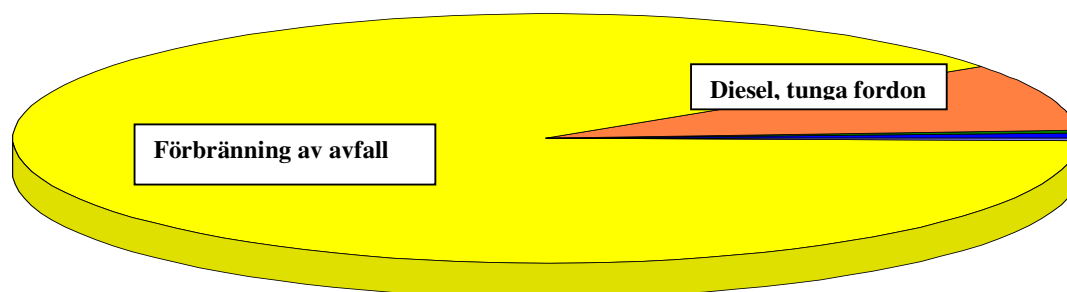


Figur 7: Processer som i EDIP bidrar mest till Global uppvärmningspotential i rötningensfallet.

4.2.2 Förbränningsalternativet

Då förbränningsalternativet analyserades i EI'99 var oorganiska ämnen, luftvägar klart största påverkanskategori. Allra störst bidrag till denna gav förbränningsprocessen, men även diesel i tunga fordon bidrog till viss del (se Figur 8). Försurning/övergödning och klimatförändringar bidrog ungefär lika mycket till miljöpåverkan, båda i betydligt mindre utsträckning än oorganiska ämnen.

Oorganiska ämnen som påverkar luftvägarna:



Figur 8: Bidrag till oorganiska ämnen, luftvägar i fallet med förbränning. Metod EI'99.

EDIP anger humantoxiska ämnen till vatten som största kategori, med endast förbränningsprocessen som bidrag. Detta på grund av att giftiga ämnen som kvicksilver, väteklorid och polyaromatiska kolväten frigörs vid förbränning. På andra och tredje plats kommer försurning och övergödning, båda med störst bidrag från förbränningsprocessen.

Då EPS-metoden användes för utvärdering av förbränningsalternativet var kategorin förväntad livslängd åter den största. Liksom i de två tidigare metoderna är det förbränningsprocessen som bidrar mest.

4.3 Viktning i de båda mjukvarorna:

I detta sista steg aggregeras värden från olika typer av miljöpåverkan samman till ett endimensionellt index, se

Tabell 3, 4 och 5. Hur detta utförs är specifikt för varje metod och resultaten kan erhållas både i tabell- och diagramform.

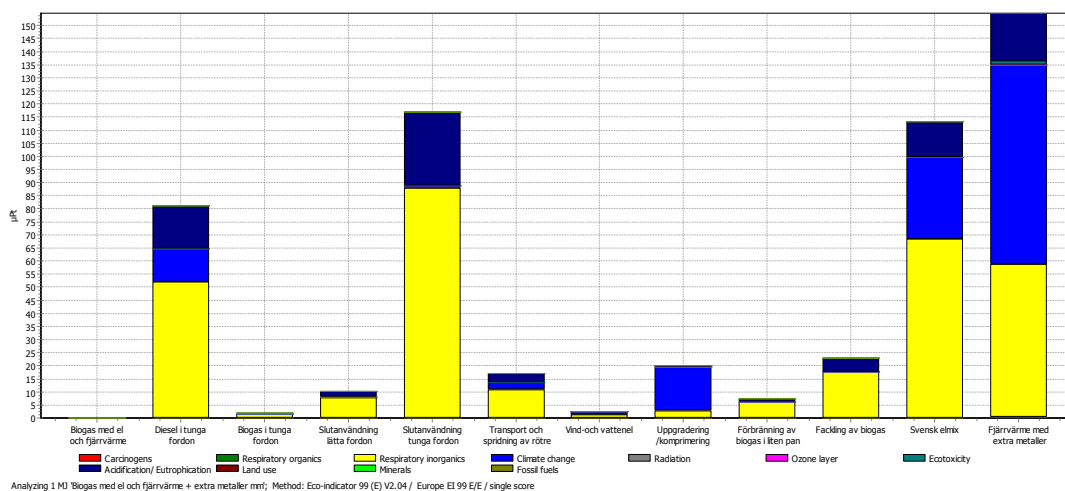
4.3.1 Eco Indicator '99:

För rötningsalternativet hade fjärrvärmeproduktion störst miljöpåverkan, följt av biogasanvändning i tunga fordon. Detta gällde båda mjukvarorna. Förbränningsprocessen hade avgjort störst påverkan i den alternativa behandlingen av avfallet. Diesel i tunga fordon kommer på andra plats, men har bara en 15-del så hög vikt. Även här gav mjukvarorna samma resultat. Ett exempel på viktningresultat ges i Figur 9.

Tabell 3: Viktningresultat med Eco Indicator '99

	SimaPro (Pt)	GaBi
Rötning	5,23	5,20
Förbränning	66,10	58,42

Så här ser viktningresultatet ut grafiskt i SimaPro:



Figur 9: Exempel på resultatet för 1MJ biogas i SimaPro. Metod EI '99.

4.3.2 EDIP:

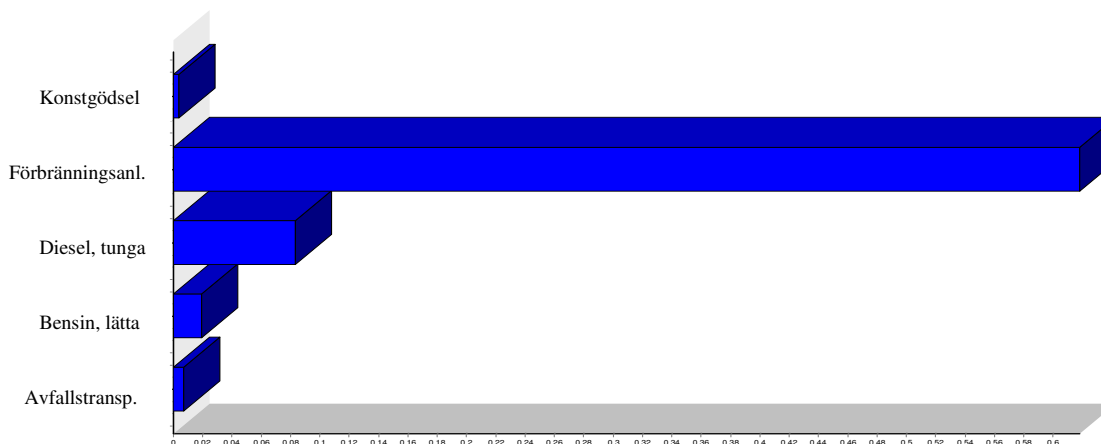
Rötning: EDIP i SimaPro anger att fjärrvärmeproduktion har högst miljöpåverkan, följt av elproduktion. På tredje plats kommer avfallstransport med dieselsopbilar, tätt följd av biogas i tunga fordon och uppgradering/komprimering. Då viktningen utfördes i GaBi med samma metod var de största kategorierna desamma, men biogas i tunga fordon fick något större vikt än diesel i sopbilar. Då förbränningsalternativet analyserades hade själva förbränningsprocessen i särklass högst miljöpåverkan. På andra plats kom diesel i tunga fordon, men med mycket stor marginal (se Figur 10).

Tabell 4: Viktningsresultat med EDIP

	SimaPro (Pt)	GaBi
Rötning	0,09	0,09
Förbränning	1,10	0,73

Så här presenteras viktningresultatet för förbränningsalternativet grafiskt i GaBi:

Förbränning av avfall:



Figur 10: Exempel på resultat för 1 ton TS i GaBi. Metod EDIP.

4.3.3 EPS 2000:

Då viktningen utförs med EPS har fjärrvärmeproduktion och elproduktion störst miljöpåverkan. Uppgradering/komprimering kommer på tredje plats, följt av diesel i sopbilar. Biogasanvändning i tunga fordon kommer först på femte plats. För förbränningsalternativet ges samma indikationer som med övriga metoder; förbränningsprocessen viktas tyngst och diesel i tunga fordon som nummer två.

Tabell 5: Viktningsresultat med EPS-metoden.

Rötning	42,24 Pt
Förbränning	140 Pt

5 Analys av resultat

För att avgöra hur robusta resultaten ovan är har de analyserats på flera sätt. Analyserna har genomförts i SimaPro. Nedan redovisas resultaten av analyserna samt en diskussion kring varför resultaten skiljer sig åt mellan metoderna.

5.1 Dominansanalys - vad orsakar mest miljöpåverkan?

I röttningsfallet har fjärrvärmeproduktion störst miljöpåverkan enligt samtliga metoder. Detta beror på att förbränning av olja, naturgas och avfall ger höga utsläpp, främst av koldioxid. Vid förbränning av avfall släpps även en del tungmetaller ut. Vad som kommer på andra och tredje plats skiljer sig åt mellan metoderna. Elproduktion har näst högst miljöpåverkan i både EDIP och EPS, vilket beror på utsläppen av koldioxid, kväveoxider och svaveloxider som uppstår när 2500 kWh el produceras. Detta medför stora utsläpp jämfört med utsläpp från de övriga processerna, trots att svensk elproduktion inte är speciellt utsläppsintensiv. I EI'99 kommer slutanvändning av biogas i tunga fordon på andra plats. Det är något förvånande att slutanvändningen får så hög vikt, då den inte inkluderar några utsläpp av fossil koldioxid. Dock släpper tunga biogasfordon ut en hel del kväveoxider, vilket viktas tungt av båda metoderna. Eftersom EI'99 och EDIP har liknande påverkanskategorier är det naturligt att de ger liknande resultat, även om de skiljer sig åt i den slutliga viktningen av kategorierna. Enligt EPS-metoden kommer uppgradering och komprimering på tredje plats, en process som inte viktas så tungt av övriga metoder. Detta beror på att EPS har tyngre viktning av metanläckage. Dessutom baseras EPS på helt andra grunder än de övriga metoderna, varför det inte är konstigt att viktningen blir annorlunda. Då förbränningsalternativet analyseras ger metoderna samma besked om vilka processer som dominerar. Förbränningsprocessen har avgjort störst miljöpåverkan, följt av diesel som ersätter biogas i tunga fordon. Utsläpp av kvicksilver utgör den största andelen av förbränningens miljöpåverkan. Ämnet är mycket giftigt och viktas därför tungt av samtliga metoder.

5.2 Påverkansanalys - vilken miljöpåverkan bidrar mest till totala påverkan?

I karaktäriseringsresultaten ovan redovisas vilken typ av påverkan som ger störst bidrag i de olika alternativen och metoderna. Här följer en sammanfattande tabell:

Tabell 6: Största påverkanskategorier i olika metoder

	EI'99	EDIP	EPS 2000
Rötning	Oorganiska ämnen, luftvägar	Global uppvärmning	Förväntad livslängd
Förbränning	Oorganiska ämnen, luftvägar	Humantoxiska ämnen till vatten	Förväntad livslängd

EPS baseras på människors vilja att betala för att undvika vissa effekter. Troligen är betalningsviljan större för att undvika effekter som förkortar människors liv. Detta förklarar varför förväntad livslängd är största kategori i EPS i båda fallen. I EDIP ligger bland annat metanutsläppen bakom att global uppvärmning är störst för rötning, eftersom metan värderas 25 gånger tyngre än koldioxid med denna metod. Även utsläpp av växthusgaser vid fjärrvärme- och elproduktion bidrar betydligt till kategorin. Kviksilverutsläpp är orsaken till att humantoxiska ämnen till vatten är störst för förbränning, eftersom den har en av de tyngsta

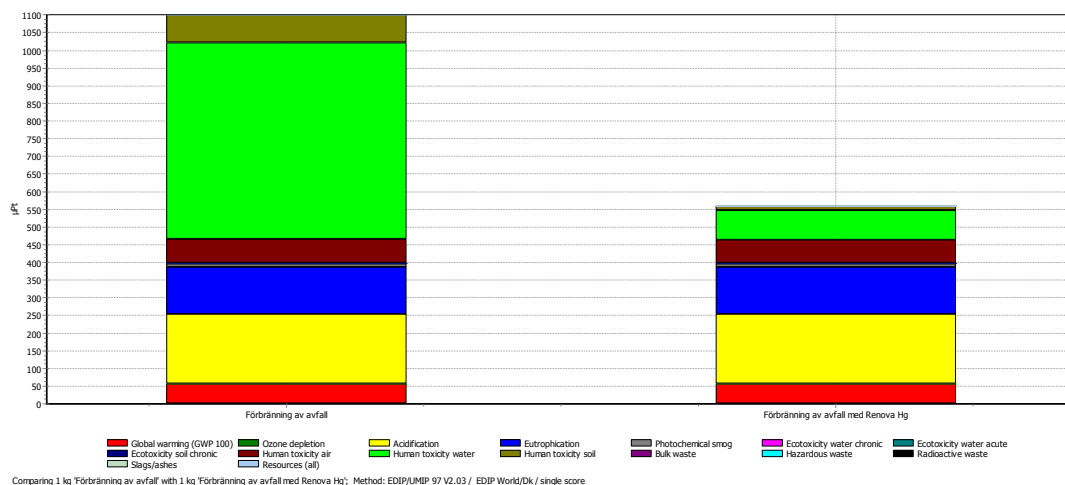
vikterna i metodens karaktärisering. Oorganiska ämnen som påverkar luftvägarna är största kategori för båda alternativen med EI'99. I denna kategori ingår kväveoxider, kolmonoxid, partiklar och svaveloxider. Att denna kategori viktas tyngre än till exempel ekotoxicitet beror på att den inordnas i gruppen Mänsklig hälsa, vilken ges större vikt än gruppen Ekosystemkvalitet i metodens slutliga normalisering och viktning.

5.3 Sensitivitetsanalys

I en sensitivitetsanalys varierar olika inputparametrar för att få reda på vilka som är känsligast, det vill säga har störst inverkan på resultaten om de ändras. Vilka parametrar som varierar kan bero på olika saker, har man till exempel osäkra data kan det vara idé att testa hur mycket osäkerheten påverkar resultatet. Ofta finns förutfattade meningar om vad som påverkar mest, vilka inte alltid stämmer överens med verkligheten. Då kan en sensitivitetsanalys ge oväntade svar och nya kunskaper om systemet. Nedan har både osäkra data och sådana som tros ha stor påverkan varierats.

- Förändra utsläpp från förbränning (osäkra data)

Eftersom relativt gamla tabelldata använts för utsläpp från förbränning av biologiskt avfall var det intressant att se i vilken utsträckning de påverkade resultaten. Utsläppen av de giftiga ämnena Hg, PAH och HCl varierades. Det visade sig att den största skillnaden erhöles vid minskning av kvicksilverutsläppen. Mängden Hg justerades till motsvarande utsläpp per ton TS från Sävenäs förbränning av avfall (Renova, 2006), vilket var väsentligt lägre än det tabellvärde som använts. I EDIP medförde detta nästan halverad miljöpåverkan, medan det i EI'99 och EPS 2000 inte blev någon skillnad alls.



Figur 11: Skillnad i miljöpåverkan då kvicksilverutsläppen minskats. Metod EDIP.

- Uteslut metanläckage från uppgradering/komprimering

Eftersom metan är en mycket potent växthusgas kan läckage av metan misstänkas vara en känslig parameter. Resultatet för rötningsalternativet jämfördes därför med och utan metanläckage. Då läckaget uteslöts i EPS fick rötningsalternativet drygt 10% mindre miljöpåverkan. Även i EDIP blev påverkan mindre, beroende på mindre bidrag till global uppvärmning. I EI'99 blev skillnaden minst, endast 3%.

Då läckaget av metan ökades till 5% av totala produktionen ökade miljöpåverkan från global uppvärmning med 50% i EDIP, men totala miljöpåverkan var fortfarande mycket mindre än för förbränning med nedjusterade Hg-utsläpp; 0,124 Pt jämfört med 0,559 Pt. Samma slutsats

drogs med de övriga metoderna, varför metanläckage inte verkar ha någon avgörande inverkan på de övergripande resultaten.

- Variera bränsleförbrukning i sopbilar och trailers

Därefter undersöktes hur ökad bränsleåtgång vid transport av avfall skulle påverka resultaten. Bränsleförbrukningen ökades med 10% i både rötnings- och förbränningsalternativet. Detta gav, med alla tre metoderna, en mycket liten ökning av miljöpåverkan för rötning, men ingen skillnad i resultatet för förbränning.

- Korrigering för verkningsgrad

Då dieselmotorer är mer effektiva än biogasmotorer åtgår 1,24 gånger så mycket energi från biogas som från diesel för att utföra samma arbete. Detta korrigerades genom att i förbränningsalternativet minska mängden diesel som ersatte biogasen i tunga fordon med faktorn 1/1,24. Resultatet blev en mycket marginell minskning av alternativets miljöpåverkan med samtliga metoder.

- Alternativ förbränningsanläggning i Uddevalla

Avfallet skulle kunna köras till Uddevalla för förbränning, vilket endast ger 3 mils enkel resväg. Detta ger dock en mycket marginell minskning av förbränningsalternativets miljöpåverkan med samtliga metoder.

5.4 Variationsanalys - förändra systemen

Härnäst varierades systemgränser och processer i systemen för att se hur dessa påverkar resultaten. Först uteslöts slutanvändningen av biogas respektive fossila bränslen i fordon ur systemen. Detta minskade miljöpåverkan, framförallt för förbränningsalternativet, men ledde inte till någon stor skillnad i förhållande mellan de två alternativen. Rötningsalternativet hade fortfarande mycket mindre total påverkan, endast 8% av förbränningsalternativets påverkan då EDIP användes. Om man dessutom korrigerade kvicksilverutsläpp från förbränningen enligt ovan var rötningens påverkan knappt 20% av förbränningens påverkan i EDIP och 36% i EPS.

Den andra variationen som genomfördes var att modellera rötningsalternativet så att all biogas användes i enbart lätta respektive tunga fordon. I dagsläget används mer gas i tunga fordon än i lätta i det aktuella området. Om man räknar med att all den gas som såldes till fordonsgas 2006 hade användes i lätta fordon minskade påverkan i EDIP med knappt 6%, främst genom mindre övergödning och försurning. Att endast använda gasen i tunga fordon gav marginellt högre miljöpåverkan med samma metod. EI'99 ger kraftigare skillnader. All gas till lätta fordon gör påverkan ca 18% lägre och all gas till tunga fordon gör den 8% högre. Med EPS blir det endast mycket små skillnader mellan systemen.

6 Ekonomisk analys

För att undersöka biogasens samhällsekonomiska potential beräknades värdet av de utsläppsminskningar som skulle erhållas om all producerad biogas användes till fordonsdrift respektive värmeproduktion. I denna del av arbetet användes ingen livscykelmetodik, utan endast uppgifter om gasmängder till slutanvändning samt ekonomiska värderingar framtagna av Statens Institut för Kommunikationsanalys, SIKA (se Tabell 7). Värdena är en uppskattning av vad olika typer av utsläpp kostar samhället och avser regionala effekter, vilket innebär att både lokala hälsoeffekter och regionala miljöeffekter räknas med. Olika scenarier undersöktes på årsbasis. Först beräknades besparingarna om 2006 års totala gasproduktion skulle ersätta bensin, diesel eller eldningsolja. Därefter gjordes samma beräkning för högsta teoretiska gasproduktion, det vill säga om 22 000 ton avfall per år skulle rötas. Dessutom värderades de besparingar som skulle erhållas om allt avfall som rötas i dagsläget skulle transporteras till anläggningen med biogasdrivna sopbilar. Utsläpp av metan värderades 21 gånger högre än koldioxidutsläpp eftersom metan är en 21 gånger starkare växthusgas än koldioxid. Den negativa kostnaden som detta innebär drogs av från de totala besparingarna. Observera att denna värdering av metan inte är någon rekommendation från SIKA utan gjordes på eget initiativ.

Tabell 7: Värderingar av emissioner (SIKA, 2005).

Emission	Värdering (SEK/kg)
CO ₂	1,5
NO _x	62
SO ₂	21
VOC	31

Resultaten visar att samhället sparar mest på att använda biogasen för att ersätta diesel i tunga fordon, vilket skulle innebära en besparing på 3,8 miljoner i dagsläget och hela 7,5 miljoner om anläggningens fulla kapacitet utnyttjades. Även andra studier har kommit fram till att biogas bör användas i tunga fordon för största samhällsekonomiska nytta (RVF, 2005a).

Tabell 8: Besparingar från undvikna utsläpp för biogas inom olika användningsområden

	Besparing med 2006 års produktion (SEK)	Besparing om 22000 ton rötas (SEK)
All gas till lätta fordon	2 990 104	5 836 111
All gas till tunga fordon	3 844 269 (3 098 716)*	7 503 277 (6 048 104)*
All gas till uppvärmning	3 229 420	6 303 210
Allt avfall transporterat med biogassopbil	334 716	-

* Siffror inom parentes är besparingar efter korrigering för verkningsgrad, se förklaring nedan.

Då dieselmotorer, som nämnts ovan, har högre verkningsgrad än biogasmotorer är det inte helt korrekt att ersätta 1 MJ diesel med 1 MJ biogas. En biogasbuss använder 18,5 MJ per fordonskilometer, medan en dieselbuss endast behöver 14,9 MJ. Det behövs alltså 1,24 gånger så mycket biogas som diesel för att utföra samma arbete (Fredriksson, 2005). Då beräkningen för tunga fordon ovan korrigeras för detta faktum blir besparingen 3 098 716 SEK i dagsläget och 6 048 104 SEK vid fullt utnyttjad rötningskapacitet. För avfallstransporter med biogassopbil blir besparingarna 269 932 SEK efter korrigering för verkningsgrad.

7 Diskussion och slutsatser

Givet de system som studerats här, med de avgränsningar och antaganden som gjorts visar analysen tydligt att rötning/biogasproduktion är att föredra framför förbränning för biologiskt avfall. Samtliga tre viktningmetoder är eniga om detta, även om storleksordningen varierar från att förbränning har runt tre gånger så stor miljöpåverkan som rötning (enligt EPS) upp till hela 12 gånger så stor (enligt EDIP i SimaPro). Även då utsläpp av giftiga ämnen från förbränningsprocessen justerats ner från de relativt höga tabellvärden som använts är rötning ett bättre alternativ.

De tre viktning metoderna ger samma resultat när det gäller vilken process som ger störst miljöpåverkan i rötningsslaget, nämligen fjärrvärmeproduktion. Det kan kännas konstigt att räkna med denna process, eftersom den inte har direkt anknytning till rötning och biogasproduktion. För att rättvist kunna jämföra systemen måste de dock producera samma nyttor, varför fjärrvärmeproduktion och elproduktion måste medräknas. Vilka processer utöver dessa två som får stor vikt varierar beroende på metod. Något oväntat anger EI'99 att slutanvändning av biogas i tunga fordon skulle ha näst störst påverkan. Dock används största andelen biogas för detta ändamål, vilket delvis kan förklara att det får hög vikt. Dessutom släpper de tunga biogasfordonen ut en hel del kväveoxider och metan, vilket bidrar till miljöpåverkan. EDIP har dieseldrivna sopbilar på tredje plats, medan EPS-metoden har uppgradering och komprimering. Det är intressant att notera dessa olikheter mellan metoderna, även om det är svårt att säkert säga vad de beror på.

Analysen av förbränningsalternativet visar, med samtliga metoder, att själva förbränningsprocessen har störst miljöpåverkan. Transporten av avfallet till anläggningen är av marginell betydelse, något som inte kändes självklart från början. Avfallet transporteras ju trots allt nästan tre gånger så långt som i rötningsslaget. Anledningen till att dessa transporter inte har så stor betydelse är att de är mer optimerade än alternativet med sopbilar. Sopbilarna är mindre och fler, vilket är en förutsättning för att kunna samla in avfall från många olika kommuner.

På övergripande nivå, det vill säga i fråga om vilket alternativ som är bäst, ger samtliga viktningmetoder samma svar. Dock skiljer sig resultaten åt på detaljnivå. Detta är inte underligt eftersom metoderna grundar sig på olika antaganden och värderingar. När man utför en analys är det viktigt att veta vad resultaten grundas på och välja en metod med passande påverkanskategorier. Resultat från samma metoder i olika mjukvaror borde teoretiskt sett vara numeriskt jämförbara/lika. De olikheter som ändå visat sig i resultaten från samma metoder beror antagligen på att utsläpp dokumenteras på något olika sätt i de båda mjukvarorna, eller möjligen på att metoderna anpassats på något olika sätt till de båda mjukvarorna.

Den ekonomiska värderingen visar att största samhällsekonomiska nytta skulle uppnås om biogas användes i tunga fordon eller ersatte eldningsolja för uppvärmning, beroende på om korrigering för verkningsgrad utförs eller inte. Det är dock mest verklighetstroget att faktiskt korrigera för detta, vilket gör uppvärmning till det bästa alternativet ur samhällsekonomisk synpunkt. Detta resultat tål dock att tänkas igenom. Biogas är ett högkvalitativt bränsle som kan användas som miljövänligt drivmedel. Dessutom finns idag inte speciellt många alternativa bränslen på marknaden. Däremot finns det flera konkurrenskraftiga alternativ till eldningsolja för uppvärmning. Fjärrvärme, pellets eller bergvärme för att nämna några. Därför kan det kännas som slöseri med energikvalitet att använda ett potentiellt fordonsbränsle till att producera den lägsta formen av energi - värme. Självklart ska inte heller olja användas för

detta ändamål, utan ersättas med andra, förnyelsebara alternativ. Biogasens värde som drivmedel borde dock vara betydligt större än de knappt 300 000 kronor som enligt värderingen skulle kunna sparas på att använda den till uppvärmning istället för i tunga fordon. Man får komma ihåg att SIKAs värden inte tar hänsyn till hur utsläppen tillkommit eller vilka alternativ som jämförs, varför kvaliteter som energikvalitet inte värdesätts.

En fråga man kan ställa sig är ifall det är realistiskt att kunna röta 22 000 ton avfall vid anläggningen. Dock finns flera kommuner i området som i dagsläget inte rötar sitt biologiska avfall, utan kör det direkt till förbränning. I vissa fall kör man till och med direkt förbi anläggningen. Möjligheten finns också att röta en större andel industriavfall från t.ex. olika typer av livsmedelsindustri. Sammantaget finns potential att använda anläggningens fulla kapacitet, det är den politiska viljan som saknas.

Det finns goda argument för att tillvarata flera potentiella nyttor från avfallet, snarare än att bränna det direkt. Det kommer troligen inte uppstå någon brist på annat brännbart avfall inom överskådlig framtid. Studier visar att kategorierna avfallsmängd per capita och koldioxidutsläpp per capita fortsätter att öka med tilltagande samhällsutveckling, medan däremot kategorier som giftiga utsläpp, andel av befolkning utan rent vatten med flera bara ökar till en viss gräns för att sedan avta (Azar et. al, 2002). Ökande avfallsmängder är ett stort problem som ytterligare motiverar till utsortering och maximalt utnyttjande av de resurser som avfallet utgör. Ur biologiskt avfall kan biogas och näringsrik gödsel utvinnas. Detta medför återföring av viktiga näringsämnen till jordbruket samtidigt som energikrävande kons gödselproduktion undviks. Används biogasen i fordon minskar man dessutom utsläpp av fossil koldioxid från transportsektorn.

Denna studie är naturligtvis inte fulländad, då den genomförts under relativt begränsad tid och med begränsade resurser. För att ytterligare förbättra analysen skulle ett mer detaljerat system behöva omfattas. Underhåll av anläggningar, kemikalieanvändning och empiriska värden för metanläckage är exempel på detaljer som skulle kunna inkluderas i en mer noggrann analys. Trots de ansträngningar som gjorts för att få så verklighetsbaserade data som möjligt används flera antaganden i LCI-data. Särskilt skall nämnas data för förbränning av biologiskt avfall, där inga empiriska värden använts. Därmed är det osäkert hur väl dessa data överensstämmer med utsläppsdata som skulle erhållas om biologiskt avfall brändes vid Sävenäs. I dagsläget bränns dock en blandning av olika fraktioner vid anläggningen, varför dessa utsläppsvärden inte är representativa. Eftersom det inte finns pannor som enbart bränner biologiskt avfall är det befogat att använda tabellvärden. Vad gäller empiriska värden för metanläckage har studier visat att uppgraderingsanläggningar står för de största läckagen, 1- 4 procent, medan rötningsanläggningar står för läckage på maximalt en procent (RVF, 2005b). Det motiverar valet att i detta fall försumma anläggningens läckage men räkna med läckage vid uppgradering. Förhoppningsvis kan denna studie bidra med insikter om fördelar med rötning och biogasproduktion, både miljömässigt och ekonomiskt. Den kan också hjälpa till att identifiera de största bidragen till miljöpåverkan från det studerade biogassystemet, om man först bortser från de kompletterande processerna fjärrvärmeproduktion och elproduktion.

Idag sker stora satsningar på biogas. Distributionsnät byggs ut, nya tankställen öppnas och nya produktionsanläggningar projekteras. Förhoppningsvis kan detta leda till ökat förtroende och stöd från olika aktörer kring redan befintliga anläggningar. På ett kommunalpolitiskt plan skulle det kunna ses som en konkurrensfördel att vara involverad i biogasproduktion, inte enbart som en extra kostnad. Det kan också vara gynnsamt för kommunernas anseende på miljöområdet, samtidigt som biogasdrivna fordon kan förbättra luftkvaliteten i tätorter

betydligt. Kommunens invånare kan känna att de bidrar till produktion av ett miljövänligt, närproducerat bränsle som även kan ha positiv inverkan på deras egen bränsleekonomi. Om dessutom odlare och lantbruksorganisationer tar tillvara all den gödsel som produceras kan hela biogassystemets kretsloppspotential utnyttjas, och värdefulla näringsämnen återförs till jordbruket. Den infrastruktur och det kunnande som byggs upp kring biogasen kan i framtiden användas för andra gasformiga bränslen, till exempel vätgas. Denna fördel skall inte underskattas, eftersom det är ont om andra gasformiga bränslen på marknaden idag. I morgondagens kretsloppssamhälle spelar biogasen förhoppningsvis en självklar och viktig roll som alternativ till fossila bränslen och bidragande till utveckling av nya drivmedelstekniker.

Referenser

- Astorsson, Tomas, 2007. Entreprenör, biogödsel. Personlig kontakt.
- Azar, C., Holmberg, J., Karlsson, S., 2002. *Decoupling - Past trends and prospects for the future*. Fysisk Resursteori, Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
<http://www.sou.gov.se/mvb/pdf/decoupling.pdf>
- Baky, Andras, 2006. *Socio-economic aspects of the AGROPTI-gas system*. JTI rapport, Lantbruk och industri. ISSN 1401-4963.
- Baumann, Henrikke och Tillman, Anne-Marie, 2004. *The Hich Hiker's Guide to LCA*. Studentlitteratur, Lund.
- Berg, Jessica, 2000. *Lagring och hantering av rötresten från storskaliga biogasanläggningar*. JTI-rapport, Kretslopp och avfall 22.
- Berglund, Maria, 2006. *Biogas Production from a Systems Analytical Perspective*. Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Berglund, Maria och Börjesson, Pål, 2003. *Miljöanalys av biogassystem*. Rapport nr 45. Miljö- och energisystem, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Business Region Göteborg, 2007. *Biogas Väst föreslår mångmiljonsatsning inom biogas för fordon*. Pressmeddelande
https://www.pirab.se/mima/standard/getmail_admin.asp?X=a342076a (2007-11-01)
- Betsgren, Linda, 2006. *Biogas - ett kretsloppsbränsle*.
http://www.trollhattan.se/thn_templates/StandardPage.aspx?id=5908 (07-09-04)
- BioSystem AB, 2004. *Biogaskurs*
http://www.plonningebioenergi.se/dynamaster/file_archive/070110/ee250cbd425bcaa6b86237a598d1bd93/Biogaskurs%20kortversion.pdf (07-11-26)
- Bohlin, Sofia, 2004. *Livscykelinventering (LCI) av biogas för fordonsbränsle i Trollhättan*. Projektarbete, TMD, Högskolan Väst.
- Davidsson, Ragnar, 2007. Miljöingenjör på Ragn-Sells. Personlig kontakt.
- Djurkovski, Dejan, 2007. *Biogas väst*.
<http://www.businessregion.se/huvudmeny/branschkluster/miljoutveckling/biogasvast.4.4d2ad09a108e7eaa80c800022557.html> (07-11-23)
- Edström, M., Nordberg, Å., Hansson, K., 2004. *Utvärdering av gårdsanläggning för torrrotning av vallgröda*. JTI-rapport
<http://www.jti.se/publikat/ovriga/Utvardering%20av%20gardsanlaggning%20for%20torrotnin g.pdf> (07-11-26)
- Energimyndigheten, 2006. *Energiförsörjningen i Sverige*. Korttidsprognos 2006-08-15.

[http://www.energimyndigheten.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/ER2006_22W.pdf/\\$FILE/ER2006_22W.pdf?OpenElement](http://www.energimyndigheten.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/ER2006_22W.pdf/$FILE/ER2006_22W.pdf?OpenElement) (2009-01-03)

E.ON, 2007. *Energikällor, Biogas*.

<http://www.eon.se/templates/InformationPage.aspx?id=9001> (2007-09-03)

European commission, 2007. *An EU strategy for biofuels*.

http://ec.europa.eu/agriculture/biomass/biofuel/index_en.htm (2007-10-22)

Fredriksson, Claes, 2005. *LCA of biogas for vehicles*. Presentation at Euro Summer School, Wageningen University 2005.

FordonsGas, 2007. *Jämförpriser*.

<http://www.fordonsgas.se/> (07-11-28)

Gustafson, Kent, 2007. Renova. Personlig kontakt.

Göteborg Energi, 2007. *Miljörapporter*.

http://www.goteborgenergi.se/Om_Goteborg_Energi_Informationsmaterial_Miljorapporter_DXNI-6492.aspx (07-12-12)

International Organization for Standardization. *ISO 14042*, 2000. Environmental management - Life cycle assessment, Life cycle impact assessment. Geneva, Switzerland.

Knutsson, David, 2007. Göteborg Energi. Personlig kontakt.

Linné, M och Jönsson, O, 2004. *Sammanställning och analys av potentialen för produktion av förnyelsebar metan (biogas och SNG) i Sverige*. BioMil, Svenskt Gastekniskt Center, Malmö

Miteva, Borian, 2004. *Miljö- och hälsovinster vid användandet av biogasbussar i Trollhättan 1997-2003*. Examensarbete vid TMD, Högskolan Väst.

Pettersson, Katarina, 2007. Renova. Personlig kontakt.

Ragn-Sells, 2007. Informationsbrorshyrer om biogasanläggningen.

Renova, 2006. *Miljörapport 2006 för avfallskraftvärmeverket och sorteringsanläggningen, inklusive återvinningscentralen vid Sävenäs*. Diariennr 1089/07.

RVF, 2005a. *Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall*. Bilaga 3: Utvärdering av miljöpåverkan. RVF Utveckling 2005:06.

RVF, 2005b. *Metoder att mäta och reducera emissioner från system med rötning och uppgradering av biogas*. Rapport från RVF Utveckling 2005:07.

SIKA, 2005. *Kalkylvärden och kalkylmetoder (ASEK)*. SIKA PM 2005:16.

SP, 2006. *SPCR 120, Certifieringsregler för biogödsel*. SP Statens Provnings och Forskningsinstitut.

Svensk biogas, 2007. <http://www.svenskbiogas.se> (2007-09-03)

Svenska biogasföreningen, 2007. *Biogödsel*.
<http://www.sbgf.info/default.asp?sida=5&sub=25> (07-10-26)

Svenska Gasföreningen, 2006a. *Basdata om biogas*.
<http://www.gasforeningen.se/upload/files/publikationer/infomaterial/biogasfolder%20a4.pdf>
(2007-09-03)

Svenska Gasföreningen, 2006b. *Verksamhetsberättelse 2006*.
<http://www.gasforeningen.se/upload/files/publikationer/infomaterial/verksamhetsberattelse%202006%20web.pdf> (2007-09-03)

Svensson, Ronald, 2007. Trollhättan Energi. Personlig kontakt.

Traab, 2006. *Miljörapport 2006*. Trestadsregionens Avfallsaktiebolag.

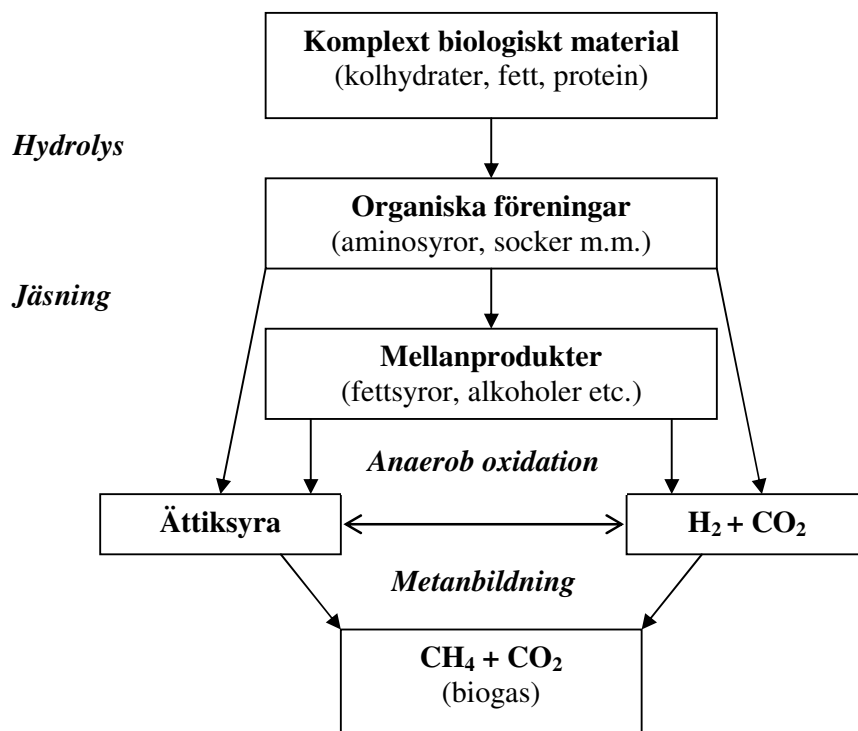
Trollhättan energi, 2007. *Miljö*.
<http://www.trollhattanenergi.se/miljo.asp?kat=1&avd=start> (07-11-02)

Vattenfall, 2007. Miljöfakta: Livscykelanalyser.
http://www.vattenfall.se/www/vf_se/vf_se/518304omxva/523914miljx/524274miljx/524304livcy/index.jsp (07-10-02)

ÅF ÅF energi och miljöfakta: *Biogas*.
<http://www.energiochmiljo.se/abonnemang.asp?cat=b2&type=E&chapter=6&subchapter=4&page=1> (07-09-10)

Appendix 1: Ordförklaringar

Biogas: Biogas bildas när biologiskt material bryts ner av metanproducerande bakterier under anaeroba, syrefria, förhållanden. Den rågas som produceras innehåller mellan 45 och 85% metan och resten koldioxid. Svavelväten, ammoniak och vätgas kan också ingå i små mängder. Man skiljer på rötgas som produceras i anläggningar och deponigas, som utvinns ur täckta avfallsdeponier på soptippar (ÅF).



Fordonsgas: Uppgraderad biogas eller naturgas som används som drivmedel till fordon (Svenska gasföreningen, broschyr).

Substrat: Biologiskt material lämpligt för rötning (Svenska gasföreningen, broschyr).

TS-halt: Torrsubstanshalt. Det som återstår då vattnet torkats bort ur ett material. Anges vanligen som procent av våtvikt (Svenska gasföreningen, broschyr).

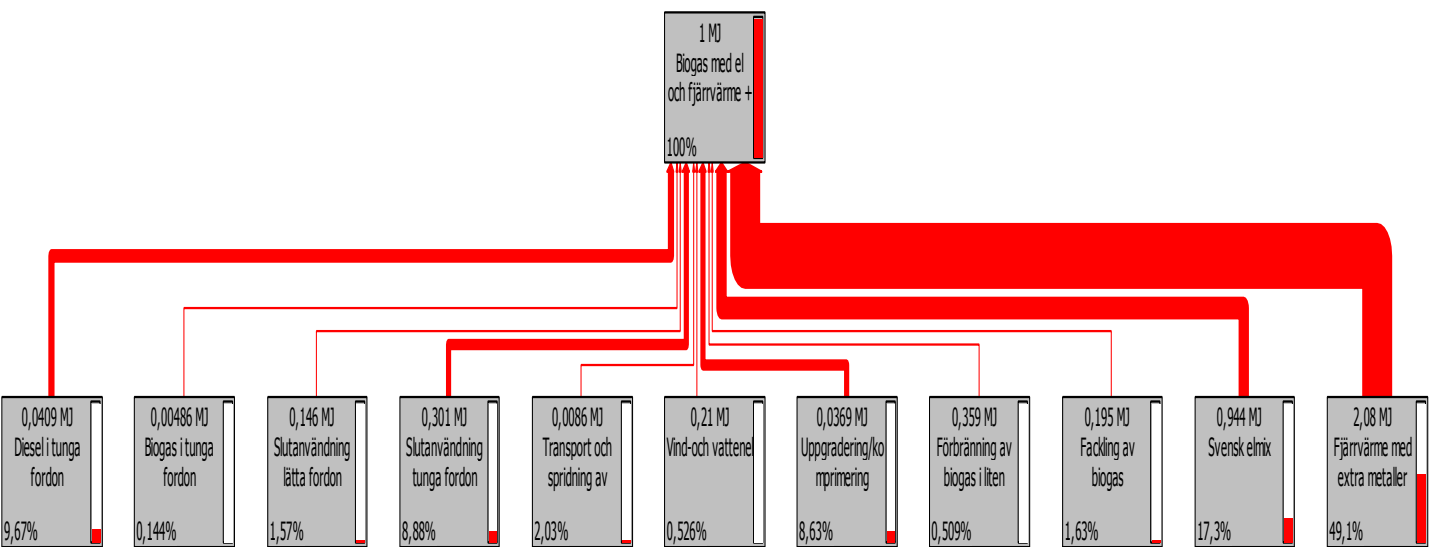
Hygienisering: Behandling, kemisk eller termisk, för att eliminera sjukdomsspridning vid användning av rötresten (TRAAB).

Termofil process: Process som använder sig av termofiler, det vill säga mikroorganismer som lever vid temperaturer över 45°C. Termofil temperatur: 50-60°C (Svenska biogasföreningen).

Roster: En typ av galler som avfallet transporteras på vid förbränning (Jönsson, 2005).

Appendix 2: Systemmodeller i mjukvarorna, med kommentarer

Modell av rättningsalternativet i SimaPro:



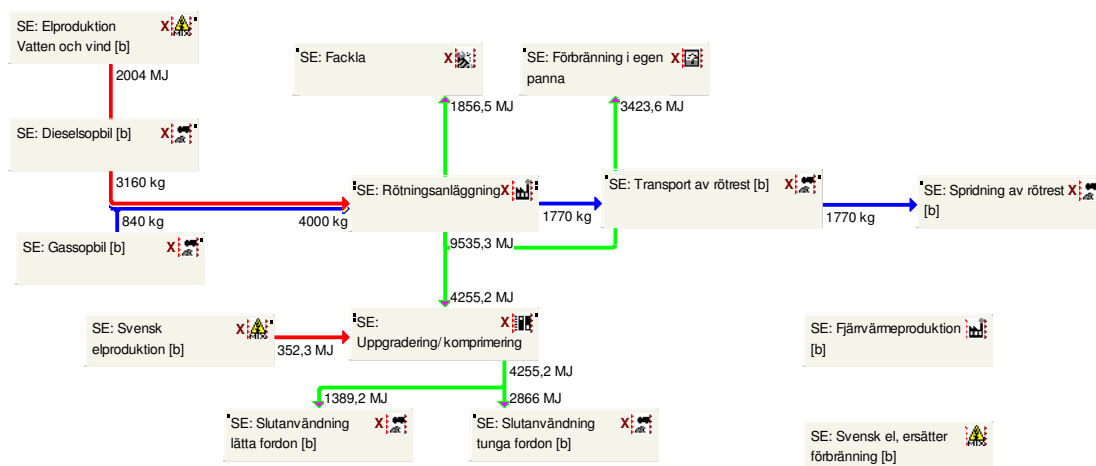
Kommentarer, SimaPro:

Mjukvaran är anpassad till mer traditionell produkt-LCA, där livscykeln består av sammansättning, användning, fraktionering, återvinning etc. Har man, som i fallet med rötning, en annorlunda produkt blir det svårt att använda sig av mjukvarans livscykelmodell. Lösningen för att ändå kunna utvärdera systemet blir att modellera ”processer” och länka samman dem enligt ovan. De grå boxarna på nedre raden representerar processer som belastar rötningensalternativet med miljöpåverkan. Något irriterande är att resultatet beräknas per enhet, det vill säga i dessa fall per megajuole producerad biogas (ett ton rötdad TS producerar 9535,33 MJ biogas) eller kilo avfall. Detta är dock snabbt korrigerat med en enkel multiplikation. En positiv konsekvens av detta är att utsläpp för varje process också dokumenteras per enhet, till exempel gram CO₂ per megajuole diesel. När man sedan anger ”inputprocesser” till andra processer kan man enkelt variera hur många enheter av processen som ingår, och mjukvaran multiplicerar själv ihop resultatet.

Modell av rötningensalternativet i GaBi:

Livscykel biogas

GaBi 4 process plan:Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Kommentarer, GaBi:

Denna modell ger en bättre bild av systemet. Detta beror på att GaBi utöver processer också använder ”flöden”, vilket inte finns i SimaPro. De processer som inte har direkt anknytning till biogassystemet, el- och fjärrvärmeproduktion, står dock för sig själva. Programmet reagerar på detta, men det går fortfarande att utvärdera hela systemet. Modelleringen går i flera steg: först skapas processerna, sedan sammanställs dessa i ”planer” enligt ovan och till slut kan planerna utvärderas i ”balanser”. Det går snabbt att växla viktningssmetod i balanserna, medan man i SimaPro måste stänga sin process för att byta metod. Till skillnad från SimaPro anges exakta kvantiteter för varje process, till exempel fyller man i totala utsläppen för 1 389,2 MJ bensin i lätta fordon i processen ”Slutanvändning lätta fordon”. Mjukvaran har en funktion för ”Life Cycle Costing”, som verkar intressant. Dock användes den inte i detta arbete.

Sammanfattningsvis finns det både för- och nackdelar med båda mjukvarorna och säkert en mängd funktioner och egenskaper som jag inte upptäckt eller använt under min korta bekantskap med dem.

Appendix 3: Beräkningar av el- och fjärrvärmeproduktion

Elproduktion, svensk elmix:

Följande elmix har använts för beräkningarna (Baky, 2006):

Vattenkraft	49,8 %
Kärnkraft	43,8 %
Biomassa	2,3 %
Olja	1,6 %
Kol	1,3 %
Naturgas	0,6 %
Vind	0,3 %

Utsläpp från elproduktion har tagits från Vattenfalls Livscykelanalyser och EPD-beräkningar (Vattenfall, 2007). De utsläpp som räknats med är koldioxid, kväveoxider, svaveloxider och stoft.

Fjärrvärmeproduktion:

Fjärrvärmeproduktionen antas vara jämnt utspridd över året, varför utsläppen beräknats från årsbaserad bränslemix från Göteborg Energi 2005. Värme producerad från spillvärme antas inte ha några utsläpp. Utsläpp från värmepumpar baseras på svensk elmix enligt ovan. Följande mix användes (Knutsson, 2007):

Avfallsförbränning	26,1 %
Biobränsle	16,5 %
Värmepumpar	12,8 %
Naturgas	11,7 %
Olja	2,1 %

Data för utsläpp från de olika bränslena togs från miljörapporter från produktionsanläggningarna, där oljeutsläpp baseras på Marconicentralen, biogasutsläpp på Ryaverket och biobränsle på HP3 (Göteborg Energi, 2007). Utsläpp från avfallsförbränning baserades på Renovas miljörapport för Sävenäverket (Renova, 2006). I de fall där anläggningarna producerade både el och värme allokerades utsläppen till de två produkterna på energibasis. Observera att utsläpp för elproduktion ej baseras på dessa data utan på svensk elmix enligt ovan.

Appendix 4: Fullständiga LCI-data

Typ av utsläpp	Rötning	Förbränning
CO ₂ , fossil	286 kg	346,11 kg
NO _x	1,44 kg	24,28 kg
SO _x	0,26 kg	1,00 kg
S	31 g	-
Stoft (partiklar)	0,09 kg	3,64 kg
CH ₄	1,91 kg	0,05 kg
CO	0,13 kg	5,05 kg
NMVOC	39 g	0,05 kg
N ₂ O	0,02 kg	0,06 kg
HC	17 g	0,94 kg
N	0,26 kg	-
Hg	2,02 mg	120 mg
HCl	2,02 g	0,99 kg
PAH	-	31 mg
As	1,01 mg	-
Pb	12,1 mg	-
Cd	0,81 mg	-
Cu	47,5 mg	-
Cr	6,78 mg	-
Ni	3,85 mg	-
HFl	105 mg	-
Zn	5,67 mg	-