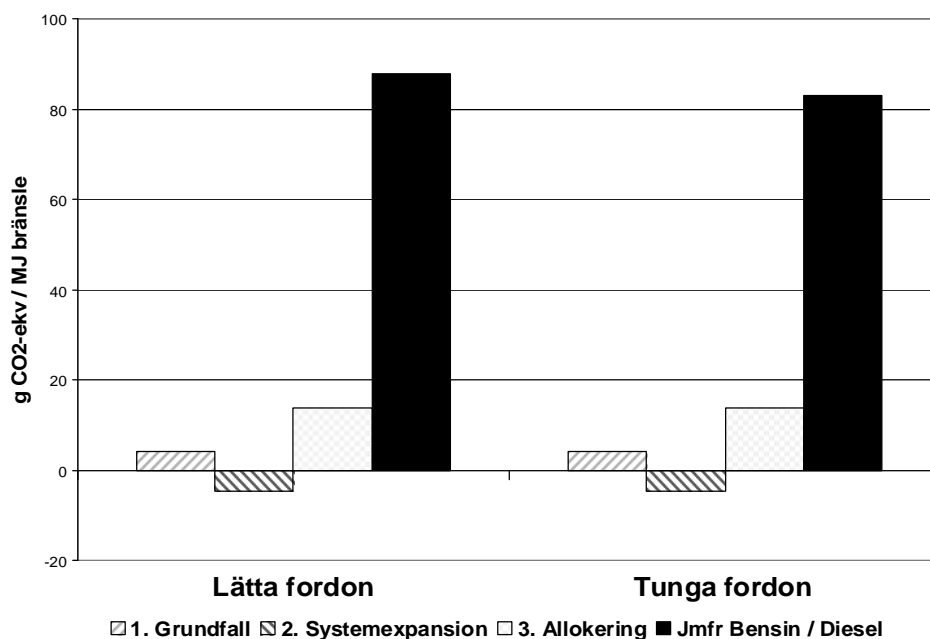


# Livscykelanalys av biogas från avloppsreningsverks slam

©Svenskt Gastekniskt Center – Augusti 2010



David Palm, Mats Ek  
IVL Svenska Miljöinstitutet







<b>Rapportens titel:</b>	Livscykelanalys av biogas från avloppsreningsverksslam
<b>Title of the report:</b>	Life cycle assessment of biogas from sewage treatment sludge
<b>Rapportnummer:</b>	<b>C SGC219</b>
<b>Författare:</b>	David Palm, IVL Svenska Miljöinstitutet AB Mats Ek, IVL Svenska Miljöinstitutet AB
<b>Projektnummer:</b>	10-101
<b>Projektets namn:</b>	LCA för biogas från reningsverksslam
<b>Projektets finansiering:</b>	Svenskt Gastekniskt Center, Svenskt Vatten Utveckling
<b>Rapportens omfattning</b>	
<b>Sidantal:</b>	15
<b>Format:</b>	A4
<b>Sökord:</b>	Biogas, avloppsreningsverksslam, rötning, uppgradering, fordonsgas
<b>Keywords:</b>	Biogas, sewage treatment sludge, anaerobic digestion, upgrading, purification
<b>Sammandrag:</b>	Livscykelanalys av biogas producerad på ett svenskt state-of-the-art avloppsreningsverk (Käppala). Resultat beräknade för fallen utan allokering; med systemutvidgning samt med ekonomisk- och energi-allokering. Känslighetsanalyser för större metanläckage och marginal-energielektricitet.
<b>Abstract:</b>	Life cycle analysis of biogas produced at a Swedish state-of-the-art sewage treatment plant (Käppala). Results calculated with no allocation; system expansion; economic and energy allocation. Sensitivity analyses include higher methane emissions and marginal electricity.
<b>Målgrupper:</b>	VA-verk och VA-bolag i Sverige
<b>Bild:</b>	Käppala avloppsreningsverk, Fotograf Rikard Häggbom
<b>Rapport:</b>	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida <a href="http://www.svensktvatten.se">www.svensktvatten.se</a>
<b>Utgivningsår:</b>	2010
<b>Utgivare:</b>	Svenskt Gastekniskt Center © Svenskt Gastekniskt Center

## SGC:s FÖRORD

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

Denna rapport finns även tillgänglig på Svenskt Vattens hemsida ([www.svensktvatten.se](http://www.svensktvatten.se)).

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

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns på SGC:s hemsida [www.sgc.se](http://www.sgc.se).

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

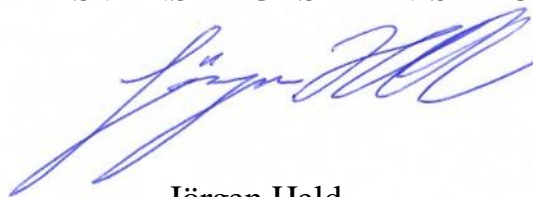
SGC har följande delägare: Energigas Sverige, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energikoncernen AB (publ) och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

AB Storstockholms Lokaltrafik (SL)  
AGA Gas AB  
E.ON Gas Sverige AB

Göteborg Energi AB  
Svenskt Vatten Utveckling  
Tekniska Verken AB  
Statens energimyndighet

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held

## FÖRORD

Detta projekt har genomförts av IVL Svenska Miljöinstitutet på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center. Då detta projekt kompletterar studien "Livscykelanalys av svenska biodrivmedel" från Lunds Universitet kan denna vara bra att ha till hands då denna rapport läses.

Vi vill rikta ett stort tack till alla på Käppala och övriga reningsverk som bidragit med data.

Följande personer har haft möjlighet att granska rapporten:

Finansiärer:

Daniel Hellström	Svenskt Vatten
Sara Anderson	SL
Tisse Jarlsvik	Göteborg Energi
Karin Zetterström	E.ON Gas
Anna Lövsén	Tekniska Verken
Roger Andersson	AGA Gas

Utomstående granskare:

Mattias Svensson	Svenskt Gastekniskt Center
Pål Börjesson	Lunds Universitet

IVL:s granskare:

Lars-Gunnar Lindfors, Senior Advisor

Göteborg, september 2010

David Palm och Mats Ek

## SAMMANFATTNING

I denna rapport analyseras miljöpåverkan från 1 MJ biogas av fordonsgaskvalitet som producerats genom rötning av avloppsreningsverksslam. Data har främst tagits från Käppala avloppsreningsverk, men har även kompletterats med litteraturodata. I grundfallet har biogasen endast belastats med miljöpåverkan från uppgradering och rening av rötgas då rötningen i Sverige anses vara en del av behandlingen av avloppsvatten och därmed skulle genomförts även utan biogasproduktion. Även fall med systemutvidgning där rötning, rötresthantering samt ersatt mineralgödsel har inkluderats, samt fall med ekonomisk och energimässig allokering.

Resultaten av analysen ses i tabellen nedan. Resultaten är karakteriserade i enlighet med CML (2007) för växthuseffekt (Global Warming Potential on a 100 year perspective,  $GWP_{100}$ ), övergödning (Eutrophication Potential, EP), försurning (Acidification Potential, AP), kolväten som kan bilda marknära ozon (Photochemical Oxidation Creation, POCP) samt partiklar.

Miljöpåverkan per MJ bränsle	Miljöpåverkan (CML 2007)				
	$GWP_{100}$ g CO <sub>2</sub> - ekv	EP mg PO <sub>4</sub> - ekv	AP mg SO <sub>2</sub> - ekv	POCP mg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - ekv	Partiklar mg
1. Grundfall	3,3	0,19	1,7	0,76	0,22
2. Systemutvidgning	-5,5	-6,9	-93	-2,6	-19
3. Ek. allokering	13	0,31	2,9	2,9	0,36
4. En. allokering	13	0,31	2,9	2,9	0,36

Studien är representativ för en svensk state-of-the-art-anläggning för biogasproduktion men inkluderar även i känslighetsanalyser en svensk medelanläggning samt ett worst case. Känslighetsanalyserna visar att metanläckage vid rötning och uppgradering har stor påverkan på resultatet. Elförbrukning och val av svensk genomsnittsel respektive svensk marginael är av mindre betydelse för resultaten.

## SUMMARY

This report analyses the environmental impact from 1 MJ of biogas (as vehicle fuel) produced by anaerobic digestion of sewage sludge. Data are primarily taken from Käppala sewage treatment plant, but have been complemented with data from literature. As a base case, the biogas has only been given the environmental burden from upgrading and purification of raw gas. This is because the anaerobic digestion is an inherent part of the waste water treatment in Sweden, biogas being produced regardless of its chosen end utilization. Calculations have also been performed with system expansion where the anaerobic digestion, sludge treatment and replaced mineral fertilizer have been included in the analysis, as well as calculations based on economic and energy allocation.

The results from the study can be viewed in the table below. The results have been characterised in accordance to CML (2007) for the potential of global warming on a 100 year perspective ( $GWP_{100}$ ), eutrophication (EP), acidification (AP), photo-chemical oxidation creation (POCP) and particles.

<b>Environmental impact (CML 2007)</b>					
<b>Environmental impact per MJ fuel</b>	<b><math>GWP_{100}</math> g CO<sub>2</sub>- eq</b>	<b>EP mg PO<sub>4</sub>- eq</b>	<b>AP mg SO<sub>2</sub>- eq</b>	<b>POCP mg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>- eq</b>	<b>Particles mg</b>
1. Base case	3,3	0,19	1,7	0,76	0,22
2. System expansion	-5,5	-6,9	-93	-2,6	-19
3. Ec. allocation	13	0,31	2,9	2,9	0,36
4. En. allocation	13	0,31	2,9	2,9	0,36

The study represents a Swedish state-of-the-art plant for biogas production but also includes a sensitivity analysis that cover a Swedish average plant and a worst case plant. The sensitivity analysis shows a major impact on the results from methane leakage during anaerobic digestion and upgrading. The electricity consumption and choice of Swedish average electricity versus Swedish marginal electricity is of less importance for the outcome of the study.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND.....	1
2	SYFTE OCH MÅL.....	2
3	METOD OCH AVGRÄNSNINGAR.....	3
3.1	ANALYSERADE SYSTEM.....	3
3.2	FUNKTIONELL ENHET.....	3
3.3	DATA.....	4
3.4	SYSTEMGRÄNSER OCH ALLOKERINGAR.....	4
3.5	TUNGMETALLER I SLAM.....	5
4	RESULTAT.....	7
5	KÄNSLIGHETSANALYS.....	10
5.1	GRUNDFALL MED SÄMRE PRESTANDA.....	10
5.2	SYSTEMUTVIDGNING MED SÄMRE PRESTANDA.....	10
5.3	ALLOKERING MED SÄMRE PRESTANDA.....	11
5.4	MARGINALELEKTRICITET.....	11
5.5	SYSTEMUTVIDGNING KÄPPALA AVVATTNING.....	12
5.6	OSÄKERHETER I DATA.....	13
6	SLUTSATSER OCH DISKUSSION.....	14
7	REFERENSER.....	15
	APPENDIX A – MILJÖPÅVERKAN FRÅN EL.....	A
	APPENDIX B - RESULTAT FÖR MFB.....	B



## 1 BAKGRUND

Det finns idag endast ett fåtal livscykelanalyser (LCA) på framställning av biogas som drivmedel i Sverige. Behovet av nytt dataunderlag för livscykelanalyser för biogas, etanol och RME har bedömts i en rapport som skrevs av BioMil på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center (Linné, 2007). Undersökningen har visat att nyare svenska livscykelanalyser saknas för biogas och etanol. Nya data som har tagits fram i livscykelanalyser för biogasproduktion i Tyskland, Österrike, Danmark och Schweiz omfattar inte heller biogas från reningsverkslam. Uppdaterade LCA:er för ett antal svenska biodrivmedelskedjor har därför på initiativ från Svenskt Gastekniskt Center tagits fram av Lunds Universitet under 2009-2010. Projektet omfattar etanol, RME samt biogas från gödsel, organiskt avfall, grödor och från etanolproduktionens restprodukter (drank). Projektet omfattar dock inte biogas från kommunala avloppsreningsverk (ARV).

För biogas från ARV-slam är den senaste svenska studien från år 2000 och genomfördes som ett examensarbete (Nilsson *et al.* 2001). Studien använder data för avloppsslam och annat organiskt avfall som rötas i Kalmar biogasanläggning. Bland annat är den angivna metanemissionen överskattad för moderna biogasanläggningar eftersom gasuppsamling numera sker efter huvudrötningen. Det fanns därför ett behov av att komplettera studien från Lunds Universitet med en uppdaterad LCA för biogas från avloppsreningsverkslam.

## 2 SYFTE OCH MÅL

Syftet med projektet är att ta fram en uppdaterad livscykelanalys för biogas (fordonsgas) från reningsverkslam.

Mål med projektet är att

- Ta fram typiska och för Sverige representativa emissionsdata för biogas (fordonsgas) från avloppsreningsverk
- Bedöma miljöpåverkan inom ett antal miljöeffektkategorier
- Genom känslighetsanalyser visa på hur olika antaganden och beräknings-sätt påverkar resultatet
- Ligga till grund för biogas från ARV-slam i IVL:s Miljöfaktabok för bräns-len version 2010

## 3 METOD OCH AVGRÄNSNINGAR

### 3.1 ANALYSERADE SYSTEM

Studien omfattar inventering av emissioner och bedömning av miljöpåverkan för fordonsgas som producerats från avloppsreningsverkslam. Systemgränser, metodik och val av emissionsdata har så långt som möjligt harmoniserats med de livscykelanalyser som tagits fram av Lunds Universitet för övriga biodrivmedelskedjor av Börjesson *et al.* (2010).

Livscykelanalysen har utgått från en modernare anläggning (state-of-the-art) i Sverige (Käppala) med avseende på energiinsats och metanläckage från rötning. Då uppgraderingsanläggningen i Käppala ej ännu tagits i drift har metanläckage tagits från Avfall Sverige Frivilligt åtagande. En äldre ineffektivare anläggning baserad på litteratur samt ett worst case har inkluderats som känslighetsanalys. Inga egna mätningar har utförts, utan studien baseras uteslutande på tillgängliga emissionsdata. De flesta biogasanläggningar vid ARV i Sverige tycks sakna aktuella och pålitliga mätningar av förluster både i röttningssteget och i uppgraderingen.

Emissioner och energiinsats för uppgradering är baserat på vattenskrubbteknik då detta är en vanligt förekommande teknik vid ARV, och då det finns mest data från den. Uppgradering sker inte vid alla avloppsreningsverk utan enbart då gasen ska användas till fordonbränsle eller tillföras naturgasnätet. Vid uppgradering renas rötgasen från bl.a. koldioxid så att metanhalten stiger från ca 65 % till minst 97 %.

För en mer detaljerad bild av ett system för biogasproduktion av avloppsreningsverkslam hänvisas till "Livscykelinventering för biogas som fordonbränsle" (Nilsson *et al.* 2001) samt sektion 3.4 nedan. Notera att det i denna studie, till skillnad från Nilsson *et al.*, inte sker rötning av externa material utan enbart av ARV-slam.

### 3.2 FUNKTIONELL ENHET

Den funktionella enheten är i denna studie "miljöpåverkan per MJ drivmedel". Detta är valt i enlighet med Börjesson *et al.* (2010) och tidigare upplaga av Miljöfaktaboken för bränslen (Uppenberg *et al.* 2001).

Man kunde även ha tänkt sig "miljöpåverkan per kilometer transporttjänst", men genom att ge resultat per MJ drivmedel är resultaten oberoende av föränderliga verkningsgrader i fordon och kan därmed bli mer långlivade.

### 3.3 DATA

Data har samlats in dels från Käppala avloppsreningsverk som kan anses vara ett state-of-the-art avloppsreningsverk samt från Henriksdals, Gässlösas samt Himmerfjärds avloppsreningsverk. Data har även tagits från Avfall Sveriges Frivilligt åtagande gällande metanläckage vid biogasanläggningar samt från litteratur.

För de delar av bränslekedjan som är gemensamma med de biogaskedjor som innefattas i SGC-studien "LCA av svenska biodrivmedel" (Börjesson *et al.* 2010) har i möjligaste mån data framtagen i det projektet använts för att öka jämförbarheten. Det gäller framförallt emissionsdata för distribution och användning av fordonsgasen, samt antaganden om behandling av rötresten. Även data för elproduktion har tagits från "LCA av svenska biodrivmedel".

### 3.4 SYSTEMGRÄNSER OCH ALLOKERINGAR

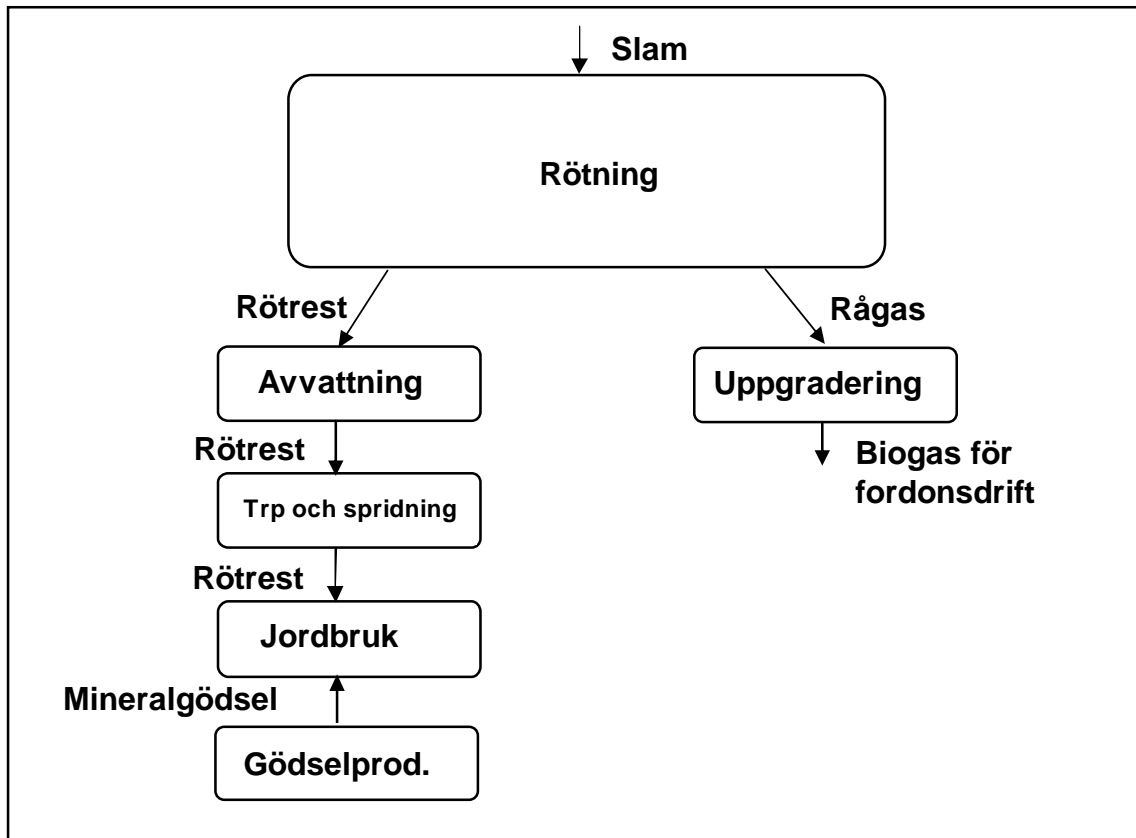
Till skillnad från annan biogasproduktion i Sverige är rötning av reningsverkslam en del av behandlingen av avloppsvatten, och denna process skulle genomföras oavsett om biogasen uppgraderas och används som fordonsgas eller inte. Huvudprincipen är därför att fordonsgasen endast belastas med emissioner som sker efter röt-kammaren, det vill säga biogas som lämnar röt-kammaren betraktas som "gratis". Här inkluderas enbart metanläckage och energiinsats för uppgradering och trycksättning medan rötning, avvattning av rötrest och övrig rötresthantering samt metanläckage inte tas med i beräkningen.

I alternativa beräkningar har systemgränsen utvidgats till att innefatta även rötning och hantering av rötrest. Huvudalternativet för beräkningarna i det senare fallet är systemutvidgning där produktionen av alternativa produkter (konstgödsel som alternativ till rötrest) inkluderats. EU:s föreslagna metod som baseras på produktens energiinnehåll (s.k. fysikalisk allokering) samt ekonomisk allokering är också inkluderat.

De fyra alternativen är:

- 1) Grundfall med enbart uppgradering och trycksättning
- 2) Systemutvidgning där rötrest ersätter mineralgödsel
- 3) Ekonomisk allokering med rötning inkluderat
- 4) Energiallokering med rötning inkluderat

Figur 3.4 visar det utökade systemet för biogasproduktion vid ett avloppsreningsverk. I fall 1 ingår endast uppgradering. I fall 2 ingår allt i figuren. I fall 3 och 4 ingår rötning och uppgradering. Delar av resultatet presenteras i kombination med emissionsdata från lätta och tunga fordon men dessa ingår inte i det analyserade systemet. Användning i fordon är i rapportens tabeller vanligen inte inkluderat då detta skiljer på lätta och tunga fordon och mellan olika datakällor. Vid jämförelser med fossila drivmedel är användning i fordon inkluderat med standarddata för lätta och tunga fordon enligt Börjesson *et al.* (2010).



*Figur 3.1. Biogasproduktion vid avloppsreningsverk.*

Miljöbelastning för elanvändning baseras i huvudsak på svensk medel, men i känslighetsanalysen har även andra betraktelsesätt (marginalel) analyserats. Miljöpåverkan från el återfinns i Appendix A.

### 3.5 TUNGMETALLER I SLAM

I denna studie har vi direkt jämfört rötslammet med handelsgödsel i systemutvidgningen. Det är en förenkling, då rötat avloppsslam kan innehålla metaller eller organiska föreningar från avloppet som man inte vill ha ut på åkrarna. Dåligt hygieniserat slam kan också eventuellt innebära en risk för spridning av parasiter eller smitta. Å andra sidan innehåller rötslammet en stor mängd mullbildande ämnen vilket är ett viktigt bidrag till jordstatus på många marker.

Rötslam från avloppsrening kan inte heller direkt jämföras med rötat slam från ”rena” substrat som i huvudstudien Börjesson *et al.* (2010). Även med upptag från marken och nedfall från luften bör det senare innehålla lägre halter av oönskade ämnen.

Det rötslam från avloppsrening som godkänns i Revaq håller dock kontrollerat låga halter av aktuella tungmetaller. Den mest kritiska metallen i sammanhanget är kadmium, där halten i godkänt rötslam ligger under 35 mg Cd/kg P, med medelvärdet 25 mg Cd/kg P år 2008. Inom Revaq-certifieringen strävar man efter att



med uppströmsåtgärder nå halter motsvarande 17 mg Cd/kg P till år 2025. Vid den nivån tar man ut lika mycket Cd med grödan som man maximalt tillför med röt-slammet.

De här halterna ska jämföras med dem i konstgödsel. Större delen av den i sig begränsade tillgången på råfosfat i världen har halter kring 150 mg Cd/kg P, men ca 13 % uppges ha halter kring 15 mg Cd/kg P (magmatiska fosforreserver). Man arbetar med att minska halten av kadmium i de stora tillgångarna, men EU-kommissionens mål för godkänt mineralgödsel är inte mer ambitiöst än att komma ner till 45 mg Cd/kg P inom 20 år.

Enligt Naturvårdsverkets förslag till uppdaterad "Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp" är det "viktigt att fosfor från avlopp återförs till åkermark eller annan produktiv mark". Man tar samtidigt upp betydelsen av att återföra humus-ämnen och andra essentiella grundämnen. Det poängteras också att en långsiktig hållbar återföring av fosfor från avlopp kräver ett fortsatt arbete i hela samhället för att minska föroreningar i slammet. Det gäller alltså användningen av kemikalier och att så lite som möjligt av oönskade ämnen ska hamna i avloppet.

Förslagen från Naturvårdsverket ligger helt i linje med strävandena inom avlopps-sektorn, med skärpta krav på metallinnehåll och hygienisering, och att man ännu inte sätter upp några gränser för spridning av organiska ämnen med det rötade slammet, i väntan på bättre kunskap.

## 4 RESULTAT

Metanläckage från uppgradering är satt till 0,5 % av producerad biogas. Detta baseras dels på lägsta rapporterade metanläckaget i Avfall Sveriges Frivilligt åtagande (Avfall Sverige 2009) för vattenskrubbrar samt att Käppalas tillstånd för uppgraderingsanläggningen tillåter ett högsta läckage på 0,5 % av metan i ingående rågas (Käppala 2010). Lägsta rapporterade metanläckage för samtliga tekniker låg på 0,04 % (kemisorption). Den totala metanförlusten uppskattas till 2 %, vilket innebär att 1,5 % antas facklas av med restgasen.

Energiinsatsen är beräknad till 0,72 kWh per Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> baserat på 0,43 kWh för uppgradering av 1 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> i Käppala (2010a) och 0,29 kWh för trycksättning till 250 bar. Det senare baseras på att ca 60 % av total energianvändning för uppgradering och trycksättning generellt åtgår till uppgradering (Berglund 2003). Som energibärare vid uppgradering och trycksättning används svensk medel. Resultatet från grundfallet ses i tabell 4.1.

Systemutvidgningen leder till generellt minskade utsläpp med undantag för metan. Se tabell 4.1. De minskade utsläppen kommer från ersatt mineralgödsel enligt Börjesson *et al.* (2010) medan de ökade metanutsläppen kan härledas till det metanutsläpp på ca 1,7 % av metaninnehållet i rågasen som sker under rötningen i Käppala. Energiförbrukningen vid rötning är ca 0,48 kWh svensk medel per Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>.

Rötrestmängden är justerad till 41 000 ton (18,8 % torrsbstans (TS)) så att den motsvarar en TS-halt utan användning av avvattningkemikalier, se sektion 5.5 (Käppala 2010, Käppala 2010a).

I allokeringsfallen är rötning och uppgradering inkluderat och både energivärdet och det ekonomiska värdet på rötresten är i enlighet med Börjesson *et al.* (2010) satt till noll, och biogasen bär därmed hela miljöbelastningen. Se tabell 4.1.

Även emissionsdata för användning i lätta fordon och tunga fordon av 1 MJ biogas ses i tabell 4.1. Data för användning i fordon är från Börjesson *et al.* (2010).

Resultat för grundfallet anpassat för Miljöfaktaboken för bränslen återfinns i Appendix B.

Tabell 4.1 Miljöpåverkan från bränslecykeln för biogas från ARV-slam

Miljöpåverkan per MJ bränsle	1. Endast uppgradering och trycksättning	2. Systemutvidgning <sup>1</sup>	3-4 Allokering (ekonomisk / energi)	Användning, lätta fordon	Användning, tunga fordon
<b>Energi, MJ</b>					
Totalt	0,151	0,0591 <sup>2</sup>	0,254	X	X
<b>Emissioner till luft, mg</b>					
NO <sub>x</sub>	1,44	-38,8	2,42	10	200
SO <sub>x</sub>	0,719	-66,0	1,21	-	-
CO	1,44	-6,00	2,42	200	2
NM VOC	0,216	-6,85	0,363	20	4
CO <sub>2</sub> (fossil)	719	-9 820	1 210	0	0
N <sub>2</sub> O	-	(-22,0)	-	-	-
CH <sub>4</sub>	106	436	454	40	40
Partiklar	0,216	-18,6	0,363	0,5	0,5

”-” uppgift saknas

”X” uppgift ej relevant

Miljöeffekterna global uppvärmning (GWP<sub>100</sub>), övergödning (EP), försurning (AP), kolväten som kan bilda marknära ozon (POCP) samt partiklar för 1 MJ producerad biogas beräknade i enlighet med CML (2007) ses i tabell 4.2.

Tabell 4.2 Miljöeffekter av 1 MJ producerad biogas från ARV-slam

<b>Miljöpåverkan (CML 2007)</b>					
Miljöpåverkan per MJ bränsle	GWP <sub>100</sub> g CO <sub>2</sub> - ekv	EP mg PO <sub>4</sub> - ekv	AP mg SO <sub>2</sub> - ekv	POCP mg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - ekv	Partiklar mg
1. Grundfall	3,3	0,19	1,7	0,76	0,22
2. Systemutvidgning	-5,5	-6,9	-93	-2,6	-19
3. Ek. allokering	13	0,31	2,9	2,9	0,36
4. En. allokering	13	0,31	2,9	2,9	0,36

Tabell 4.3 visar en jämförelse mellan grundfallet för biogas och bensin i lätta fordon samt diesel i tunga fordon per MJ. I dessa värden är hela livscykeln från produktion till användning inräknad. Data för produktion av bensin och diesel är från PE International (2006) och slutanvändning är från Börjesson *et al.* (2010).

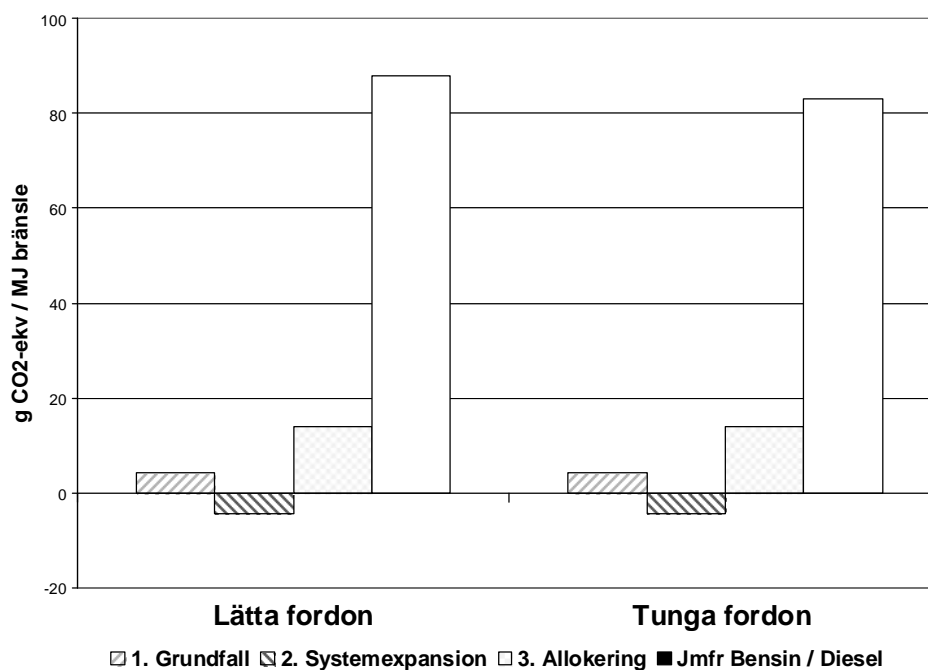
<sup>1</sup> I Käppala används svavelsyra (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) och väteperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) som avvattningskemikalier. Produktionen av dessa har inte inkluderats i systemutvidgningen då de inte är vanligt förekommande i avloppsreningsverk. Se sektion 5.5 för känslighetsanalys.

<sup>2</sup> Förmodligen överskattat då primärenergi för sluppen produktion av Kaliumgödsel inte ingår. Data för primärenergi vid mineralgödselproduktion är belagd med stor osäkerhet.

Tabell 4.3 Jämförelse av miljöeffekter från biogas och bensin/diesel för hela livscykeln i grundfallet.

Miljöpåverkan (CML 2007)					
Miljöpåverkan per MJ bränsle	GWP <sub>100</sub> g CO <sub>2</sub> - ekv	EP mg PO <sub>4</sub> - ekv	AP mg SO <sub>2</sub> - ekv	POCP mg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - ekv	Partiklar mg
<b>Lätta fordon</b>					
Biogas	4,6	1,5	8,7	8,9	0,72
Bensin	87,8	6,7	95,0	25,2	3,86
<b>Reduktion</b>	<b>95 %</b>	<b>78 %</b>	<b>91 %</b>	<b>65 %</b>	<b>81 %</b>
<b>Tunga fordon</b>					
Biogas	4,4	26	140	7,1	0,72
Diesel	83,0	69	410	24,7	7,1
<b>Reduktion</b>	<b>95 %</b>	<b>62 %</b>	<b>66 %</b>	<b>71 %</b>	<b>90 %</b>

Figur 4.1 visar växthuseffekt jämfört med bensin och diesel för samtliga fall med hela livscykeln inkluderad.



Figur 4.1 Samtliga fall i jämförelse med Bensin/Diesel för GWP<sub>100</sub>

## 5 KÄNSLIGHETSANALYS

För att visa de osäkerheter som finns i analysen och vilka faktorer som kan påverka resultatet har ett antal känslighetsanalyser genomförts.

### 5.1 GRUNDFALL MED SÄMRE PRESTANDA

Huvudresultatet i rapporten bygger på en anläggning som ligger i framkant (state-of-the-art) vad gäller energieffektivitet och metanutsläpp. Detta är inte helt representativt för dagens anläggningar även om flertalet av dem bedriver ett intensivt förbättringsarbete och läcksökning. Som första känslighetsanalys har därför en beräkning på en teoretisk medelanläggning baserat på ett metanläckage på ca 2 % samt en elförbrukning på 1 kWh/ Nm<sup>3</sup> fordonsgas valts.

Valet av metanläckage är baserat på Avfall Sverige (2009) där de flesta uppgraderingsanläggningar med vattenskrubber ligger runt 2 % (medianvärde 2,1 %) samt Persson (2003) där ett flertal anläggningar listas med ca 2 % metanläckage. En elförbrukning på 1 kWh/ Nm<sup>3</sup> fordonsgas är baserad på Persson (2003).

Tabell 5.1 visar medelanläggningen jämfört med grundfallet för en state-of-the-art anläggning samt ett worst case med 12 % metanutsläpp och en elförbrukning på 1,67 kWh / Nm<sup>3</sup> fordonsgas. Det sistnämnda är baserat på sämst presterande anläggning som rapporterats in till Avfall Sveriges Frivilligt åtagande (Avfall Sverige 2009) samt högsta angivna energiinsats för uppgradering i Persson (2003). Det bör noteras att de flesta anläggningarna har rapporterat metanläckage under 3 % varför detta alltså är ett worst case.

*Tabell 5.1 Miljöpåverkan från grundfall med sämre prestanda*

Miljöpåverkan (CML 2007)					
Miljöpåverkan per MJ bränsle	GWP <sub>100</sub> g CO <sub>2</sub> -ekv	EP mg PO <sub>4</sub> -ekv	AP mg SO <sub>2</sub> -ekv	POCP mg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> -ekv	Partiklar mg
State of the art	3,3	0,19	1,7	0,76	0,22
Medel	11	0,27	2,5	2,6	0,31
Worst case	62	0,44	4,0	15	0,50

Det är tydligt att det ökade metanläckaget har en stor påverkan på resultatet. I worst case motsvarar växthuseffekten för biogas nästan bensin/diesel. Även POCP ökar kraftigt med ökat metanläckage.

### 5.2 SYSTEMUTVIDGNING MED SÄMRE PRESTANDA

Känslighetsanalysen för systemutvidgning är baserad på känslighetsanalysen för grundfallen för uppgradering. Då data på energiförbrukning för rötning hos ytterli-



gare avloppsreningsverk inte funnits tillgängliga är denna som tidigare ca 0,48 kWh per Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>. I medelfallet är metanutsläppet från rötning 2,1 % då detta är medianvärdet i Avfall Sveriges Frivilligt åtagande (2009) och i worst case, baserat på samma studie, är det metanutsläppet från rötning 8 %.

*Tabell 5.2 Miljöpåverkan från systemutvidgning med sämre prestanda*

<b>Miljöpåverkan (CML 2007)</b>					
<b>Miljöpåverkan per MJ bränsle</b>	<b>GWP<sub>100</sub> g CO<sub>2</sub>-ekv</b>	<b>EP mg PO<sub>4</sub>-ekv</b>	<b>AP mg SO<sub>2</sub>-ekv</b>	<b>POCP mg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-ekv</b>	<b>Partiklar mg</b>
State of the art	-5,5	-6,9	-93	-2,6	-19
Medel	4,3	-6,9	-93	-0,3	-19
Worst case	86	-7,8	-110	19	-22

Med systemutvidgning går miljöpåverkan åt lite olika håll. GWP<sub>100</sub> och POCP ökar för högre metanutsläpp men eftersom det vid större förluster krävs mer rötning per MJ producerad biogas produceras mer rötrest som ersätter mineralgödselproduktion. Detta leder till att övergödning- och försurningspotentialerna sjunker samt att partikelutsläppen minskar. Värt att notera är att GWP<sub>100</sub> vid de högsta metanutsläppen är i paritet med bensin/diesel medan en medelanläggning fortfarande ligger långt under de fossila bränslena vad gäller påverkan på växthus-effekten.

### 5.3 ALLOKERING MED SÄMRE PRESTANDA

Allokeringsfallen har samma indata som systemutvidgningsfallen för rötning och uppgradering.

*Tabell 5.3 Miljöpåverkan från allokeringsfall med sämre prestanda*

<b>Miljöpåverkan (CML 2007)</b>					
<b>Miljöpåverkan per MJ bränsle</b>	<b>GWP<sub>100</sub> g CO<sub>2</sub>-ekv</b>	<b>EP mg PO<sub>4</sub>-ekv</b>	<b>AP mg SO<sub>2</sub>-ekv</b>	<b>POCP mg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-ekv</b>	<b>Partiklar mg</b>
State of the art	13	0,31	2,9	2,9	0,36
Medel	22	0,40	3,7	5,3	0,46
Worst case	110	0,59	5,4	26	0,68

I allokeringsfallen ökar miljöpåverkan i alla kategorier vid högre metanutsläpp. I worst case är utsläppet av växthusgaser högre än för bensin/diesel. För medelanläggningen är utsläppen fortfarande relativt låga, med till exempel en minskning på 74 % av klimatpåverkan för biogas jämfört med bensin.

### 5.4 MARGINALELEKTRICITET

För att se effekterna av användningen av el producerad på marginalen har grundfallen (uppgradering och trycksättning) även beräknats med el producerad av naturgas (Sköldberg *et al.* 2008). Data för elproduktion kommer från PE International (2009). Påverkan av ändrad elproduktion ses i tabell 5.4. Miljöpåverkan från 1

MJ el baserad på svensk medel el och el producerad av naturgas återfinns i Appendix A.

*Tabell 5.4 Miljöpåverkan vid olika val av elektricitet.*

<b>Miljöpåverkan (CML 2007)</b>					
<b>Miljöpåverkan per MJ</b>	<b>GWP<sub>100</sub> g CO<sub>2</sub>- ekv</b>	<b>EP mg PO<sub>4</sub>- ekv</b>	<b>AP mg SO<sub>2</sub>- ekv</b>	<b>POCP mg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>- ekv</b>	<b>Partiklar mg</b>
State of the art <sup>1</sup>	3,3	0,19	1,7	0,76	0,22
State of the art <sup>2</sup>	14,4	1,14	7,2	1,32	0,09
Medel <sup>1</sup>	11	0,27	2,5	2,6	0,31
Medel <sup>2</sup>	27	1,67	10,3	3,4	0,13
Worst case <sup>1</sup>	62	0,44	4,0	15	0,50
Worst case <sup>2</sup>	88	2,70	16,7	16	0,21

1. Svensk medel el, 2. Naturgasbaserad el

För samtliga påverkanskategorier med undantag för partiklar ökar miljöpåverkan då el baserad på naturgas ersätter svensk medel el. Förändringarna är dock inte så stora att de påverkar studiens slutsatser.

## 5.5 SYSTEMUTVIDGNING KÄPPALA AVVATTNING

I Käppala använder man som enda anläggning sedan 2006 svavelsyra och väteperoxid för att få en effektivare avvattning av rötresten. Produktionen av dessa kemikalier samt deras påverkan på rötresten har inte räknats med, då detta avvattningsförfarande inte kan anses vara representativt för svenska anläggningar. För att visa påverkan som dessa kemikalier har på systemutvidgningsfallet har en beräkning med inkluderade kemikalier gjorts vilket ses i tabell 5.5. Det ska dock påpekas att data för kemikalierna, som kommer från PE International (2009), är generella för hela Europa och att miljöpåverkan kan skilja relativt mycket beroende på tillverkare.

*Tabell 5.5 Effekter av avvattningskemikalier*

<b>Miljöpåverkan (CML 2007)</b>					
<b>Miljöpåverkan per MJ</b>	<b>GWP<sub>100</sub> g CO<sub>2</sub>- ekv</b>	<b>EP mg PO<sub>4</sub>- ekv</b>	<b>AP mg SO<sub>2</sub>- ekv</b>	<b>POCP mg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>- ekv</b>	<b>Partiklar mg</b>
Utan kemikalier	-5,5	-6,9	-93	-2,6	-19
Med kemikalier	3,8	-3,9	94	7,3	41

Tillverkningen av dessa kemikalier ger en ökad miljöpåverkan som är större än påverkan från minskade slamtransporter. Det finns dock ytterligare faktorer som inte syns i valda miljöpåverkansfaktorer. Enligt Käppala tar tillsatsen av dessa kemikalier död på patogena mikroorganismer vilket främjar spridning på åkermark samt att de eventuellt bidrar till att läkemedelsrester oxideras och därmed blir mindre skadliga (Käppala 2010a)

## 5.6 BERÄKNINGSFEL

Vid projektstart fanns en oklarhet rörande data på metanläckage från Avfall Sveriges Frivilligt åtagande. Det var oklart på vilket flöde det procentuella läckaget baserades. På grund av detta modellerades först systemet med läckage baserad på procent av output från rötning respektive uppgradering. Vidare undersökning visade att läckaget var baserat på rågasflödet. Detta ger endast mindre justeringar av resultatet och har korrigerats för grundresultaten. I känslighetsanalyserna är detta inte justerat och de kan därför vara något fel i sista decimalen för växthuseffekt. Dessa resultat är indikativa och är beroende av andra osäkerheter som bedömts som större än detta fel och har därför lämnats orörda.

## 6 SLUTSATSER OCH DISKUSSION

För samtliga fall baserade på en state-of-the-art-anläggning och även för en medelanläggning ligger miljöpåverkan under eller långt under motsvarande utsläpp från fossila bränslen. För grundfallet då rötning är en del av avfallshanteringen ger till och med de sämst presterande anläggningarna en miljöpåverkan lägre än fossila motsvarigheter.

Det är tydligt att metanläckage påverkar resultatet kraftigt. För systemutvidgnings- samt allokeringsfallen leder metanutsläpp på ca 20 % till en påverkan på växthus-effekten i paritet med eller större än den från bensin och diesel. Även grundfallet närmar sig jämviktspunkten vid 12 % metanläckage och naturgasbaserad el. Metanläckage är en av de stora osäkerhetsfaktorerna i analysen. De avloppsrenings- verk där noggrannare mätningar utförs tenderar att få högre utsläpp vilket kan tyda på att de faktiskt utsläppen kan vara högre än de rapporterade (Lindblom, 2010).

Om resultaten används för att beskriva en anläggning med dokumenterat höga utsläpp bör resultaten ”worst case” användas. Om ingen information om anläggningen finns bör resultaten för en medelanläggning användas. Grundfallet för en ”state-of-the-art” bör endast användas då det är en nyare eller planerad anläggning alternativt då det är dokumenterat låga metanutsläpp. Det finns idag tekniker för uppgradering (kemisorption; katalytisk efterbränning av all strippad gas) som kan ge lägre metanutsläpp än 0,5 % vilket också bör tas i åtanke då resultatet från denna studie används.

Distribution av biogas är inte inkluderat i studien. Tidigare studier har visat att distribution över begränsade avstånd har liten påverkan på energibalansen (Börjesson och Gustavsson 1996). I Börjesson *et al.* (2010) görs en känslighetsanalys på lokala biogasnät som visar att även detta har liten påverkan på resultatet.

Om resultaten från grundfallet i denna studie jämförs med tidigare studie använd i Miljöfaktaboken för Bränslen (Nilsson *et al.* 2001) ses att resultaten är lägre i denna nya studie. Detta beror på ett antal faktorer, varav de viktigaste är lägre metanläckage samt att föregående studie studerade samrötning av ARV-slam och externa substrat (till exempel slaktavfall). Detta innebär att utsläpp från insamling och behandling av externa substrat är inkluderade och studierna är på grund av detta inte direkt jämförbara.

## 7 REFERENSER

- Avfall Sverige 2009. Frivilligt åtagande: *Kartläggning av metanförluster från biogasanläggningar 2007-2008*. Avfall Sverige. ISSN 1103-4092
- Berglund, M., Börjesson, P. 2003. *Energianalys av biogassystem*. Rapport nr 44. ISSN 1102-3651. Inst. för teknik och samhälle. Avd. för miljö- och energisystem. Lunds Tekniska Högskola.
- Börjesson, P., Gustavsson, L. 1996. *Regional Production and Utilisation of Biomass in Sweden*. Energy – The International Journal Vol. 21, pp 747-764.
- Börjesson, P., Tufvesson, L., Lantz, M. 2010. *Livscykelanalys av svenska biodrivmedel*. Rapport nr 70. ISSN 1102-3651. Inst. för teknik och samhälle. Avd. för miljö- och energisystem. Lunds Tekniska Högskola.
- CML (2007). *CML Impact Assessment Database*, Senast uppdaterad augusti 2007. Centrum voor Milieukunde Leiden (Institute of Environmental Sciences) Leiden University. Tillgänglig på <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>
- Gässlösa 2010. Specifika data kring rötning och upparbetning, via Evelina Johansson.
- Käppala 2010. *Käppala Miljörapport 2009*. Käppalaförbundet
- Käppala 2010a. Specifika data kring rötning och planerad upparbetning, via Michael Medoc, Torbjörn Wickström samt Andreas Thunberg
- Lindblom, L 2010. Stockholm Vatten. Personlig kommunikation 2010-05-17
- Nilsson, M., Linné, M., Dahl, A. 2001. *Livscykelinventering för biogas som fordonsbränsle*. SGC Rapport nr 117. ISSN 1102-7371. Svenskt Gastekniskt Center.
- PE International (2006), GaBi Professional Database 2006.
- Persson M 2003. *Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas*. Rapport SGC 142. ISSN 1102-7371. Svenskt Gastekniskt Center
- Sköldberg, H., Unger, T. (2008). Effekter av förändrad elanvändning / elproduktion – Modellberäkningar. Rapport 08:30 Elforsk
- Uppenberg, S., Almemark, M., Brandel, M., Lindfors, L-G., Marcus, H-O., Strippel, H., Wachtmeister, A., Zetterberg, L. 2001. *Miljöfaktabok för bränslen*. IVL rapport B1334A-2 & B1334B-2. IVL Svenska Miljöinstitutet AB.



## APPENDIX A – MILJÖPÅVERKAN FRÅN EL

Miljöpåverkan (CML 2007)					
Miljöpåverkan per MJ	GWP <sub>100</sub> g CO <sub>2</sub> - ekv	EP mg PO <sub>4</sub> - ekv	AP mg SO <sub>2</sub> - ekv	POCP mg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> - ekv	Partiklar mg
Svensk medelel <sup>1</sup>	11,3	2,60	24,0	2,22	3,00
Naturgasbaserad el <sup>2</sup>	165	16,6	103	10,0	1,26

1. Börjesson *et al.* (2010). 2. PE International (2006)

## APPENDIX B - RESULTAT FÖR MFB

### LCI-data

Resursanvändning & Emissioner	Produktion & Distribution	Användning (Lätta fordon)	Användning (Tunga fordon)
<b>Primärenergiåtgång (MJ)</b>	0,151	X	X
<i>varav Icke förnyelsebara resurser</i>			
<i>varav Förnyelsebara resurser</i>			
<b>Utsläpp till luft (g)</b>			
Koldioxid (CO <sub>2</sub> )	719	0	0
Metan (CH <sub>4</sub> )	106	4e-2	4e-2
Dikväveoxid (N <sub>2</sub> O)	-	-	-
Koloxid (CO)	1,44e-3	0,2	2e-3
Kväveoxider (NO <sub>x</sub> )	1,44e-3	1e-2	0,2
Svaveloxid (SO <sub>2</sub> )	7,19e-4	-	-
Oförbrända kolväten (VOC)	2,16e-4	2e-2	4e-3
Partiklar (PM)	2,16e-4	5e-4	5e-4
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	-	-	-
<b>Utsläpp till vatten (g)</b>			
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	-	-	-
Ammoniak (NH <sub>3</sub> -)	-	-	-
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	-	-	-
Fosfater (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	-	-	-

### LCI-data beräknande som miljöpåverkanskategorier

Miljöpåverkan av utvalda flöden från 1 MJ (g)	Produktion & Distribution	Användning (Lätta fordon)	Användning (Tunga fordon)
Växthuseffekt	3,3	1,3	1,1
Övergödningspotential	1,9e-4	1,3e-6	2,6e-5
Försurningspotential	1,7e-3	7e-6	1,4e-4
Bildning av fotokemiska oxidanter	7,6e-4	8,2e-6	6,3e-6



**Scheelegatan 3, 212 28 Malmö • Tel 040-680 07 60 • Fax 040-680 07 69**  
**[www.sgc.se](http://www.sgc.se) • [info@sgc.se](mailto:info@sgc.se)**

---

---