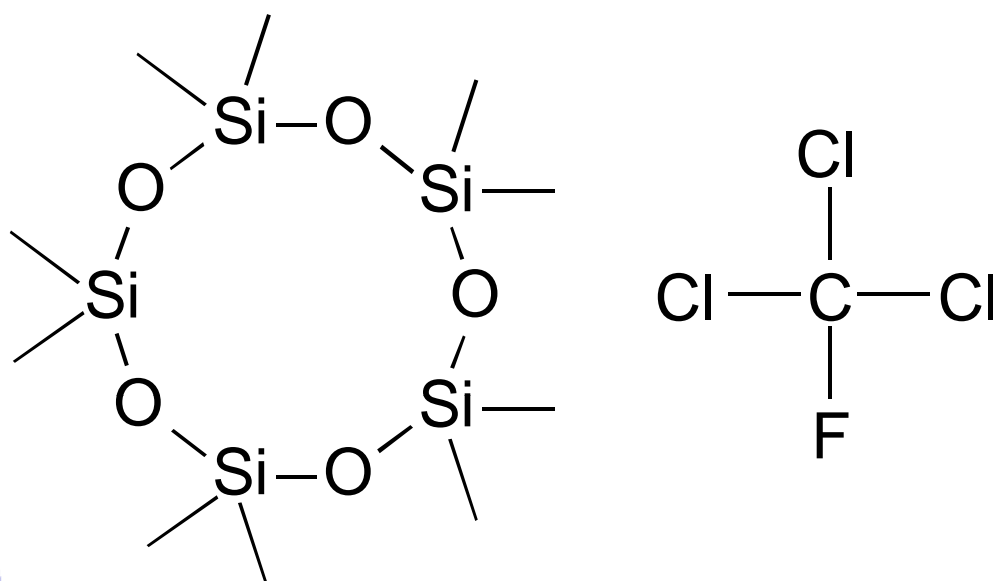


# Utvärdering av svensk biogasstandard – underlag för en framtida revision



Mattias Svensson  
Svenskt Gastekniskt Center

April 2011



## SGC:S FÖRORD

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

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

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

AGA Gas AB	Scandinavian GtS AB
Avfall Sverige	Stockholm Gas AB
E.ON Gas Sverige AB	Svensk Biogas AB
Fordonsgas Sverige AB	Svenskt Vatten
Göteborg Energi AB	Öresundskraft AB
Lunds Energikoncernen AB (publ)	Statens energimyndighet

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held



## SAMMANFATTNING

Denna rapport är avsedd att utgöra underlag för en framtida revision av SS 15 54 38, "Motorbränslen - Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer". När den tillkom 1999 ansågs det inte lämpligt att göra det möjligt att använda metan från deponigas som fordonsgaskälla, på grund av dess bredare spektrum av spårämnen, inte sällan i relativt höga halter, till exempel siloxaner och halogenerade kolväten. Siloxaner förekommer också i gas från avloppsreningsverk, men bedömningen gjordes att rådande uppgraderingsmetoder reducerade dessa halter i tillräckligt hög grad. Genom att sätta maxkrav på kväveinnehåll stängdes deponigasen effektivt ute. Teknisk utveckling (kryogen uppgradering som gör det möjligt att rena deponigas till fordonsgaskvalitet; högre emissionskrav för fordon som lett till högre sofistikeringsgrad i motor- och reningsteknik) har nu gjort det nödvändigt att bättre kontrollera halterna av fler spårämnen.

Standardiseringsläget är inte tillfredsställande för fordonsgas i allmänhet och förnybar sådan i synnerhet. Standardisering på internationell nivå är mestadels kvalitativ. De flesta standarder finns på nationell nivå och med undantag för Sverige så standardiseras biometan endast för inmatning på naturgasnätet. Ett mandat (M/475, 2010) från EU-kommissionen att ta fram CEN-standardisering för biometan som matas in på nätet, eller som används direkt som fordonsgas kan ändra på detta, och frågan kommer att behandlas i en ny kommitté (CEN/TC408 "Project Committee – Biomethane for use in transport and injection in natural gas pipelines"). En rad olika spårämnen har diskuterats för införande i ny standardisering, där länder som Holland och Frankrike utmärker sig som anhängare av mer strikta och omfattande regleringar. Denna rapportens arbetsgrupp ser det som troligt att reglering av ämnen som siloxaner och halogenerade kolväten kommer att leda till avskiljningsmetoder som i tillräcklig grad även sänker nivåerna av många av de övriga diskuterade spårämnena. Med avseende på mikroorganismer torde nuvarande krav på filter på 1 µm vara tillräckligt för att sänka halterna av dessa till ofarliga nivåer. Om patogener skulle förekomma skulle upptagen dos vara så låg att mycket liten risk föreligger.

Att sänka maxnivån för totalhalt svavel är en viktig förändring, eftersom hög halt svaveldioxid i avgaserna har en inhiberande och föråldrande inverkan på katalysatorer, med magermotorapplikationer som mest känsliga. Det står klart att merparten av svavlet härrör från odoriseringen, i Sverige används THT (tetrahydrotiofen, ca 6 mg S/Nm<sup>3</sup>). Mer svavelfattiga och även svavelfria alternativ finns på marknaden, där det svavelfria alternativet är en mindre trolig kandidat på grund av dess okaraktäristiska lukt. Siloxaner misstänks kunna stå för många av de odiagnostiserade driftsproblemen i gasfordon, eftersom de faller ut som fast kiseldioxid vid förbränning. Problem med igensättning av lambdasensorer har härletts till förekomst av elementärt kisel i bensin. Det är okänt om liknande problem kan uppstå vid förekomst av siloxaner i fordonsgas. Rapporterade totalhalter av siloxaner efter uppgradering ligger under 0,6 mg Si/Nm<sup>3</sup>. Frågan om eventuell reglering av flyktiga tungmetaller som kvicksilver och arsenik riskerar att bli en stöttesten i diskussionerna mellan svenska fordonstillverkare, som vill se kvantitativ reglering av dessa, och fordonsgasbranschen, som menar att nivån på dessa sällan når över detektionsnivå ens i rågas, och i ännu mindre grad i uppgraderad gas. Liksom i fallet med siloxaner och halogenerade kolväten är det en möjlig utväg att standar-

disera/certifiera efter substratkälla – tungmetaller förekommer i princip bara i deponigas. I tillägg till de biologiskt härledda spårämnena står det också klart att det finns ett behov av att mer noggrant reglera de tillåtna nivåerna av olja och vatten. Faktum är att merparten av driftsproblemen hos gasfordon beror av förhöjda halter av dessa två ämnen. Men det största hindret att lösa för att kunna revidera dagens svenska standard för förnybar fordonsgas är bristen på validerade testmetoder, till exempel för (smörj)olja i gas och för halogenerade kolväten. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut har redan i dag förslag på testmetoder som kan valideras för de två tidigare nämnda ämnena, och inom kort kommer en metod för provtagning och analys av siloxaner vara färdigvaliderad.

## SUMMARY

This report is intended to constitute a basis for a future revision of the SS 15 54 38, "Motor fuels - Biogas as fuel for high-speed otto engines." When it was published in 1999, it was not deemed appropriate to source compressed biomethane from landfill gas, because of its wider range of trace elements, often in relatively high concentrations, such as siloxanes and halogenated hydrocarbons. Siloxanes are also present in the gas from waste water treatment plants, but the assessment was made that upgrading methods available at the time reduced these levels sufficiently. By putting a maximum limit on the nitrogen content, landfill gas was effectively shut out. Technical Development (cryogenic upgrading making it possible to clean landfill gas to biomethane quality; stricter emissions standards for vehicles that has led to a higher level of sophistication in engine and aftertreatment technologies) has now made it necessary to better control the levels of all trace elements.

The state of standardization is not satisfactory for CNG in general and renewable CNG (biomethane) in particular. Standardization at the international level is mostly qualitative. Most standards are at the national level and with the exception of Sweden biomethane is only standardized for injection on the natural gas network. A mandate (M/475, 2010) from the European Commission to develop the CEN standards for biomethane fed into the grid, or used directly as renewable CNG, may change this, and the issue will be addressed in a new committee (CEN/TC408 "Project Committee - Biogas for use in transportation and injection into natural gas pipelines"). A variety of trace elements has been discussed for inclusion in the new standards, where countries such as Holland and France stand out as supporters of more stringent and comprehensive regulations. This report's working group considers it likely that the regulation of substances such as siloxanes and halogenated hydrocarbons will lead to removal methods, which sufficiently lowers also the levels of many of the other trace elements discussed. With respect to microorganisms, it is likely that the current requirement of a 1 micron filter may be sufficient to reduce the levels of these to harmless levels. If pathogens would be present, then the absorbed dosage would be too small to constitute any real risk.

Lowering the maximum level for total sulfur content is an important revision, because the high content of sulfur dioxide in exhaust gases has an inhibitory and aging impact on catalysts, with lean-burn engine applications as the most sensitive. It is clear that most of the sulfur has its origin in the odorization, THT being utilized in Sweden (tetrahydrothiophene, about 6 mg S/Nm<sup>3</sup>). More sulfur-poor and even sulfur-free alternatives are available on the market, where the sulfur-free option is a less likely candidate, due to its uncharacteristic odor. Siloxanes are suspected as accountable for many of the undiagnosed operational problems in NGV's, since they precipitate as solid silica during combustion. Problems with clogging of the lambda sensors have been attributed to the presence of elementary silicon in petrol. It is unknown whether similar problems might arise from the presence of siloxanes in compressed biomethane. Reported total concentrations of siloxanes after upgrading fall below 0.6 mg Si/Nm<sup>3</sup>. Whether to regulate volatile heavy metals such as mercury and arsenic or not is an issue that risks becoming a stumbling block in the discussions between the Swedish vehicle manufacturers,

who want to see quantitative regulation of these, and the CNG industry, which believes that the level of these rarely reach above the detection level even in the raw gas, and even less so in upgraded gas. As in the case of siloxanes and halogenated hydrocarbons, a possible recourse is to standardize/certify according to substrate source, heavy metals being present in principle only in landfill gas. In addition to the biologically derived trace elements it is also evident that there is a need to more closely regulate the contents of oil and water. The fact is that most of the operational problems of NGV's may be attributed to elevated levels of these two substances. However, the biggest obstacle to solve in order to revise the current Swedish standard of biomethane is the lack of validated testing methods, such as for entrained oil in the gas and the halocarbons. SP has already today candidate testing methods that can be validated for the former two, and shortly the validation of the sampling and analysis of siloxanes will be finished.



# INNEHÅLL

<b>1. Inledning.....</b>	<b>1</b>
1.1. Bakgrund och syfte .....	1
1.2. Metod.....	2
1.3. Avgränsningar .....	2
1.4. Biogasens beståndsdelar.....	2
1.5. Uppgradering av biogas.....	2
<b>2. Standardisering av fordonsgas och gas inmatad på gasnätet.....</b>	<b>5</b>
2.1. Standarder för naturgas använt som fordonsbränsle.....	5
2.1.1. SAE J1616 – Surface Vehicle Recommended Practice - Recommended Practice for Compressed Natural Gas Vehicle Fuel .....	6
2.1.2. ISO 15403 Natural gas — Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles .....	6
2.1.3. DIN 51624 Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge – Erdgas – Anforderungen und Prüfverfahren.....	6
2.1.4. UNECE Vehicle Regulations - 1958 Agreement.....	7
2.2. Standarder för förnybar fordonsgas.....	7
2.3. Aktuella standardiseringsinitiativ .....	9
<b>3. Riskbedömning och reglering .....</b>	<b>11</b>
3.1. Koldioxid, kväve och syre.....	11
3.2. Vatten.....	11
3.3. Väte.....	12
3.4. Svavel .....	13
3.5. Ammoniak.....	14
3.6. Siloxaner.....	15
3.7. Halogenerade kolväten .....	17
3.8. Mikroorganismer.....	18
3.9. Övriga spårämnen.....	20
3.10. Olja.....	21
<b>4. Resultat från enkät .....</b>	<b>23</b>
<b>5. Omfattning av och villkor för den framtida regleringen av krav på biometan av fordonsgaskvalitet i Sverige.....</b>	<b>25</b>
5.1. Olika typer och former av biogas.....	26
5.1.1. Reglering av metanhaltssnivå .....	26
5.1.2. Reglering av förnybar metan inmatad på naturgasnätet .....	28
5.1.3. Reglering av förnybar metan från termisk förgasning .....	28
5.1.4. Reglering av luftinblandad förnybar metan.....	29
5.1.5. Reglering av flytande metan.....	29
5.2. Förslag på kravnivåer .....	29
5.3. Kunskapsbehov, validerade analysmetoder .....	31
5.4. Former för kvalitetskontroll .....	32
<b>6. Referenser .....</b>	<b>34</b>

# 1. INLEDNING

## 1.1. BAKGRUND OCH SYFTE

Arbetet med projektet "Utvärdering av svensk biogasstandard" inleddes redan för tre år sedan, i slutet av det förra ramprogrammet för energigasteknisk utveckling, 2006-2008. Målet då var det samma som nu: Att ta fram ett underlag för revisionen av den svenska biogasstandard SS 15 54 38, "Motorbränslen - Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer". Standarden behöver förändras för att ta i beaktande vad ny uppgraderingsteknik har gjort möjligt: Uppgradering av biogas från deponier, tidigare utesluten som källa till fordonsgas på grund av högre variation och halt av spårämnen. Samtidigt har fordonstillverkarnas krav på högre gas-kvalitet skärpts när deras motorkomponenter har blivit mer sofistikerade, bland annat en följd av de allt lägre satta maxnivåerna för reglerade emissioner. Dessutom har tillämpningen av standarden sen den infördes 1999 visat att den är otillräcklig vad det gäller information om och reglering av de två ämnen som är den vanligaste orsaken till driftsproblem i metangasfordon: olja och vatten. Hur standardisering av icke-biologiskt härledd smörjolja ska göras i samband med den nu förestående revisionen av biogasstandard SS 15 54 38 återstår att se. Arbetet samordnas av SIS/TK415 Motorbränsle genom arbetsgruppen AG5 Naturgas och biogas.

SGC vill tacka alla som suttit med i Arbetsgruppen för deras insats. Utan er återkoppling och information hade det inte varit möjligt att genomföra det här arbetet.

Owe Jönsson, E.ON Gas Sverige  
Håkan Eriksson, E.ON Biogas Sverige  
Claes Sommansson, Göteborg Energi  
Hans Johansson, FordonsGas Sverige  
Anna Berggren, FordonsGas Sverige  
Carl-Magnus Pettersson, Sv. Växtkraft  
Daniel Hellström, Svenskt Vatten  
Lars Hammarlo, Stockholm Vatten  
Karine Arrhenius, SP  
Claes-Göran Johansson, Stockholm Gas  
Bertil Carlsson, Svensk Biogas  
Lena Wiklander, Öresundskraft  
Hans Kjellvander, Lund Energikoncernen  
Patrik Klintbom, Volvo Technology  
Anders Røj, Volvo Technology  
Daniel Danielsson, AVL

Magnus Nilsson, GM Powertrain Europe  
Magnus Gynnerstedt, SAAB  
Kent Johansson, SAAB  
Elna Strömberg, Scania CV  
Eva Iverfeldt, Scania CV  
Mårten Blomroos, Volkswagen  
Hanna Hellström, Avfall Sverige  
Angelica Blom, Avfall Sverige  
Hans Kättström, Scandinavian GtS  
Lars-Evert Karlsson, Läckeby Water  
Morgan Jansson-Ternow, Greenlane Biogas  
Rune Simonsson, Malmberg Water  
Erik Malmberg, Malmberg Water  
Roger Andersson, AGA Gas  
Anders Fransson, Borås stad  
Mikael Nielsen, Käppalaförbundet

## 1.2. METOD

Material har tagits fram genom sökningar efter litteratur på nätet och via kontakter, däribland de som suttit med i Arbetsgruppen.

## 1.3. AVGRÄNSNINGAR

Arbetet har begränsats till att gälla biogas framställd genom rötning, det vill säga biologiskt framställd metan. Förutom biologiskt härledda ämnen har också olja och vatten tagits upp, eftersom de har så stor påverkan på just fordonskastillämpning. De ämnen och spårämnen som undersökts på djupet har valts ut av Arbetsgruppen. Ett mindre antal som det fanns uppgifter om i litteraturen har också belysts i avsnitt ”1.3 Övriga spårämnen”.

## 1.4. BIOGASENS BESTÅNDSDELAR

Biogas bildas som ett resultat av mikrobiologisk aktivitet, när mikroorganismer under syrefria förhållanden bryter ner organisk materia. Se tabell 1.1 för indikativa halter av de olika beståndsdelarna i rötgas och deponigas (*Marcogaz 2006*). Lägg märke till att halterna kan variera stort, intervall är angivna inom parentes.

De huvudsakliga beståndsdelarna är metan och koldioxid, vilkas proportion varierar beroende på substrat (fett, protein eller kolhydrat) och mängd tillgängligt vatten (koldioxid löser sig i vatten, vilket effektivt sett höjer metanhalten i gasfas). Gasen är också mättad med vatten, det vill säga den är fuktig. Om luft tränger in under processen ökar koldioxidhalten på bekostnad av metanbildningen, när syret i luften gör det möjligt för bakterier att bryta ner det organiska materialet med en större energivinst. Kvävehalten i biogasen ökar också som en konsekvens. Det är detta som gör att det finns kväve i deponigas, liksom en högre halt av syre jämfört med rötgas.

Beståndsdelar i övrigt är oönskade biprodukter, vars mängd i stort avgörs av vad det är för typ av organiskt material som brutits ner, i form av substrat eller förorenande ämnen i det. Mängden vätesulfid beror av svavelhalten, så biogas från substrat av animaliskt ursprung får markant högre halter än växtbaserade. Ammoniak i gasform är i jämvikt med mängden av löst ammoniumkväve, vilken kan bli hög när kväverika substrat bryts ner, som till exempel slakteriavfall. Siloxaner är gasformiga nedbrytningsprodukter av kiselinnehållande föreningar. Större mängder förekommer endast i avloppsvatten och deponier, med silikoninnehållande hushållsprodukter som källa. I deponigas kan också mindre mängder av halogenerade kolväten och polyaromatiska kolväten förekomma.

## 1.5. UPPGRADERING AV BIOGAS

För att användas till fordonsdrift är det nödvändigt att rena biogasen från korrosiva ämnen, som till exempel ammoniak och vätesulfid. Närvaro av vatten ökar graden av korrosivitet. Vid högre halter av vatten är också koldioxid märkbart

korrosivt, men torkning av gasen tar bort denna effekt. Ett högre värmevärde är också önskvärt för att öka räckvidden på fordonen, så slutligen tas koldioxid bort genom någon form av separationsteknik. Den uppgraderade biogasen består nu till största delen av metan, och kallas därför ofta för biometan, en benämning som används för all förnybar metan som anrikats på metan genom rening och uppgradering, oavsett ursprung. Halten av metan kan variera, men bör troligen för fordonstillämpningar ligga över 80 % för att anses vara biometan. För en mer ingående diskussion om krav på metanhaltsnivåer och motoroktantal (MON), se avsnitt 5.1.1.

*Tabell 1.1. Biogasens beståndsdelar, indikativa värden (CEN 2010, Marcogaz 2006, Dewil 2006)*

Ämne	Enhet	Rötgas	Deponigas
Metan		65,0 (50-80)	45,0 (30-60)
Koldioxid		35,0 (15-50)	40,0 (15-40)
Kväve	mol %	0,2 (0-5)	15,0 (0-50)
Syre		Spår (0-1)	1,0 (0-10)
Väte		Spår (0-2)	1,5 (0-2)
Vätesulfid		< 600 (0-10000)	< 100 (0-1000)
Ammoniak		100 (0-100)	5 (0-5)
BTX		0-20 (0-100)	0-500 (0-800)
Totalklor	mg/m <sup>3</sup>	Spår (0-100)	Spår (0-800)
Totalfluor		0,5 (0-100)	10 (0-800)
Siloxaner		Spår (0-400)	Spår (0-400)

I Sverige har deponigas hittills inte uppgraderats till fordonsgas, eftersom dess stora och varierade innehåll av spårämnen gjorde att det inte sågs som säkert av fordonstillverkarna. Genom att i den svenska biogasstandarden SS 15 54 38 sätta gränsvärdet för kväve lågt blev det i princip omöjligt att uppgradera deponigas av godkänd kvalitet<sup>1</sup>. I andra länder, där inmatning på nätet istället för direkt användning var aktuell och gällande standard för innehåll av inerter inte var lika strikt, uppgraderas dock deponigas sedan länge med hjälp av till exempel membran- och PSA-teknik (Pressure Swing Adsorption) (Petersson och Wellinger 2009). Den svenska marknadens högre krav kommer nu dock att kunna tillfredsställas genom den nya tekniken kryogen uppgradering, där gasen kyls ner stegvis och de gasformiga beståndsdelarna separeras ut beroende på sin kokpunkt. Övriga föroreningar renas också bort effektivt genom denna metod. Tidigare har denna teknik inte lämpat sig för uppgradering, på grund av för storskalig teknik, och brist på tekniska lösningar för avskiljning av fast koldioxid (koldioxid sublimerar direkt från gas till fast form). Detta håller nu på att förändras, och ett antal olika tekniker och företag håller på att etablera sig på uppgraderingsmarknaden. Denna

<sup>1</sup> Personlig kommunikation, Arbetsgruppen, 090415

teknik gör det därmed möjligt att uppgradera kväveinnehållande deponigas till fordonsgaskvalitet överensstämmande med nuvarande svensk standard (se avsnitt 2.2).

## **2. STANDARDISERING AV FORDONSGAS OCH GAS INMATAD PÅ GASNÄTET**

Detta avsnitt innehåller en genomgång av befintlig och kommande standardisering inom områdena fordonsgas och inmatning av biogas på gasnätet. Genomgången är inte heltäckande, framför allt vad det gäller nationella standarder, men bör täcka in merparten av existerande standarder. Genomgången av nya standardiseringsinitiativ är fokuserad på Europa och USA. En allmän standard för gaskvalitet har getts ut av ISO (International Organisation for Standardization), ISO 13686:1998 "Natural gas - Quality designation". Den normativa delen innehåller inga halter eller gränsvärden, men den informativa delen innehåller bland annat information från nationella standarder eller anvisningar från Frankrike, Tyskland, Storbritannien och USA (*ISO 1998*). Frånvaron av värdeintervall och gränsvärden avspeglar branschens allmänna syn om att ingen exakt gaskvalitet kan specificeras eftersom naturgas är en naturprodukt som används direkt utan något behov av invecklad raffinering, som är fallet med till exempel råolja.

### **2.1. STANDARDER FÖR NATURGAS ANVÄNT SOM FORDONSBRÄNSLE**

I Sverige finns ingen standard för naturgas använt som fordonbränsle. I länder där naturgas dominerar som bränsle i gasbilarna är läget ett annat, om än det mestadels är tekniska komponenter som standardiseras. En något åldrad översikt över världens standarder ges av IANGV (International Association for Natural Gas Vehicles) på deras hemsida<sup>2</sup>. Nedan beskrivs några av de största och mest betydande standarderna för naturgas använd som fordonbränsle. En mer djupgående beskrivning av dessa standarder återfinns i den engelskspråkiga upplagan av den italienska gasfordonsindustrins tidning *Metano Motori* vårnummer 2009<sup>3</sup>. I tillägg till dessa standarder kan också nämnas Kaliforniens (California Code of Regulations, 13 CCR § 2292.5<sup>4</sup>), som tillämpas av 11 amerikanska delstater.

---

<sup>2</sup> <http://www.iangv.org/tools-resources/international-standards-a-k.html>

<sup>3</sup> *Metano & Motori – Natural Gas Vehicles*, May 2009, "The norms on gas quality", s 5-11 [http://www.ngvsystem.com/?page\\_id=70](http://www.ngvsystem.com/?page_id=70); notera att återgivningen av värden för DIN 51624 inte är uppdaterad enligt den senaste upplagan.

<sup>4</sup> Title 13. Motor Vehicles; Division 3. Air Resources Board; Chapter 5. Standards for Motor Vehicle Fuels; Article 3. Specifications for Alternative Motor Vehicle Fuels; § 2292.5. Specifications for Compressed Natural Gas. (<http://government.westlaw.com/linkedslice/default.asp?Action=TOC&RS=GVT1.0&VR=2.0&S P=CCR-1000>)

### **2.1.1. SAE J1616 – SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE - RECOMMENDED PRACTICE FOR COMPRESSED NATURAL GAS VEHICLE FUEL**

Den amerikanska standarden "Surface Vehicle Recommended Practice - Recommended Practice for Compressed Natural Gas Vehicle Fuel", utgiven av SAE (Society of Automotive Engineering) 1994, är en av de äldsta standarderna för CNG-kvalitet. Dess fokus ligger på, liksom det gör för ISO-standarderna, på gaskvalitets-egenskaper som har bäring på korrosion hos gascylindrar och tanksystem, med avsnitt för vatten, vätesulfid, koldioxid, metanol, syre, partiklar, olja och högre kolväten. Egenskaper för motorprestanda avhandlas i ett andra avsnitt, med kvantitativa värden för energiinnehåll angivna (Wobbe-index). Kommentarer kring sambandet mellan vatteninnehåll och körbarhet görs också (SAE 1994).

### **2.1.2. ISO 15403 NATURAL GAS — NATURAL GAS FOR USE AS A COMPRESSED FUEL FOR VEHICLES**

Standarden "ISO 15403 Natural gas – Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles", består av två delar, och bygger i hög grad på SAE J1616. Den första delen är normativ, "ISO 15403-1:2006 - Part 1: Designation of the quality", som liksom ISO 13686 inte har några gränsvärden eller intervall bestämda, men informationen i bilagor indikerar vissa nivåer för högre kolväten och vatten, och information om olika naturgasklassers energiinnehåll (ISO 2006a). Den andra delen är rent informativ, i form av en teknisk rapport, "ISO/TR 15403-2:2006 - Part 2: Specification of the quality". Den andra delen skapades som ett svar på den önskan många biltillverkare hade om att få med mer kvantitativ information, speciellt med avseende på spårämnen som kan behöva begränsas. Del två innehåller avsnitt om vatten, svavelföreningar, partiklar, högre kolväten, koldioxid, syre, glykol/metanol och oljeinnehåll (ISO 2006b).

### **2.1.3. DIN 51624 KRAFTSTOFFE FÜR KRAFTFAHRZEUGE – ERDGAS – ANFORDERUNGEN UND PRÜFVERFAHREN**

Den tyska standarden från DIN (Deutsches Institut für Normung) "DIN 51624:2008-02 Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge – Erdgas – Anforderungen und Prüfverfahren (Automotive fuels – Compressed natural gas – Requirements and test methods)" utgavs i sin senaste version februari 2008. Den anger lägsta värmevärde för naturgas av typ L och H, lägsta metanhalt och metantal<sup>5</sup>, gränsvärden för högre kolväten och enskilda kolväten större än C2, syre, väte, summahalt av kväve och koldioxid, vätesulfid och andra typer av svavelföreningar samt vatten. Olja och partiklar beskrivs i kvalitativa termer. Gränsvärdena för svavel, metantal och högre kolväten är så restriktiva att de utesluter vissa typer av naturgas som säljs på den europeiska marknaden i dag (DIN 2008).

---

<sup>5</sup> Beräknat enligt AVL:s metod

#### 2.1.4. UNECE VEHICLE REGULATIONS - 1958 AGREEMENT

Inom UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) "Vehicle regulations"<sup>6</sup> finns ett antal bilagor (addendum) som är tillämpliga för gasdrivna fordon. I R83 "Emission of pollutants of heavy vehicles" och R49 "Emission of pollutants according to engine fuel requirements" regleras bland annat vilka referensbränslen som är tillämpliga vid emissionstest för gasdrivna fordon. I R110 "Specific components for CNG" sätts krav på att cylindrar ska konstrueras så att de klarar gaskvalitet enligt SAE J1616, eller enligt de angivna kraven som omnämns för torr respektive våt gas. Fokus ligger även här på att reducera risken för korrosion (*UNECE 2008*).

#### 2.2. STANDARDS FÖR FÖRNYBAR FORDONSGAS

Europa har en särställning vad det gäller nationell standardisering eller reglering av biogas och dess uppgraderade slutprodukt, biometan. Fokus ligger dock på att reglera och standardisera inmatning av biometan på nätet, eftersom direkt användning av biometan som fordonsgas, till skillnad från situationen i Sverige, är sällan förekommande<sup>7</sup>. Detta gör Sveriges nuvarande nationella standard från SIS (Swedish Standards Institute), SS 15 54 38 "Motorbränslen - Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer", unik i sitt slag – det är den hittills enda standarden för biometan direkt använd som fordonsgas (*SIS 1999*). Denna situation verkar dock vara på väg att förändras, se nästa avsnitt.

En jämförelse mellan kända nationella standarder i Europa görs i tabell 2.1. Tabellvärdena för Sverige har sitt ursprung i varande inmatningspraxis, vilken till stor del baseras på SS 15 54 38. Ett intressant initiativ utanför Europas gränser är inmatningsanvisningarna för biometan från det kaliforniska bolaget "Southern California Gas Company", som går under namnet "Rule 30". Den är mycket strikt i jämförelse med många av de europeiska standarderna (*SoCalGas 2010*).

---

<sup>6</sup> <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs101-120.html>

<sup>7</sup> I Tyskland finns det nu två publika gastankstationer som direkt förses med biometan från närliggande produktion och uppgradering av biogas. Den exakta situationen i övriga europeiska länder är för **Arbetsgruppen** okänd, men i ett flertal länder används uppgraderad biogas till flottor av sopbilar och bussar.



*Tabell 2.1. Krav på biometan vid inmatning på naturgasnätet i några europeiska länder (Marcogaz 2006, CEN 2010<sup>8</sup>, HSE 2010)*

Ämne		Österrike	Frankrike	Belgien	Tjeckien	Tyskland	Holland	Sverige	Schweiz
CH <sub>4</sub>		≥ 96	≥ 86	≥ 85	≥ 95		≥ 85	≥ 97 <sup>9</sup>	≥ 96
CO <sub>2</sub>		≤ 3	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 5	≤ 6 (dry)	≤ 6	≤ 3 <sup>10</sup>	≤ 6
O <sub>2</sub>	% (vol/mol)	≤ 0,5	≤ 0,01		≤ 0,5	≤ 0,5 (våt), 3 (torr)	≤ 0,5	≤ 1	≤ 0,5
H <sub>2</sub>		≤ 4	≤ 6	≤ 0,1		≤ 5	≤ 12	≤ 0,5 <sup>11</sup>	≤ 4
CO			≤ 2	≤ 0,2			< 1		
Totalhalt S		≤ 10	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 45	≤ 23	≤ 30
H <sub>2</sub> S (+COS i Fr., Be)		≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 7	≤ 5	≤ 5	≤ 10 <sup>11</sup>	≤ 5
Merkaptaner		≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 5	≤ 15	≤ 10		≤ 5 ppmV
Halogenföreningar	mg/Nm <sup>3</sup>	0	≤ 1 (Cl)	≤ 1 (Cl)	≤ 1,5 (F+Cl)	0	≤ 50/25 (Cl/F)		≤ 1
Tungmetaller			≤ 1 (µg, Hg)	≤ 1 (µg, Hg)		≤ 5			≤ 5
Siloxaner		≤ 10 <sup>12</sup>			≤ 6 (Si)		≤ 5 ppm = 6,2 (Si)		
Ammoniak H <sub>2</sub> O		Tekn. ren	≤ 3	≤ 3 ≤ 110	Inget		≤ 3	≤ 20 ≤ 32 <sup>13</sup>	≤ 20
Tryckvattendagpunkt	°C	≤ -8, 40 bar	≤ -5, P <sub>max</sub>		≤ -10	Markt-temp.	≤ -10, 8bar	≤ t <sub>min</sub> -5	Förhindra kondensation
Odorant		Krav, före konsumtion	15-40 mg THT/m <sup>3</sup>			Krav, före konsumtion	> 10, 18-40 mg THT/m <sup>3</sup>	Krav, före konsumtion	15-25 mg THT/m <sup>3</sup>
Partiklar		Tekn. ren	Tekn. ren		Inga part.	Inga part.	Tekn. ren	≤ 1 µm	

Källor:

Österrike: ÖVGW (2006). "G33 (Ausgabe Juni 2006) Regenerative Gase – Biogas" <http://www.ovgw.at/gas/services/shop/details?uid=6192>

Frankrike: GrDF (2009). Prescriptions techniques du distributeur GrDF – Prescription prises en application du décret n° 2004-555 du 15 juin 2004 relatif aux prescriptions techniques applicables aux canalisations et raccordements des installations de transport, de distribution et de stockage de gaz.

[http://www.grdf.fr/fileadmin/user\\_upload/pdf/Navigation\\_Institutionnelle/Prescriptions\\_techniques\\_du\\_distributeur.pdf](http://www.grdf.fr/fileadmin/user_upload/pdf/Navigation_Institutionnelle/Prescriptions_techniques_du_distributeur.pdf)

<sup>8</sup> CEN TC 234/WG9 (juli 2010), opublicerat utkast till TR (Technical Report): "Gases from non-conventional sources — Injection into natural gas grids — Requirements and recommendations", se avsnitt 2.3 "Aktuella standardiseringsinitiativ"!

<sup>9</sup> Svensk standard SS 15 54 38 uppger egentligen 97 ± 2 %.

<sup>10</sup> Den sammanlagda andelen av kvävgas, syrgas och koldioxid får maximalt vara 5 %, varav syre maximalt 1 %.

<sup>11</sup> Ej angivet i SS 15 54 38

<sup>12</sup> Motsvarar 4 mg Si/Nm<sup>3</sup> om siloxanerna i snitt innehåller 40 % Si

<sup>13</sup> Motsvarar en tryckvattendagpunkt på -9 °C vid cirka 200 bar; i tillägg t<sub>min</sub>-5 °C, t = månadens lägsta dygnsmedeltemperatur.

Belgien: Synergrid (2010). "Prescription technique biomethane / Technische aanbeveling biomethaan" [http://www.synergrid.be/download.cfm?fileId=2000-50-42\\_SpecificationTechniqueBiomethane\\_v122010.pdf](http://www.synergrid.be/download.cfm?fileId=2000-50-42_SpecificationTechniqueBiomethane_v122010.pdf) / [http://www.synergrid.be/download.cfm?fileId=2000-50-42\\_TechnischeAanbevelingBiomethaan\\_v122010.pdf](http://www.synergrid.be/download.cfm?fileId=2000-50-42_TechnischeAanbevelingBiomethaan_v122010.pdf)

Tjeckien: Vorisek (2010). Technical rule "TPG 902 02" valid since March 2009 [http://www.madagascar.eu/fileadmin/dam/madagascar/downloads/2010/Madagascar\\_FC\\_-\\_Feb\\_5\\_-\\_1\\_-\\_TomasVorisek.pdf](http://www.madagascar.eu/fileadmin/dam/madagascar/downloads/2010/Madagascar_FC_-_Feb_5_-_1_-_TomasVorisek.pdf)

Tyskland: DVGW (2004). "DVGW-Arbeitsblatt G 260 Gasbeschaffenheit" "DVGW-Arbeitsblatt G 262 Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung"

Holland: I. Schoemaker (2009). "Aanvullende Voorwaarden RNB Groen Gas Invoeders version 14" [http://www.enexis.nl/site/Images/voorlopige\\_aanvullende\\_voorwaarden\\_RNB\\_Groen\\_Gas\\_Invoeders\\_v14%5B1%5D.pdf](http://www.enexis.nl/site/Images/voorlopige_aanvullende_voorwaarden_RNB_Groen_Gas_Invoeders_v14%5B1%5D.pdf); NMa Energiekamer (2010). "Aansluit- en transportvoorwaarden Gas – RNB per 14 november 2010" [http://www.energiekamer.nl/images/Aansluit-%20en%20transportvoorw%20Gas%20-%20RNB\\_tcm7-106213.pdf](http://www.energiekamer.nl/images/Aansluit-%20en%20transportvoorw%20Gas%20-%20RNB_tcm7-106213.pdf)

Schweiz: SVGW (2008). "G 13 Richtlinien für die Einspeisung von Biogas / Directives pour l'injection de biogaz"

### 2.3. AKTUELLA STANDARDISERINGSINITIATIV

Det finns ännu ingen internationell standard för förnybar metan, men inom CEN (Comité Européen de Normalisation) arbetar "TC 234 Gas Infrastructure" (CEN/TC234/WG9) med att ta fram en teknisk specifikation för uppgraderad biogas för inmatning på naturgasnätet. Sverige har representation i gruppen genom E.ON Gas Sverige AB<sup>14</sup>. Det nuvarande arbetet koncentrerar sig på en uppdatering av tidigare arbete utfört i Marcogaz regi (*Marcogaz 2006*), i form av en teknisk rapport (TR). I samband med detta arbete har EU kontaktats för bistånd, vilket lett till att den europeiska kommissionen har utfärdat ett officiellt mandat (M/475) för CEN att dels ta fram en teknisk specifikation (TS) för inmatning av biometan på nätet, dels ta fram en standard för direkt användning av alla typer av biometan i fordonstillämpningar (*EC 2010*). Under hösten 2010 har förfrågan om mandatet accepterats av CEN/TC 019 "Gaseous and liquid fuels, lubricants and related products of petroleum, synthetic and biological origin", och en "New work item proposal" (NWIP) för formerandet av en ny arbetsgrupp (WG 37, preliminärt kallad "Biogas automotive fuel specification") var ute på omröstning bland CEN:s medlemsländer med slutdatum 1 feb 2011. Mandatet har som mål att ta fram en europeisk standard (CEN) för biometan, oavsett substratkälla. Den tekniska specifikationen för inmatning av biometan på gasnätet görs separat, vilken fortsatt tas fram av CEN/TC 234/WG9. Under början av 2011 har engelska, spanska och franska aktörer vänt sig mot detta upplägg. NGVA Europa hade då som kompromiss föreslagit att arbetet utförs i en arbetsgrupp delad mellan TC234 och TC019 (JWG, Joint Working Group). TC019 i sin tur har under hand föreslagit att en självstän-

---

<sup>14</sup> Nuvarande representant är Håkan Eriksson (hakan.a.eriksson@eon.se)

dig projektkommitté bildas, vilket undviker problemet med att bestämma vilken existerande TC JWG:n skulle lyda under och rapportera till. Detta förslag formaliserades genom beslut i CEN:s tekniska nämnd (Resolution BT 10/2011, 110323), och den nya kommittén har döpts till CEN/TC408 "Project Committee – Bio-methane for use in transport and injection in natural gas pipelines".

I tillägg till detta har DIN i Tyskland tidigare inkommit med ett förslag till CEN om att ta fram en CEN-standard för CNG (komprimerad naturgas) och biometan. Användningen skulle förutom fordonstillämpningar även kunna gälla stationära tillämpningar som till exempel kraftvärme. Som underlag för arbetet skulle den tyska standarden DIN 51624 användas (se avsnitt 2.1.3). Enligt andra uppgifter står även IANGV och standardiseringsaktörer i Österrike och Schweiz bakom förslaget. Initiativet leds av DIN, som också ansvarar för CEN/TC234/WG9:s sekretariat. Det är möjligt att tyskarna kommer att fortsätta sträva efter att få använda sin nationella standard som mall i samband med arbetet med den europeiska standarden för biometan.

I USA har intresset för biogas ökat de senaste åren. I slutet av 2009 presenterade GTI (Gas Technology Institute) en litteratur- och analysstudie tillsammans med ett allmänt hållet styrdokument med fokus på möjligheterna för att mata in gödselbaserad biogas på naturgasnätet (*GTI 2009*). Samtidigt aviserades det att arbete görs för att ta fram liknande dokumentation/styrdokument för deponigas, vilken ännu inte har publicerats. Slutsatsen i rapporten var att uppgraderad gas från de undersökta källorna höll sig inom specifikationerna för gas inmatad på det amerikanska naturgasnätet (*AGA 2009*).

### **3. RISKBEDÖMNING OCH REGLERING**

I det följande beskrivs de olika beståndsdelarna i gasen, med avseende på deras påverkan på material vid distribution och användning, och när så är tillämpligt, deras påverkan på människors hälsa.

#### **3.1. KOLDIOXID, KVÄVE OCH SYRE**

I frånvaro av vatten är koldioxid inte korrosivt men i närvaro av vatten kan kolsyra bildas som är det. Dessutom kan koldioxid i kombination med vätesulfid och syre ge en mer korrosiv miljö genom synergistiska effekter (*GTI 2009*). Eftersom alla dessa ämnen regleras ner till ofarliga nivåer, så är regleringen av koldioxid i stort sett baserad på att den liksom kväve är en oönskad inert som minskar energitätheten hos gasen. Den låga tillåtna halten av inerter i SS 15 54 38 avspeglar detta, i ett försök att komma närmare den danska naturgasens höga energivärde. I länder där kvaliteter av naturgas med lägre värmevärde finns tillgängliga tillåts betydligt högre halter. I DIN 51624 tillåts till exempel en summahalt av kväve och koldioxid upp till 15 % (vol.). I UNECE R110 begränsas koldioxid bara om gasen är våt ( $> 32 \text{ mg/Nm}^3$ ), med ett gränsvärde på 4 % (vol.). Det är fullt tekniskt möjligt att långsiktigt utan risk köra ett gasfordon på biogas utan att avlägsna dess innehåll av koldioxid och kväve.

Närvaro av syre ökar både effekten av och hastigheten för andra korrosionsmekanismer. Ökad korrosion kan bli resultatet till exempel när syre kombineras med fritt vatten och/eller med andra ämnen som till exempel vätesulfid, koldioxid och naturligt förekommande bakterier. Små mängder syre, speciellt i samband med våt gas, kan upprätthålla kolonier av naturligt förekommande sulfatreducerande bakterier (*GTI 2009*). Reglering avspeglar graden av försiktighet man tar med avseende på denna skillnad i verkningsgrad, med så lite som 0,01 % i den franska standarden, upp till 3 %, som i de tyska standarderna (DIN 51624 och DVGW G260) för torr gas. Det är speciellt i underjordiska gaslager som halten syre kan vara en kritisk parameter. Minimering av syrehalterna är därför viktigare vid inmatning av uppgraderad biogas i de delar av gasnätet som står i kontakt med sådana gaslager, vilket inte är fallet om inmatningen sker i distributionsnätet. Är gasen torr, det vill säga att vattenhalten är lägre än dagpunkten vid högsta möjliga tryck, så är risken för korrosion låg.

#### **3.2. VATTEN**

Fritt vatten är i princip en förutsättning för att korrosion ska kunna uppstå, genom att vatten förstärker ett korrosivt ämnes verkan. Som tidigare nämnts interagerar vatten med andra ämnen som koldioxid och vätesulfid så att starka syror bildas (*GTI 2009*). Standardisering av fordonsgas har fokus på säkerhet. I ISO 15403 läggs det stor vikt vid reglering av vatteninnehållet, eftersom det är den mest vik-

tiga säkerhetsåtgärden att vid alla tryck och temperaturer undvika bildandet av flytande vatten. Genom att eliminera fritt vatten blir korrosionsrisken för koldioxid och syre negligerbar. Förutom korrosionsrisk kan fritt vatten också orsaka skador på kompressorer. Ett vatteninnehåll på mindre än  $30 \text{ mg/m}^3$  uppges vara tillfredsställande vid vanliga tryck och temperaturer. I SS 15 54 38 uppges en maximal halt på  $32 \text{ mg/m}^3$ , vilket vid 200 bar motsvarar en daggpunkt på  $-9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vid lägre temperaturer stipulerar SS 15 54 38 att tryckvattendaggpunkten ska hållas 5 grader lägre än månadens lägsta dygnsmedeltemperatur.

Ingen av regleringarna med avseende på korrosion ger dock optimal körbarhet i vårt svenska klimat, vilket många aktörer har upptäckt. Kylningen som uppkommer vid gasexpansionen i tryckregulatorn kan vara så kraftig att lägre temperatur än den omkringliggande uppkommer, vilket ger risk för proppbildning och nedsatt körbarhet. Propparna består av islika utfällningar av kolvätehydrater, som bildas vid lägre temperaturer och högt tryck i närvaro av vatten. Detta omnämns i SAE J1616, där det menas att 5,6 graders säkerhetsmarginal till tryckvattendaggpunkten vid högsta lagringstrycket är tillräckligt för att undvika problemet. Svenska erfarenheter visar dock att en mycket högre grad av torkning behövs för att säkerställa körbarheten vid lägre temperaturer. Aktörerna i Sverige torkar därför gasen ner till så lågt som  $-80 \text{ }^\circ\text{C}$  vid 4 bar<sup>15</sup>, vilket motsvarar  $0,12 \text{ mg/Nm}^3$ . Praxis i branschen är enligt Malmberg Water  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  vid 4 bar ( $2,2 \text{ mg/Nm}^3$ ). Praktiska försök hos Stockholm Vatten visade på att gränsen för körbarhet vintertid låg vid ca  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$  (200 bar), och helt försvann vid en tryckvattendaggpunkt på  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>16</sup>, vilket motsvarar  $1,64 \text{ mg/m}^3$ . I SS 15 54 38 står det explicit<sup>17</sup> i fotnoten för vatten att reglerade nivåer inte är tillräckliga för att eliminera utfällning av vatten under expansionskylningen.

### 3.3. VÄTE

Väte är ingen typisk beståndsdel i varken naturgas eller biometan från rötning. Väte är en intermediär i biogasprocessen. Vid stora transienter i matningen, som uppkommer vid uppstart, satsvis rötning och inmatning av en stor mängd substrat i en kontinuerlig process, så kan väteproduktionen överstiga den metanogena aktiviteten och under kortare tid ge upphov till märkbara vätenivåer i den producerade gasen. Biometan baserad på förgasning kan, beroende på tillverkning och uppgradering, innehålla en varierande stor andel väte. Syngas eller stadsgas kan innehålla så mycket som 60 % väte.

Väte kan vid kontakt med stål ge upphov till väteinducerad spänningskorrosion eller väteförsprödning, som äger rum när atomärt väte löser sig i järnet. Dissociationen av molekylärt väte till atomärt väte sker i liten grad alltid. Närvaro av vätesulfid påskyndar väteatomens inträngande i järnets struktur. Andra faror är reak-

---

<sup>15</sup> Personlig kommunikation, utskickad enkät

<sup>16</sup> Personlig kommunikation, Hans Kättström (Scandinavian GtS), 080902

<sup>17</sup> "...ovanstående nivå (är) ej tillräcklig för att garantera att utfällning av vatten inte sker i samband med den expansionskylning som uppstår då gasen strömmar från lagringstanken och genom fordonets bränslesystem. I kombination med låga temperaturer kan fritt vatten orsaka isproppar."

tioner mellan väte och svavel- och klorinnehållande ämnen som kan leda till bildning av svavel- och saltsyra, speciellt i närvaro av vatten (*GTI 2009*).

I motorer kan högre andelar väte leda till ökad risk för knackning i motorn, det vill säga gasen självantänder innan den kontrollerade tändningen har ägt rum (*Nelsson 2009*).

Mängden väte kan också påverka säkerhetsfrågor kring själva transporten av gasen när förbränningsegenskaper som tändningsenergi, flamutsträckning och antändningsgränser ändras (*Marcogaz 2006*).

Gränsvärden för väte i förhållande till dessa risker ligger mellan 0,1 – 2 % (vol) vad det gäller fordonsgasstandarder, medan standarder för inmatning på nätet ligger högre, 4-6 %. SoCalGas (2010) anger dock ett värde på 0,1 % . I EU-projektet Naturalhy har det visats att integriteten hos naturgasnätet (ledningarna och gasmätare) kan tåla inblandning upp till så mycket som 50 % vätgas, beroende på ståltyp och driftförhållanden (*Naturalhy 2009*). En dansk långtidsstudie på transmissionsledningarna av stål från 80-talet visar att ren vätgas kan transporteras utan förhöjd risk. Försöken med dubbelt höga tryckcykler beräknas motsvara en drifttid på 80 år (*Iskov 2010*). Begränsningarna ligger således i slutanvändningen av gasen, snarare än transporten av den<sup>18</sup>. I UNECE R110:s anvisningar för torr gas (mindre än 32 mg vatten/Nm<sup>3</sup>) tillåts så mycket som 2 % (vol.) väte i stålcyllindrar, medan det i våt gas (> 32 mg vatten/Nm<sup>3</sup>) är begränsat till 0,1 % (vol.).

### 3.4. SVAVEL

Total mängd svavel är summan av alla svavelinnehållande föreningar i gasen, och anges omräknad som mängd elementärt svavel. Svavel är korrosivt även i avsaknad av vatten. Vätesulfid är den svavelförening som dominerar i obehandlad biogas, och genereras från anaerob mikrobiell nerbrytning av sulfater och svavelinnehållande organiska föreningar, vilka förekommer i högre grad i produkter av animaliskt ursprung. Den näst vanligaste gruppen av svavelförening är merkaptaner, vilka också kan tillsättas för att uppnå tillräcklig odorisering av gasen (naturgasen ska vara luktbar vid 1 % halt i luft). De biogena merkaptanerna är ofta av lägre molekylvikt, såsom metylmerkaptan. Dessa kan vid halter högre än 1 ppmV märkbart sätta ner kvaliteten på odoriseringen (*GTI 2009*). I Sverige används samma odorant som i den danska naturgasen, THT (Tetrahydrotiofen, C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>S). För att uppnå fullgod odorisering tillsätts 15 mg/Nm<sup>3</sup>, vilket motsvarar en svavelhalt på 5,5<sup>19</sup> mg/Nm<sup>3</sup>. I ett produktblad från Stockholm Vatten uppges svavelhalten inklusive THT ligga på 4-7 mg/Nm<sup>3</sup>, och svavelhalten exklusive THT anges vanligtvis ligga på mindre än 0,5 mg/Nm<sup>3</sup> (*Stockholm Vatten 2007*).

---

<sup>18</sup> Med undantag för underjordiska gaslager, där halten väte kan vara en kritisk parameter. Minimering av vätehalterna är därför viktigare vid inmatning av uppgraderad biogas i de delar av gasnätet som står i kontakt med sådana gaslager, vilket inte är fallet om inmatningen sker i distributionsnätet.

<sup>19</sup>Naturgasfakta - Odorant

[http://www.naturgasfakta.dk/copy7\\_of\\_miljoekrav-til-energianlaeg/odorant](http://www.naturgasfakta.dk/copy7_of_miljoekrav-til-energianlaeg/odorant)

THT har en molvikt på 88 g/mol, elementärt svavel 32 g/mol, vilket ger 5,45 mg S/Nm<sup>3</sup> vid en THT-halt på 15 mg/Nm<sup>3</sup>;

Förutom ökad korrosionsrisk kan svavel också påverka efterbehandling, genom katalysatorförgiftning, som påverkar framför allt palladiums metanoxiderande förmåga. Svavelnivåer inte högre än 10-15 mg S/Nm<sup>3</sup> av odoranten THT kan i i mycket hög grad sätta ner omvandlingseffektiviteten i magermotorers oxidationskatalysatorer (Ly 2002). Det är den lägre temperaturen på avgaserna som gör gasdrivna magermotorer mer känsliga. Stökiometriska gasmotorer har högre avgas-temperatur, och kan med pulser av förhöjd temperatur i katalysatorn återställa katalysatorförmågan. Detta kan göras genom att låta motorstyrningen vid behov släppa igenom en puls av högre metanhalt i avgaserna (Ly 2002). Det är dock möjligt att katalysatorns åldring påskyndas oavsett denna regenerering (Broman et al 2010). En så låg halt som 1ppmM av svaveldioxid i avgaserna kan leda till inhiberande verkan (Ly 2002). Halter på ppb-nivå krävs i magermotorer enligt branschen<sup>20</sup>. Även motoroljan kan vara en källa för svaveldioxid i avgaserna, framför allt vid tomgång. Lampert och Farrauto (1997) tog fram data för hur mycket naturgasens svavelinnehåll respektive motoroljans bidrog till svavelhalten i avgaserna för en naturgasdriven magermotor, se tabell 3.1 på nästa sida. Av tabellen framgår det att maxhalten på 23 mg S/Nm<sup>3</sup> i SS 15 54 38 leder till inhiberande halter vid alla driftförhållanden, medan halten rapporterad av Stockholm Vatten torde leda till att eventuell inhibering endast inträffar vid tomgång. Användande av en mer lågsvavlig smörjolja skulle kunna minska katalysatorpåverkan ytterligare.

Utveckling av svavelfria odoranter har pågått länge. Den svavelfria blandningen S-FREE är kommersiellt tillgänglig och har testats med lyckat resultat i Tyskland men dras med nackdelen att den är allergiframkallande och potentiellt karcinogen. Lukten är dessutom okaraktäristisk och kräver informationskampanjer för att kunna användas. Ett annat alternativ till THT är merkaptanbaserade odoranter. De innehåller också svavel, men ger en tillfredsställande odorisering vid en lägre svavelhalt än THT. Användning av dessa har förekommit i Sverige<sup>21</sup>. Det finns inga formella hinder för att introducera alternativa odoranter i Sverige, eftersom myndigheterna inte reglerar vilken typ av odorant som ska användas för att uppnå luktdetektion (Norén och Thunell 2002).

### 3.5. AMMONIAK

Ammoniak är en giftig gas som i högre koncentrationer kan verka irriterande och frätande i luftvägarna. Begränsningen av ammoniak i biometan grundar sig dock på dess korrosivitet. Ammoniak är i sig själv inte speciellt korrosiv, men vid närvaro av syre kan till exempel kolstål och mässing angripas. Risken för spänningskorrosion ökar, men minskar om volymhalten av vatten är över 0,2 %. Korrosion med ammoniumklorid är snabb (Marcogaz 2006, Davies 2006). Ammoniak kan också bidra till nerbrytningen av odorant i naturgasnätet (GTI 2009).

Halten ammoniak regleras i flertalet länder (se tabell 2.1). I den schweiziska och den svenska standarden SS 15 54 38 är gränsen för kväveföreningar utöver kväve satt till 20 mg/m<sup>3</sup>, räknat som ammoniak (NH<sub>3</sub>), medan gränsen i Holland och

---

<sup>20</sup> Personlig kommunikation, Kenth Johansson (Saab Automobile Powertrain), 110221

<sup>21</sup> Personlig kommunikation, Håkan Eriksson (E.ON Biogas Sverige AB), 110303

Frankrike för inmatning av biometan på nätet är så lågt satt som 3 mg/m<sup>3</sup>. Normala renings- och uppgraderingsförfaranden torde effektivt ta bort ammoniak ner till mycket låga nivåer.

*Tabell 3.1. Andel av svavelhalt i avgaserna från naturgas och motorolja (0,4 % v/v) vid olika driftsförhållanden och svavelhalter för magermotorer (Lampert och Farrauto 1997). Antagen densitet på naturgas: 0,755 kg/Nm<sup>3</sup>.*

Ämne	Max S-nivå (ppmM)	Medel S-nivå (ppmM)
I CNG	30 (22,65 mg S/Nm <sup>3</sup> )	12 (9,06 mg S/Nm <sup>3</sup> )
I avgas vid tomgång:	2,6	1,6
CNG	1,7 (65 %)	0,7 (44 %)
Motorolja	0,9 (35 %)	0,9 (56 %)
I avgas vid marschfart:	1,3	0,6
CMG	1,2 (92 %)	0,5 (83 %)
Motorolja	0,1 (8 %)	0,1 (7 %)

### 3.6. SILOXANER

Siloxaner är en gasformig nedbrytningsprodukt från silikoninnehållande hushållsprodukter för till exempel hygien- och hälsovård, och från industriella produkter där silikon i gel- eller fast form används. Mängden av dessa produkter har ökat, så vid biologisk nerbrytning av avfall som till exempel avloppsvatten och avfall i deponier kan märkbara mängder bildas, vilka ansamlas i gasfasen. Mängder i rågas som rapporteras ligger på 10-400 mg/Nm<sup>3</sup>, med den högre delen av intervallet högst troligen mer sällan förekommande (Dewil et al 2006, Pierce och Wheless 2004, GTI 2009, GTI 2010, Xebec 2007). Andelen frigjord siloxan är lägre vid lägre processtemperatur. Vid termofil process med temperaturer högre än 50 °C är det därför mer viktigt att kontrollera siloxanförekomst. Termofil process tillämpas i 11 av 136 avloppsreningsverk med biogasproduktion, och i 8 av 21 samrötningsanläggningar (Statens energimyndighet 2010).

Vid förbränning av siloxaninnehållande gas faller mikrokristallin kiseldioxid ut, som vid de höga temperaturerna i motorer bränner fast på heta ytor. Samreaktion med andra föroreningar ändrar den annars för kvartsglas höga smältpunkten på 1720 °C, till exempel kan blandningar med svavel ge glas som smälter vid temperaturer lägre än 350 °C (Brady et al 2002). Hårdheten hos den glasliknande föroreningen ger ökad förslitning i motorns cylinderutrymme och försämrad funktion hos ventiler och tändstift. Kiselsanden ansamlas också i oljan, vilket leder till behov av mer frekventa oljebyten. Utfällningen kan också påverka funktionen negativt för turbinblad, katalytiska efterbehandlingssystem och gasbrännarmynningar. Förutom den rent fysiska påverkan av kiseldioxiden har den också en hög termisk och elektrisk isoleringsförmåga. För en mer omfattande beskrivning av problem se Xebec (2007) och Dewil et al (2006).



Tillverkare av stationära gasmotorer uppger maxgränser för siloxaninnehåll på mellan 5-28 mg/Nm<sup>3</sup>, medan gasturbinstillverkare har betydligt lägre gränsvärden på 0,03-0,1 mg/Nm<sup>3</sup>. Stationära gasmotorer får vid siloxanförekomst i gasen ökade underhållskostnader. Dessa är dock ofta inte höga nog för att införande av siloxanavskiljning ska vara kostnadseffektivt. Gasturbiner är mer känsliga och kan haverera om inte siloxanutfällningarna regelbundet avlägsnas från turbinbladen. Inaktivering av katalytisk rening av emissioner inom dagar och till och med timmar har rapporterats. Det ansågs troligt att orsaken var siloxaner (*Pierce och Wheelless 2004*). Driftsproblem är mer uttalade i otto-motorer än i dual-fuel-drivna dieselmotorer (*Dewil et al 2006*). Erfarenheterna av driftsproblem är dock mer kända i konventionellt drivna fordon. Även små mängder elementär kisel i bensin har visat sig ha stor påverkan, genom igensättning av lambdasond och deaktivering av katalysator<sup>22</sup>. Fordonsbranschens World Wide Fuel Charter sätter därför gränsvärdet för kisel till ej detekterbart. Detektionsgränsen uppges vara 1 mg/kg, vilket i biometan skulle motsvara ca 0,7 mg/Nm<sup>3</sup> (*WWFC 2006*). Fordonsbranschen uppger dock att även en så låg nivå ger upphov till driftsproblem<sup>23</sup>. Det är okänt hur kiselns form (siloxan i stället för elementärt kisel) eller typen av bränsle (låg molekylär gas i stället för högmolekylär vätska) påverkar reaktionsmekanismerna. Undersökningar visar att halterna av siloxaner efter uppgradering i regel ligger under detektionsgränsen<sup>24</sup> (*GTI 2009, GTI 2010*). Siloxaner har påvisats i rågaskondensat. Förekomst av dessa påverkar driften negativt, se enkätsvar avsnitt 4. Gasreningstillverkaren Xebec uppger att deras regenerativa reningssystem kan avskilja 95 % av alla siloxaner (*Xebec 2007*).

En maximal halt på 0,5-1 mg Si/Nm<sup>3</sup> är ett förslag på gränssättning som utan större problem bör kunna detekteras av de flesta laboratorier – en uppgraderingsleverantör uppger att detektionsgränsen ligger på 0,1 mg/Nm<sup>3</sup>, en nivå som också bekräftas av SP<sup>36</sup>. SoCalGas (*2010*) har satt sitt gränsvärde för siloxaner till denna (detektions)gräns. Holland har gränsen 5 ppm (6,2 mg Si/Nm<sup>3</sup>), men planerar en skärpning. Nivån i Österrike ligger på 10 mg/ Nm<sup>3</sup> för totalhalten siloxan, vilket kan motsvara 3,8<sup>25</sup> mg Si/ Nm<sup>3</sup>, beroende på halten kisel i förekommande siloxaner. Det slutliga valet av gränssättning i Sverige blir en avvägning mellan fordonstillverkarnas behov av ett driftsäkert bränsle och biometanproducenternas kostnader för kvalitetssäkringen vid uppgraderingen. En SGC-studie har under hösten 2010 startats som har som mål att validera provtagning och analys av siloxaner i biogas, se avsnitt 5.3. Högst nivåer i rågas hittades i avloppsreningens biogas, med halter på upp till 10 mg Si/Nm<sup>3</sup>. Eftersom siloxaner endast förekommer i märkbara mängder i gas från avloppsreningssystem och deponier torde krav på kvalitetskontroll kunna begränsa sig till dessa. Detta förfarande har föreslagits i Tjeckien (*Vorisek 2010*). I Tyskland utfärdas certifikat för källsubstratet

---

<sup>22</sup> Utdrag ur World Wide Fuel Charter: "...in several instances silicon has appeared in commercial gasolines, usually as a result of waste solvents containing silicon compounds being used as a gasoline-blending component after the fuel has left the refinery. Such contamination has significant adverse effects on emission control systems. Silicon, even in low concentrations, can cause failure of oxygen sensors and high levels of deposits in engines and catalytic converters."

<sup>23</sup> Personlig kommunikation, Daniel Danielsson (AVL) 110228

<sup>24</sup> 0,5 ppmV Si, motsvarande 0,62 mg Si/Nm<sup>3</sup>

<sup>25</sup> Räknat på siloxanen kallad D4 (oktametylcyclotetrasiloxan), vars molvikt på 296 g/mol till 38 % består av kisel.

för att undvika onödiga gasanalyser (*Huguen och Le Saux 2010*). I de flesta fall, oavsett källa, lär siloxanhalten i uppgraderad biogas inte vara detekterbar. Vid framtagandet 1999 av den svenska standarden diskuterades siloxaner. Den låga maximala nivån för inertgaser såsom kväve valdes för att utesluta deponier som källa för fordonsgas. Torkning av gasen bedömdes som tillräcklig för att fälla ut den siloxan som förekommer i biogas från reningsverk.

En enkel räkneövning visar vikten av att hålla nere siloxanhalten i direkt använd uppgraderad biogas. Om halten ligger på  $10 \text{ mg Si/Nm}^3$ , så ansamlas det teoretiskt sett 30 g kiseldioxid i en bil som kör 2 000 mil på ett år med en medelförbrukning på  $0,7 \text{ Nm}^3/\text{mil}^{26}$ .

### 3.7. HALOGENERADE KOLVÄTEN

Klorerade och fluorerade kolväten förekommer framför allt i deponigas. Naturgas innehåller normalt inte denna typ av kolväten, vilket gör att erfarenheten av deras påverkan vid gasanvändning är begränsad. Polman (2007) rapporterar att typiska värden i deponigas ligger mellan 1-10 och 1-5  $\text{mg/Nm}^3$  för klorerade respektive fluorerade kolväten, som efter uppgradering minskar till 1-3 och 1-2  $\text{mg/Nm}^3$ . Motsvarande värden för biogas från avloppsreningsverksslam ligger under 1  $\text{mg/Nm}^3$ . Halter av klorerade och fluorerade kolväten i av GTI analyserade prover ifrån fyra deponiers uppgraderade biogas ligger på värden 3-4 tiopotenser lägre än antagna gränsvärden i luft (*GTI 2010*).

Om klor- och fluorföreningar ombildas till motsvarande syror, saltsyra (HCl) och fluorvätesyra (HF), ökar risken för korrosion i gasledningen. Som nämndes i avsnitt 3.3 kan saltsyra bildas när väte, speciellt i närvaro av vatten, reagerar med klorföreningar.

Vid ogynnsamma förbränningsförhållanden (ofullständig förbränning vid för låg temperatur), och i närvaro av katalytiska mängder av koppar, kan halogenerade kolväten omformas till cancerframkallande dioxiner och furaner. Det är troligt att det vid gasdrift i fordon kan förekomma sådana ogynnsamma förbränningsförhållanden, om än bara vid enstaka driftsfall eller i dåligt underhållna fordon. Det är möjligt att partikelhalten i avgaserna kan öka bildningsgraden av dioxiner/furaner, eftersom det rapporterats ett samband mellan dioxinbildning och flygaska i förbränningsanläggningar. Högre partikelhalter är mer aktuellt i metandieseldrivna tunga fordon. I ett väl fungerande fordon bör dock halterna av alla typer av kolväten minskas i katalysatorn, med högre nedbrytningsgrad för mer reaktiva kolväten. Inget direkt samband mellan halt av halogenföreningar och bildad mängd dioxin har kunnat påvisas, och inga gränsvärden finns satta i avsikt att begränsa dioxinbildning. För mer information se CEN (2010), Chlorophiles (1996), GTI (2010), Huguen (2010), Marcogaz (2006) och Polman (2007).

Med tanke på risken för bildning av korrosiva syror och dioxiner vid förbränning är det troligen mer viktigt att säkerställa att direkt använd förnybar fordonsgas inte innehåller klor- och fluorföreningar, medan riskerna minskar med graden av utspädning vid distribution via inmatning på gasnätet. Precis som i fallet med silox-

---

<sup>26</sup> Molvikt för kisel 28 g/mol; Molvikt för kiseldioxid 60 g/mol ger  $21,4 \text{ mg SiO}_2/\text{Nm}^3$ ; Årsförbrukning  $1400 \text{ Nm}^3$  ger 30 g  $\text{SiO}_2$ .

aner torde krav på kvalitetskontroll kunna begränsas till viss substratkälla, i det här fallet deponigas, eftersom litteraturen indikerar att halterna ifrån andra källor är försumbara. Detta förfarande har föreslagits i Tjeckien (Vorisek 2010). Resultaten från GTI (2010) gör det troligt att normal förbehandling och uppgradering av biogas har förmåga att avskilja merparten av de halogenerade kolvätena. De något högre nivåerna rapporterade av Polman (2007) kan bero på den lägre uppgraderingsgraden i Holland (L-gas, motsvarande 86 % metan). Tyskland och Österrike anger att halogener i form av klor och fluor inte får vara detekterbara; Tjeckien anger en gräns på 1,5 mg (F+Cl)/Nm<sup>3</sup>. SoCalGas (2010) anger ett mycket strikt gränsvärde på 0,1 ppmV, motsvarande 0,16 mg Cl/Nm<sup>3</sup>. Maximal gräns för totalhalt klor och fluor regleras av Frankrike-Belgien och Holland, med värden på 1 respektive 50 mg/Nm<sup>3</sup> för klor och 10 respektive 25 mg/Nm<sup>3</sup> för fluor. Holland har dessutom satt ett gränsvärde för saltsyra på 1 ppm. Holland planerar att skärpa kravet för halogener till ej detekterbart (CEN 2010). Införandet av ett specifikt gränsvärde för totalhalt halogenerade kolväten vore svårt att övervaka, eftersom det troligen i dagsläget inte finns någon validerad, praktiskt användbar testmetod för detta. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut meddelar<sup>27</sup> att de tror sig ha tagit fram en praktiskt fungerande analysmetod, se avsnitt 5.3 för detaljer. I dagsläget är dataunderlaget inte tillräckligt stort för att kunna validera metoden. Inte heller standardiserade metoder för bestämning av totalhalt klor och fluor finns.

### 3.8. MIKROORGANISMER

Mikroorganismer (MO) förekommer överallt, även i naturgas och biogas. De potentiella riskerna associerade med MO gäller dels människors hälsa, dels risken för en ökning av mikrobiellt inducerad korrosion i naturgasnätet.

De korrosionsinducerande MO som anses vara mest aggressiva är sulfatreducerande bakterier (SRB), syraproducerande bakterier (APB) och järnoxiderande bakterier (IOB). När GTI (2010) analyserade 6 prover från 3 naturgasledningar, 16 biometanprover från 3 deponier, ett råbiogasprov från en deponi och 4 biometanprov från ett avloppsreningsverk fann de att APB hade högst halt och var vanligast förekommande av de korrosionsinducerande MO, och halterna var högre i naturgasproverna. IOB förekom i alla typer av prover, medan ASB endast förekom i biometanproverna från en av deponierna.

Det är troligt att eventuellt ökad risk för mikrobiell korrosion i naturgasledningar vid inmatning av biogas kan hållas under kontroll genom regelbundet underhåll och inspektion av ledningarna och genom att hålla gasen tillräckligt torr. Ytterligare säkerhet uppnås genom att filtrera den inmatade biogasen. Vid direkt användning av den uppgraderade biogasen som fordonsbränsle så har dessutom de upprepade temperaturhöjningarna på upp emot 100 °C under kompressionsstegen troligen en tämligen stor reducerande effekt på MO i gasen (Vinnerås 2005). Inmatning av uppgraderad biogas har ägt rum i Sverige sedan 2000 på vissa delar av distributionsnätet (4 bar). Inga problem med avseende på korrosion eller ökat underhåll som kan härledas till detta har framkommit under denna tid. Distributionsnätet är dock till mycket liten del lagt med stålrör, utan domineras av PE-rör.

---

<sup>27</sup> Personlig kommunikation, Karine Arrhenius, SP, 101022

Vinnerås et al (2005, 2006) fann att typerna av och halten av levande MO ( $10\text{-}100\text{ cfu/Nm}^3$ )<sup>28</sup> var likartade i de analyserade proverna av biogas och naturgas. Inga sant patogena MO kunde identifieras, men ett antal opportuna patogener återfanns. Förekomsten av tarmbakterier kunde hänföras till användandet av renat avloppsvatten i processen. Nivån av mänskliga virus bedömdes som mycket låg, grundat på att halten av bakteriellt virus var mycket låg (endast detekterbar i lakvattnet, estimerad halt i gas beräknad till 1 bakteriofag/ $10\ 000\text{ Nm}^3$ ). I tillägg är sannolikheten för tillväxt i gasledningarna låg eftersom de håller marktemperatur.

GTI (2010) återfann levande MO i 5 av de 6 naturgasproverna, men endast i 5 av de 17 deponiproverna. Alla prover från reningsverket innehöll levande MO. Jämfört med Vinnerås (2005) låg halterna aningen högre i biometanproven ( $10^2\text{-}10^3\text{ cfu/Nm}^3$ ) och generellt högre i naturgasproven ( $10^2\text{-}10^5\text{ cfu/Nm}^3$ ). Sporer detekterades i flera biometanprover, men bara i ett av naturgasproven. Bland identifierade MO i biometan återfanns bakteriestammar associerade med den mänskliga kroppen, till exempel *Streptococcus salivarius* och *Staphylococcus epidermis*. Resultaten för uppgraderad biogas från kogödsel i GTI (2009) uppvisade halter av levande MO som i biometanproven var likartade Vinnerås (2005) resultat<sup>29</sup>. Levande sporer hittades i 4 av 22 prover (medel: 283 sporer/ $\text{Nm}^3$ ). Resultaten indikerade att uppgraderingen inte hade en minskande effekt på antalet sporer. En preliminär screening genom Genbank-testning av sporer visade att en majoritet av de sporformande bakterierna var *B. licheniformis*, *B. pumilus*, och ett antal andra *Bacillus*-arter och *Paenibacillus*-arter. En begränsad fallstudie indikerar att levande MO kan begränsas till under detektionsnivån genom att använda finmaskiga filter på 0,2-1  $\mu\text{m}$ . Sporborttagning testades inte.

Vad det gäller riskerna associerade med patogena MO, så visar litteraturen att underlaget inte är tillräckligt i dagsläget för att fullständigt kunna kvantifiera riskerna. Faktum är att detta även gäller naturgas. I vissa europeiska länder har slutsatsen blivit att avvakta tills ett sådant underlag har kunnat tas fram, som till exempel i Frankrike, där inmatning av biogas från avloppsreningsverk inte är tillåtet i dagsläget på grund av bristande dataunderlag. Biogas från övriga substrat har bedömts inte bidra till hälsoriskerna som naturgas i sig själv utgör, framför allt på grund av utspädningseffekten och den ringa mängden gas tredje man kan utsättas för (AFSSET 2008). I Sverige är bedömningen en annan, och man har inga begränsningar införda, så länge SS 15 54 38 upprätthålls. Inga rapporter finns som visar att människor blivit sjuka genom att ha exponerats för uppgraderad biogas. Det är möjligt att rekommendationen i SS 15 54 38 att installera ett filter med nominell maskstorlek på högst 1  $\mu\text{m}$  för att ta bort olje- och smutspartiklar har påverkat detta.

Alla källor är överens om att riskerna med biogas ligger i osäkerheten som är associerad med de stora variationerna av MO i substratkällorna, vilka också kan variera i samma källa över tid, till exempel som följd av ej upptäckt smitta hos boskap som överförs till gödslet, till exempel *Mycobacterium paratuberculosis*. Andra patogener som kan återfinnas är mul- och klövsjuka, tarmbakterier (inklu-

---

<sup>28</sup> cfu = colony forming unit, det vill säga antalet MO som gett upphov till tillväxt på en odlingsplatta

<sup>29</sup> 7 prover uppvisade levande aeroba MO (medel: 225 CFU/ $\text{Nm}^3$ ) och 10 prover uppvisade levande anaeroba MO (medel: 94 CFU/ $\text{Nm}^3$ ) av totalt 22 prov. Omvandlingsfaktor:  $100\text{ scf}=2,685\text{ Nm}^3$ .

sive *Escherichia coli* och *Salmonella*), *Campylobacter*, sporbildande patogena bakterier och *Cryptosporidium* och *Giardia* (*Bisschops och van Eekert 2008*). Vinnerås et al (*2005, 2006*) menar dock att risken för att sådana patogener ska nå tillräckligt höga exponeringshalter innan den når slutkonsumenten är låg. Bara en mindre del av substratets MO överförs till gasen, och den fortsatta behandlingen (uppgradering, torkning, komprimering, filtrering) minskar halten ytterligare. Substrat med känt innehåll av patogener kan steriliseras genom pastörisering (70 °C, 1h), vilket redan är brukligt för flera olika substratkällor. I system som tillämpar pastörisering på allt ingående substrat är det endast ympen som kan vara källa till patogener. Slutligen är det mycket små mängder gas (ca 5 cm<sup>3</sup> gas vid tankning och vid tändning av ej självtändande gasspisar) som slutkonsumenten kan utsättas för. En så pass stor mängd gas måste intas att troligen brand- och kvävningensrisken överskuggar infektionsrisken. De egentliga riskerna ligger i hanteringen av rötresten och kondensvattnet (10<sup>5</sup> cfu/ml), men detta görs av en begränsad grupp som arbetar med processen och som kan utbildas för att minimera riskerna.

Den åtgärd som verkar mest trolig att reglera i en kommande standard är användandet av filter. Vinnerås (*2005*) menar att ett filter på 1 µm är tillräckligt för att uppnå god avskiljning av merparten bakterier (vanligen >1 µm), svampar (vanligen >2 µm) och andra större mikroorganismer. Sporbildande bakterier och virus minskas också i mängd, eftersom de ofta förekommer i aggregat med andra MO, vatten och smutspartiklar. Att använda ett finare filter kan övervägas, men måste vägas mot nackdelen med ett större tryckfall över filtret. GTI (*2009*) rekommenderar att filter på mellan 0,2-0,3 µm används för att förhindra överföring av korrosionsinducerande MO om gasnätet nedströms bedöms vara känsligt för mikrobiellt inducerad korrosion. I dagsläget är det bara SoCalGas (*2010*) och Holland som reglerar halten mikroorganismer. Hollands anvisning kräver att HEPA-filter används<sup>30</sup>. I USA sker analys genom att samla partiklar på ett 0,2 µm filter. Publikationen redovisar inte tydligt vad det är som krävs, men det verkar vara krav på att inga levande mikroorganismer får finnas i gasen.

### 3.9. ÖVRIGA SPÅRÄMNINGEN

Det finns en rad andra flyktiga och semiflyktiga organiska föreningar som kan förekomma i biogas från röttningsprocesser, med störst variation och störst halter i deponigas.

Halten av aromatiska kolväten (här även inkluderat BTX, det vill säga bensen, toluen och xylen) och högre kolväten ligger enligt Polman (*2007*) i intervallet 10-100 ppm för deponigas och 10-20 ppm för biogas från avloppsreningsverksslam och gödsel. Uppgradering tar ner halterna markant, och ligger som högst aldrig högre än de nivåer som förekommer i naturgas.

Fosfiner (PH<sub>3</sub>) rapporteras förekomma i gödsel och deponigas. För gödsel är det framför allt grisgödsel som sägs ge upphov till fosfiner, vilket har visats vara på

---

<sup>30</sup> HEPA filter består av mattor av slumpmässigt ihopvävda fibrer (ofta glasfiber, 0,5-2,0 µm i diameter).. Luftspalten mellan fibrer är mycket större än 0,3 µm, men mycket mindre partiklar kan avskiljas, vilket sker genom en av tre mekanismer: uppfångande, sammanstötande eller diffusion. <http://en.wikipedia.org/wiki/HEPA>

grund av källor i fodret. Källan till fosfiner är inte biogen, utan sker genom nerbrytning av matrisen som binder fosfin eller fosforföreningar som i syrefri sur miljö ombildas abiotiskt till fosfin. Fosfor bundet i metall är ett typexempel. Roels och Verstraete (2004) beräknade att den detekterade nivån på 3-30  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  i en deponis utsugna biogas motsvarades av fosfin frigjort vid korrosion av deponerad metall. Rötning rapporteras snarare leda till en minskning av den totala mängden fosfin i det behandlade materialet (Eismann et al 1997).

Vätecyanid regleras i Hollands anvisning för inmatning av biogas på gasnätet. Polman (2007) uppger att vätecyanid kan förekomma i deponigas, men inte utgör någon nämnvärd risk eftersom den så effektivt avskiljs vid uppgraderingen.

Om gränsvärden för siloxaner och totalhalt klor och fluor upprätthålls är det mycket troligt att övriga organiska föreningar avskiljs i samma grad. Exempel på sådana som inte omnämnts är pesticider, ftalater, aldehyder och ketoner (GTI 2010). Om de höga kraven i Sverige på avskiljning av inerter kvarstår är det föga troligt att någon annan teknik än kryogen kommer att väljas för uppgradering av deponigas. Denna teknik har en mycket bra avskiljningsgrad för alla spårämnen.

Med tanke på den blandade källan, framförallt med avseende på äldre deponier, föreligger det en risk för förekomst i deponigas av tungmetaller och andra metaller i gas- eller stoftform. Även här är dock avskiljningsgraden vid normal förbehandling och uppgradering mycket hög, vilket ger en mycket liten risk för att sådana ämnen ska förekomma i gasen i skadliga mängder. GTI (2010) rapporterar detekterbar nivå av kvicksilver ( $> 0,02 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) på en av tre testade deponier, och det bara vid ett av tre provtillfällen. Medlet för de två proven var  $0,21 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Gränser för tungmetaller vid inmatning av biogas på gasnätet har satts i Frankrike-Belgien ( $\text{Hg} < 1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) och Tyskland och Schweiz (alla tungmetaller  $< 5 \text{mg}/\text{Nm}^3$ ) (CEN 2010, HSE 2010). SoCalGas (2010) ligger på  $0,01 \text{Hg} \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  och  $0,01 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  för övriga flyktiga metaller.

### 3.10. OLJA

Till skillnad från övriga spårämnen som behandlats tidigare, härrör oljan i gasen inte ifrån biogasen, utan är en förorening som uppkommer vid komprimering av fordonsgas när en mindre mängd smörjolja eller hydraulolja följer med gasen. Oljan som följer med fordonsgasen finns dels i form av aerosoler som uppkommer genom skjuvning, dels i form av oljedimma (ånga) som uppkommer på grund av temperaturhöjningen under kompressionen. Vid höga tryck kan även oljan lösa sig i fordonsgasen. Efter kompressorns efterkylare har oljeaerosolerna i den komprimerade fordonsgasen vanligtvis en storlek på 0,01 till 0,8  $\mu\text{m}$ . Det har konstaterats att stora mängder olja kan ge driftsproblem genom igensättning i exempelvis tryckregulatorer och gasinjektorer i fordonens bränslesystem. Ansamling i bränsletankar är ett annat problem som har rapporterats förekomma. Samtidigt är fordonsgas ett torrt bränsle, och den meddragna oljan kan genom sin smörjande effekt minska förslitningen i vissa typer av motordelar. Samtidigt anses oljan som förbränns vara den största källan till partikelutsläpp från gasmotorer (Clementsson och Held 2007).

Ingen standardisering anger i dagsläget en maximal eller minimal nivå för oljeinnehållet. Flera standarder diskuterar dock behovet av att kontrollera och begränsa

oljemängden. I den svenska standarden står det ”Smörjoljeläckage från kompressorer eller annan utrustning skall regelbundet kontrolleras. För att undvika problem med smörjoljeläckage installeras oljeavskiljningsfilter (t.ex. molekylsikt) nedströms utrustning som kan avge olja.” I Clementsson och Held (2007) anges att för oljesmord kompressor behövs minst två högeffektiva coalescingfilter i serie som avskiljer oljan i aerosolform, ett placerat tätt intill kompressorns utlopp för att fånga den nyss genererade aerosolen innan den kan övergå i ångform, och ett filter nedströms så tätt inpå gaslagret som möjligt, för att låta nedkyllningen av gasen leda till att så mycket som möjligt av oljeången hinner övergå i aerosolform. Med syntetisk olja av polyglykoltyp kan detta förfarande vara tillräckligt, medan mineraloljors högre förångningsbenägenhet bör motverkas genom att lägga till ett avslutande adsorptionsfilter. Den tyska standarden DIN 51624 hade inför revisionen 2008 som ambition att kvantitativt reglera olja, men var tvungen att ge upp den ambitionen på grund av bristen på validerade provtagnings- och analysmetoder. I utkastet diskuterades dock en maximal nivå på 5-50 ppmM. I utkastet till den aldrig genomförda revideringen av SAE J1616 från 2004 rekommenderades ett oljeinnehåll på 10-80 ppmM, för att undvika ökad förslitning i vissa typer av bränsleinjektorer. I ISO/TR 15403-2 anges att erfarenheter från fordonstillverkare indikerar nivåer på 70-200 ppmV som lämpligt. Biltillverkare som uppger krav anger önskade nivåer på 5-10 ppmM, Kravet från Volvo Cars på 8 ppmM grundar sig på storleken på bilens interna coalescingfilter och rekommenderade serviceintervall (Clementsson och Held 2007). I UNECE R110 rekommenderas en miniminivå av olja på 1 mg/Nm<sup>3</sup> i fall gasen är våt (> 32 mg vatten/Nm<sup>3</sup>), för att minska risken för korrosion.

Tyska DVGW har under 2010 tagit fram och validerat en filtreringsmetod som kan bestämma aerosoldelen av oljeinnehållet i gas – denna har tagits med i den senaste revisionen av den tyska nationella standarden G 264 “CNG - Sampling and analysis”. Fullständig analys av oljeinnehållet kräver dock att den gasformiga delen av oljeinnehållet också bestäms. DVGW har en kromatografisk metod för denna del, och arbetar på optimeringen av sin provtagningsmetodik. Vid förfrågan i december 2010 visade det sig dock att arbetet inte gick framåt för tillfället, på grund av prioritering av andra arbetsuppgifter<sup>31</sup>. Svårigheten ligger i att ta ett representativt prov. Vanlig provtagning av CNG inbegriper trycksänkning, vilket förändrar oljans fördelning mellan aerosol- och ångfas, så att risk finns för att en del av oljan faller ut innan mätpunkten, så att den totala oljehalten underskattas. SP i Sverige har tagit fram ett projektförslag med provtagning vid högt tryck där tre olika analytiska metoder för att bestämma den totala oljehalten och möjligen även vattenhalten skulle kunna undersökas/valideras<sup>32</sup>. En utvidgning av projektförslaget planeras genom användning av mobil mätutrustning (se avsnitt 5.3, Siloxaner) och också provtagning vid lågt tryck.

---

<sup>31</sup> Personlig kommunikation, Frank Graf DVGW 100421, 101214

<sup>32</sup> ”Utvärdering av olika mätmetoder för att bestämma halten olja i naturgas och biogas.” SP projektförslag 090914

## 4. RESULTAT FRÅN ENKÄT

En enkät skickades ut för att bättre lära känna branschaktörernas erfarenheter av reglerade och oreglerade spårämnen påverkan. Frågor ställdes också om hur en ny standard bör utformas.

Enkäten skickades ut till biogasproducenter, fordonsgasdistributörer, uppgraderingsleverantörer och fordonstillverkare. Inga svar inkom från fordonstillverkare. Flest och mest omfattande svar inkom från distributörer (10 av 16, svar från alla de 4 största aktörerna) och uppgraderingsleverantörer (5 av 5 svarade). Svaren från biogasproducenter (8 av 30) innehöll mycket litet information och ställningstaganden, eller så svarade de i sin kapacitet av att även vara distributörer. 4 producenter meddelade att de torkar gasen mer än vad standarden kräver (-65 till -85 °C vid 4 bar).

Sammanfattningsvis gav enkäten följande information:

- Fordonsgasdistributörer ser ett stort behov av en kvantitativ reglering av oljeinnehåll i den komprimerade gasen. Ingen distributör uppgav observationer av påverkan från andra oreglerade spårämnen
- Vissa fordonsgasdistributörer och uppgraderingstillverkare förordar för vatteninnehåll en standardisering av dagens praxis med markant lägre nivåer för att säkra körbarheten
- Driftsproblem som troligen beror av oreglerade spårämnen har observerats av uppgraderingsleverantörer. Exempel är sämre vätningssegenskaper hos processvattnet och nedsatt effektivitet hos torkmaterial på grund av adsorption av lågflyktiga kolväten. Förekomst av oljiga filmer i gaskondensatet rapporteras från en uppgraderingsleverantör och från uppgraderingsanläggningen på Island. Analys på leverantörens anläggning visade på förekomst av långkedjade raka och grenade kolväten. Dessutom detekterades terpener och cykliska siloxaner. En uppgraderingsleverantör uppgav sig ha sett vita fällningar av troligen kiseldioxid i en bilmotor (en representant för en fordonstillverkare uppgav att de sett vita fällningar på spridarspetsarna i fordon som körts på biogas). Samma uppgraderingsleverantör kunde också visa bilder där vita utfällningar hade ansamlats i bärarmaterialet för den katalytiska förbränningen av uppgraderingens restgas
- Uppgraderingsleverantörerna har i många fall egna garantier för nu ej reglerade spårämnen – inga nivåer uppgavs dock i de inkomna svaren
- Utformning av ny standard, flytande metan: Flertalet aktörer menar att det vore fördelaktigt att inkorporera behandlingen av flytande metan i den nya standarden. Ett frågetecken är huruvida skillnader som mer beror på den fysikaliska formen, till exempel med krav på väsentligt lägre halt av koldioxid, där maximalt acceptabel nivå inte är fastställd i dagsläget
- Utformning av ny standard, inmatning av uppgraderad biogas på naturgasnätet: Vissa aktörer, merparten uppgraderingsleverantörer, anser att det



vore en god idé att ta med detta som en egen kravtyp i en reviderad standard. En stor andel av aktörerna som svarar har ingen åsikt. Speciellt distributörer ser inget stort behov av reglering av detta, utan ser standarden som ett kontrollverktyg för att reglera gränssnittet mellan leverantör och kund. Ett par aktörer hänvisar till det faktum att specifikationer finns för naturgas både nationellt och på Europeanivå, med avseende på värmevärde och gaskvalitet, och att de borde tillämpas i första hand

- Utformning av ny standard, biometan från termisk förgasning: Flertalet av de som svarar avstår från att ha någon åsikt. De som svarar menar att det viktiga är att denna förnybara metan måste kunna levereras med samma kvalitet som metan baserad på rötning
- Utformning av ny standard, lägre och mer variabel metanhalt tillåten på lokal nivå: Merparten av de aktörer som svarar är negativt inställda. En större och en mindre aktör ser det som mycket intressant. Några hänvisar till att det är upp till fordonstillverkarna att svara på detta. Samtidigt svarar en aktör i samband med inmatning att specifikationen på europeisk nivå, där värmevärdet tillåts inom ett tämligen brett intervall, borde gälla. Peter Boisen är också av åsikten att reglering av värmevärdet är irrelevant, eftersom all gas måste följa specifikationen för naturgas (personlig kommunikation)
- Övrigt: Önskemål om att också specificera gasens tillåtna densitetsintervall; önskan om att dra bättre fördel av befintliga specifikationer på internationell nivå, och att göra det så enkelt som möjligt med så få kategorier och olika standarder som möjligt; viktigt att inte krav ställs som ger orimligt ökade kostnader för kvalitetskontroll

## 5. OMFATTNING AV OCH VILLKOR FÖR DEN FRAMTIDA REGLERINGEN AV KRAV PÅ BIOMETAN AV FORDONSGASKVALITET I SVERIGE

I det följande avsnittet behandlas omfattning av och villkor för den kommande regleringen av krav på biometan av fordonsgaskvalitet i Sverige. Diskussionen tar upp vad standarden bör omfatta för typer av biogas. En sammanfattning och allmän diskussion kring de i avsnitt 3 föreslagna kravnivåerna för olika spårämnen och hur de ska övervakas görs också, med avseende på kvalitetskontroll och brister vad det gäller tillgång till validerade analysmetoder. **Arbetsgruppen** understryker att detta beslutsunderlag, med undantag för olja, endast söker att vara heltäckande vad gäller spårämnen i biometan av fordonsgaskvalitet. Fokus på biometan utesluter inte att den kommande revisionen även omsluter fordonsgas av fossilt ursprung.

Hittills har intentionen varit att göra en revision inom SIS ramverk för den befintliga standarden från 1999, SS 15 54 38 ”Motorbränslen - Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer”. I och med EU-kommissionens utfärdande av mandat M/475 (se avsnitt 2.3) så måste denna revision nu ske med något annorlunda förutsättningar, eftersom medlemsstaterna är skyldiga att ”... säkerställa att deras standardiseringsorgan då en europeisk standard (...) utarbetas eller sedan den godkänts inte vidtar några åtgärder som kan negativt påverka den eftersträvade harmoniseringen och framför allt att de inte inom det aktuella området offentliggör en ny eller reviderad nationell standard som inte helt stämmer överens med en befintlig europeisk standard”<sup>33</sup> (EC 2010, EG 1998). I korthet betyder det att om en svensk reviderad standard kan uppfattas motarbeta eller väsentligen skilja sig från den kommande europeiska standardiseringens innehåll eller intentioner så är det ett brott mot det citerade EU-direktivet. I vilken grad en nationell standard som tas fram under den så kallade stilleståndsperioden<sup>34</sup> kan skilja sig från den kommande europeiska utan att uppfattas som att den bryter mot EU:s direktiv är svårbedömt. I tillägg måste också arbetet med revisionen slutföras innan införandet av den europeiska standarden, för att den ska kunna antas som nationell standard.

Det är troligt att någon form av inledande paragraf i den reviderade standarden kan vara nödvändig, vars syfte är att upplysa om att standarden endast tas fram i väntan på den europeiska standarden, och att dess innehåll är sådant att det i så hög grad som möjligt harmoniserar med den kommande europeiska standardens intentioner. I Belgien, där man är i färd med att anta en ny anvisning för inmatning av biometan på naturgasnätet, har man gjort på det viset<sup>35</sup>.

---

<sup>33</sup> Direktiv 98/34/EG, artikel 7.1

<sup>34</sup> M/475: ”The standstill period referred to in Article 7 of Directive 98/34/EC of 22 June 1998 will commence on acceptance of standardisation mandate by CEN.”

<sup>35</sup> Översatt från det franska originalet, personlig kommunikation Christian Moenaert (Synerggrid), 101216 : “Awaiting the harmonization at European level, this recommendation is to meet the de-

## 5.1. OLIKA TYPER OCH FORMER AV BIOGAS

Biogas använd för fordonsdrift hanteras på olika sätt på dagens marknad. Förutom direkt använd som fordonsgas kan gasen nu också transporteras och säljas via inmatning på naturgasnätet. Kryogen uppgradering kommer att göra det möjligt att frakta fordonsgas i flytande form i isolerade vakuumbankar vid  $-130\text{ °C}$  eller lägre, beroende på tryck. Framtida projekt för termisk förgasning av biomassa och vidare metanisering av den resulterande syntesgasen kommer att göra det möjligt att framställa fordonsgas ur träflis och andra cellulosa-rika restprodukter. Önskemål har framkommit att på något sätt förena dessa olika typer och former av förnybar metan i en och samma standard/anvisning. Nedan diskuteras förutsättningarna för detta.

**Arbetsgruppens** förslag är dock att det varken är nödvändigt eller praktiskt att utforma den reviderade standarden på det sättet, utan den del av den reviderade standardiseringen som rör förnybar fordonsgas bör endast specificera krav med avseende på uppgraderad biogas från rötningsprocesser som används direkt som fordonsgas. Övriga behov kan tas med som information i standarden, eller tillfredsställas genom nytillkommande standarder på Europainivå eller genom avtal på företagsnivå. En detaljerad diskussion förs under varje delavsnitt nedan.

### 5.1.1. REGLERING AV METANHALTSNIVÅ

I SS 15 54 38 regleras endast biogas använd direkt för fordon, i form av två typer av biogas – en vardera för fordon utan eller med lambda-reglering, typ A respektive B, där typ A har ett snävare intervall på  $\pm 1\%$  -enhet runt börvärdet  $97\%$  metan, i motsats till typ B med  $\pm 2\%$ . Det har under utvärderingen inte framkommit något behov av att behålla typ A, eftersom sådana fordon inte förekommer längre i den utsträckning som var fallet på 90-talet. Merparten av dagens fordon kör utan problem på allt från förnybar fordonsgas med  $95\%$  metan ( $9,47\text{ kWh/Nm}^3$ ) upp till fordonsgas bestående av ren dansk naturgas ( $11,05\text{ kWh/Nm}^3$ ). En övre gräns för förnybar metan är därför inte nödvändig längre, åtminstone med avseende på fordonsgas som görs tillgänglig på publika tankställen.

Ett litet men potentiellt växande intresse finns för att tillåta en fordonsgastyp som tillåter en lägre metanhalt. Behovet finns inom lantbruket och hos vissa mindre distributörer, som skulle vilja ha möjligheten att minska metanhalten för att optimera sin uppgraderingsprocess. Ekonomin för mer småskalig uppgradering ( $10\text{--}50\text{ m}^3/\text{h}$ ) är lättare att få i hamn om metanhalten tillåts gå lägre. Rörande gaskvaliteten skulle den enda skillnaden vara att en högre andel koldioxid och kväve tilläts vara kvar i gasen, på bekostnad av värmeverdets, i övrigt bör alla andra kvalitetskrav kvarstå. Uppgraderad deponigas kan uteslutas från denna fordonsgastyp om så önskas genom att stipulera ett specifikt, lägre värde för den maximala kvävehalten. **Arbetsgruppen** föreslår att denna typ av gas inte skulle få säljas fritt på

---

mand for safe injection of biomethane into the natural gas network. This recommendation does not in any way prejudice the harmonization, but wants, in a waiting of the results of the standardization mandate to CEN, to create conditions that make the injection of biomethane into the distribution and transport in Belgium possible. This document will in the future be adapted to meet the coming publications of standards or draft European standards (see 98/34/EG Directive of the European Parliament and Council of 22 June 1998 laying down a procedure in standards and technical regulations).”

publika tankstationer. På så vis skulle energitätheten i den allmänt distribuerade förnybara fordonsgasen inte sänkas jämfört med den nuvarande standarden, vilket är viktigt med tanke på branschens omsorg om en bibehållet maximerad räckvidd för den vanliga kunden. Att inte bestrida förekomsten av fordonsgas med en lägre och mer variabel metanhalt skulle också harmonisera bättre med de befintliga och kommande specifikationerna för naturgas. Kommissionens mandat 475 stipulerar att den kommande europeiska naturgasspecifikationen som det arbetas på enligt kommissionens tidigare mandat (M/400) bestämmer vilket intervall som gäller för värmevärdet, medan standarden för biogas endast får reglera ämnen som är unika för förnybar metan (EC 2010, EC 2007)<sup>36</sup>.

**Arbetsgruppen** föreslår att fordonsgas såld på publika tankställen har en minimihalt av metan på 95 %. I en fotnot skulle det kunna informeras om att gas distribuerad via ej publika tankställen bör hålla en metanhalt på minst 86 %, samma som för referensbränslet G25. När fordonet testats på denna gas med godkända emissioner så kan det certifieras för att köra på naturgas som tillhör gruppen med lägre värmevärde, så kallad L-gas (se UNECE R83, avsnitt 2.1.4). I en ytterligare fotnot skulle det kunna noteras att det är tekniskt möjligt med motorinställning av fordon för lägre metanhalter, men att det då bör säkerställas att fordonens emissionsnivåer inte blir högre.

Energiinnehållet rapporteras oftast som värmevärde eller Wobbeindex<sup>37</sup>. Motorer där motorstyrsystemet mäter mängden syre i avgaserna med hjälp av en lambda-sond, och från detta justerar mängden bränsle, kan tolerera en större variation i bränslets energiinnehåll (lambda-återkoppling). Det rullar fortfarande i Sverige äldre tunga fordon som inte är lambdaåterkopplade och som därför inte klarar ett stort spann i värmevärde<sup>38</sup>. Även nyare tändstiftsförsedda gasmotorer, motsvarande emissionsnivå Euro IV och vissa fall Euro V, använder sig av ett magermotor-koncept utan lambdaåterkoppling. Dessa motorer kan vara mycket känsliga för gasens energiinnehåll. Vissa tillverkare ger även rekommendationer på max och min Wobbe-index<sup>39</sup>.

För fordonstillverkare är motoroktanttal (MON) och metantal (MN)<sup>40</sup> minst lika viktiga parametrar som värmevärde. **Arbetsgruppen** förordar att mingränsvärdet på 130 MON i SS 15 54 38 bibehålls vid revideringen. Detta gränsvärde underskreds dock aldrig vid tillämpning av de gränsvärden på metan, kväve och koldioxid som föreslås i denna rapport (se avsnitt 5.2). Inblandning av koldioxid höjer MON jämfört med ren metan, som har ett MON på 137,78; en gas med en metan-

---

<sup>36</sup> “The CEN technical experts should consider the ongoing work of the pending mandate M 400 on Gas quality, and shall refer to the parameters as defined and specified in M 400. The European deliverable shall exclude the definition of any parameters or substances that are addressed in M 400. However, it may specify more strict limits for parameters or substances unique to biomethane if deemed technically necessary. If needed, additional parameters or substances shall be defined.”

<sup>37</sup> Wobbe-index: Värmevärdet delat med kvadratroten av gasens specifika densitet (gasens densitet delat med luftens) vid 1 atm och 0 °C. Får samma enhet som värmevärde. Det är viktigt att hålla reda på om det är undre eller övre värmevärdet som används (utan eller med det bildade vattnets kondensationsvärme)

<sup>38</sup> Personlig kommunikation, Bertil Carlson (Tekniska verken i Linköping), 110202

<sup>39</sup> Personlig kommunikation, Daniel Danielsson (AVL), 110228

<sup>40</sup> Ren metan har MN=100

halt på 93 % med en återstod av kväve har ett MON på 130. Frågan lämnas öppen för om vissa fordons krav på ett snävare intervall med avseende på MON på något sätt ska omnämnas eller tillgodoses vid den kommande revideringen.

Krav på en minimal värmevärdesnivå på nationell nivå kan möjligen i framtiden komma i strid med planerade värmevärdesregleringar för naturgas på europeisk nivå. Det pågående regleringsarbetet gäller i dagsläget endast H-gas, med en nedre gräns motsvarande 92,5 % metanhalt (*EC 2007*).

### **5.1.2. REGLERING AV FÖRNYBAR METAN INMATAD PÅ NATURGASNÄTET**

Den svenska standarden SS 15 54 38 för förnybar fordonsgas används redan i dagsläget som en informell, branschaccepterad standard vid inmatning av uppgraderad biogas på det svenska naturgasnätet. Frågan är om detta kan formaliseras i en framtida, reviderad standard. På europeisk nivå påbörjas nu arbetet med att ta fram en teknisk specifikation för inmatning av okonventionella gaser på naturgasnätet, vilken kan vara klar som tidigast mitten av 2013. Nationella regleringar är tillåtna sida vid sida med en europeisk teknisk specifikation.

Vid de driftsfall där den inmatade volymen av uppgraderad biogas bara utgör en mindre del av den i övrigt transporterade naturgasen, så skulle utspädningen kunna utgöra grund för att tillåta maximihalterna av spårämnen att vara högre än de som krävs vid direkt användning. Detta skulle även kunna gälla inmatning av gas med lägre värmevärde, vilket har tillåtits i Schweiz i begränsad omfattning.

Eftersom det informella sättet att använda den svenska standarden verkar fungera bra rekommenderar **Arbetsgruppen** att det fortgår på det viset fram tills den tekniska specifikationen från CEN har publicerats, vilket enligt plan bör ske ca 2013. Att, om svenskt regelverk för naturgasnätet så tillåter, gå med på högre maximihalter spårämnen eller lägre värmevärde skulle i så fall förhandlas om på företagsnivå.

Standardisering av reglering av värmevärde genom tillsats av propan eller tillsats av inertgaser skulle enligt **Arbetsgruppen** alltför mycket avvika från standardens huvudändamål, det vill säga att reglera säkerhets-, hälso- och körbarhetsaspekter på förnybar fordonsgas. I fall branschen efterfrågar en sådan gemensam reglering så bör detta genomföras som en separat standardisering eller anvisning. En sådan anvisning är antagligen nödvändig när i sinom tid tysk gas med lägre värmevärde gör sig så gällande i det danska naturgasnätet att det kan påverka den svenska importen av gas från Danmark.

### **5.1.3. REGLERING AV FÖRNYBAR METAN FRÅN TERMISK FÖRGASNING**

Syntesgasen som blir resultatet av termisk förgasning av biomassa består till största delen av väte och kolmonoxid, vilka går in som reaktanter under metaniseringens efterföljande reaktionssteg. Dessa gaser, som förekommer i mindre grad även efter metanisering, utgör tillsammans med spår av tjära otypiska konstituenten jämfört med biogas framställd genom rötningsprocesser. Den första storskaliga anläggningen på 20 MW för termisk förgasning från biomassa i Sverige (och troligen i världen) kommer att börja byggas under 2011, och planeras att tas i drift

under 2012. Det är troligt att den första tiden kommer den producerade syntesgasen användas direkt för kraftvärme i stället för att gå till metanisering i någon kommersiellt nämnvärd utsträckning. Det är därför troligt att eventuella regleringsbehov kan täckas av den tidigare nämnda tekniska specifikationen som tas fram inom CEN. Storskaligheten och det mindre antalet inblandade aktörer gör det också troligt att det nationella behovet av standardisering är lågt jämfört med förnybar fordonsgas framtagen genom rötning.

#### **5.1.4. REGLERING AV LUFTINBLANDAD FÖRNYBAR METAN**

När Stockholm under 2011 övergår till att i sitt stadsgasnät distribuera en 50/50-blandning av naturgas och luft i stället för syntesgas/stadsgas framställd av lättbensin, så öppnas möjligheten upp för att använda förnybar gas på samma sätt. I och med att stadsgasdistributionen i Göteborg från den 31 december 2010 har upphört så används inte längre blandningar av naturgas och luft i någon annan stad i Sverige. **Arbetsgruppen** bedömer det därför som mer lämpligt att reglera eventuella tillkommande krav på företagsnivå, eftersom det alltså bara finns en leverantör av luftblandad metangas på marknaden (Stockholm Gas).

#### **5.1.5. REGLERING AV FLYTANDE METAN**

Det har framkommit ett behov av att specificera även förnybar metan som har förvätskligats i samband med uppgraderingen, och därmed hanteras i flytande form. Att göra detta som en egen fordonsgastyp borde inte vara nödvändigt, eftersom alla kravnivåer stipulerade ur risksynpunkt är desamma. Begränsningar som föranleds av krav beroende på gasens fysikaliska form, till exempel kravet på markant lägre maximal halt koldioxid, föreslås endast tas med i informativt syfte, till exempel som en fotnot.

### **5.2. FÖRSLAG PÅ KRAVNIVÅER**

I tabell 5.1 nedan återfinns ett förslag på gränsvärden för förekommande ämnen i förnybar fordonsgas som ursprungligen bildats vid mikrobiell nedbrytning av organiskt material i anaerob (syrefri) miljö. Kommentarer 1) till 5) direkt nedanför tabellen är förslag på fotnoter att ta med. Kravnivåerna är inte alltid förankrade inom branschen, utan ska ses som en utgångspunkt för vidare diskussion. Notera vidare att diskussion rörande gaskvalitetsparametrar som MON och MN har lämnats därhän vid framtagandet av detta beslutsunderlag, i väntan på vidare diskussioner med fordonstillverkare vid revisionen av SS 15 54 38.

Notera att i de flesta fall har nivåerna inte kunnat väljas utifrån kunskap om de verkliga och kvantifierade riskerna för säkerhet och hälsa. Istället anläggs ett försiktighetsperspektiv, där gränserna sätts i förhållande till renings- och detektionsgränser utan att bli ekonomiskt oförsvarbara att uppnå. Praxis i branschen, som till exempel med avseende på vatten, har också använts som underlag. Gällande frågan om reglering av olja, mikroorganismer och tungmetaller, se nedanför tabellens fotnoter.

*Tabell 5.1. Förslag på krav på max- och mingränsvärden för ämnen förekommande i förnybar fordonsgas i Sverige, jämfört med SS 15 54 38*

Ämne	Förslag	SS 15 54 38
CH <sub>4</sub>	> 95 % <sup>1)</sup>	> 95-96 %
CO <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>	< 5 % <sup>2)</sup>	< 4-5 %
O <sub>2</sub>	< 1 %	< 1 %
Totalhalt S	< 7-10 <sup>41</sup> mg/m <sup>3</sup>	< 23 mg/m <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> S	< 5? mg/m <sup>3</sup>	< 10 ppm <sup>42</sup>
Merkaptaner	< 5? mg/m <sup>3</sup>	
H <sub>2</sub>	< 2 % <sup>43</sup>	< 0,5 % <sup>44</sup>
Tryckvattendagpunkt vid högsta lagringstryck t=lägsta månadsvisa dygnsmedeltemperatur	t-5 <sup>3)</sup>	t-5
Vattenhalt (ut från fyllningsmunstycke)	< 5 <sup>4)</sup> mg/m <sup>3</sup> <sup>45</sup>	< 32 mg/m <sup>3</sup>
Totalhalt klorerade kolväten räknat som Cl	< 1 <sup>5)</sup> mg/m <sup>3</sup>	
Totalhalt fluorerade kolväten räknat som F	< 1 <sup>5)</sup> mg/m <sup>3</sup>	
Totalhalt kväveföreningar utöver N <sub>2</sub> räknat som NH <sub>3</sub>	< 20 mg/Nm <sup>3</sup>	< 20 mg/Nm <sup>3</sup>
Totalhalt siloxaner räknat som Si	< 0,5-5 <sup>5)</sup> mg/m <sup>3</sup>	

- 1) Gäller strikt på tankstationer som säljer till allmänheten. Fordonsgas till fordonsflottor med eget tankställe kan gå ner till en metanhalt motsvarande referensbränslet G25 (86 % CH<sub>4</sub>), förutsatt att fordonet är certifierat för detta. Motorinställning för lägre metanhalter är tekniskt möjlig, men bör endast göras om fordonets emissionsnivåer kan bevisas vara oförändrade.
- 2) Vid ej publik användning enligt 1) gäller följande formler för de inerta gaserna: CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> < 100 % - CH<sub>4</sub>; N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> < 5 %.

<sup>41</sup> Den lägre gränsen bör leda till en eliminering av svavelinducerad katalysatorinhibering. Nuvarande odorisering med THT rapporteras leda till en svavelhalt på 5,5 mg S/Nm<sup>3</sup>.

<sup>42</sup> Ej angivet i SS 15 54 38 men används som riktvärde vid inmatning på nätet. Motsvarar 14 mg/m<sup>3</sup>.

<sup>43</sup> I enlighet med UNECE R110 anvisning för torr gas i cylindrar av typ 1. Kommentar: Förenklad analys av biogas kräver att vätehalten hålls < 1 %.

<sup>44</sup> Ej angivet i SS 15 54 38 men används tydligen som riktvärde vid inmatning på nätet – uppgift tagen från Marcogaz (2006).

<sup>45</sup> Valet av maxgräns är ännu så länge godtyckligt. Det är troligt att inte alla aktörer torkar sin fordonsgas i lika hög grad som vissa aktörer gör. En diskussion krävs för att komma fram till ett högsta tillåtna värde i förhållande till säkerställande av körbarhet, se avsnitt 3.2. Detektionsgräns för vatten i gemensam metod för vatten, vätesulfid och ammoniak ligger på valt värde. Vid kontinuerlig mätning mäts snarare tryckvattendagpunkten, vilket är möjligt att göra med tämligen god precision ner till halter under 1 mg/Nm<sup>3</sup>.

- 3) Oavsett krav på tryckvattendaggpunkt skall vatteninnehållet i stationärt lagrad biogas (inklusive mobila gaslager) inte vid något tillfälle överstiga  $32 \text{ mg/m}^3$  vilket motsvarar en tryckvattendaggpunkt på max. minus  $9 \text{ }^\circ\text{C}$  vid  $19,7 \text{ MPa}$  (200 bar).
- 4) Den ur korrosionssynpunkt tillräckligt låga maximala vattenhalten under 3) är ej tillräcklig för att garantera att utfällning av vatten inte sker i samband med den expansionskyllning som uppstår då gasen strömmar från lagringstanken och genom fordonets bränslesystem. I kombination med låga temperaturer kan fritt vatten och lättare kolväten som t.ex. metan bilda isaktiga utfällningar av kolvätehydrater, med försämrad körbarhet som följd. Lägsta praxis i branschen ligger kring  $1 \text{ mg/Nm}^3$ , vilket motsvarar en tryckvattendaggpunkt på  $-80 \text{ }^\circ\text{C}$  vid 4 bar.
- 5) Krav för halogenerade kolväten gäller endast för deponigas, och för siloxaner endast för deponigas och för biogas där substrat från avloppsreningsverk ingår som del i inmatat substrat till mer än 10 % på torrhaltsbasis.

Med avseende på olja föreslås ingen gräns i samband med denna utredning, utan hänvisning sker till beslutsunderlaget i avsnitt 3.10 och resultat från SP om deras projektförslag godtas och genomförs (se avsnitt 5.3). Det är också nödvändigt att få mer återkoppling från fordonsindustrin, vilka bör involveras under själva revideringen av standarden.

Med avseende på mikroorganismer (MO) så anser **Arbetsgruppen** att ett partikelfilter på  $1 \text{ } \mu\text{m}$  bör räcka, i linje med rekommendationen från Vinnerås (2005). Det kan dock övervägas att gå ner i maskstorlek i linje med GTI:s rekommendation på  $0,2\text{-}0,3 \text{ } \mu\text{m}$ , men det kräver i så fall en utredning kring hur stora tryckfallen kan bli och vilka tekniska och ekonomiska följder det kan ha för driften.

Med avseende på tungmetaller har det framkommit önskemål från fordonstillverkarna att på något sätt reglera detta i kommande standard. En sådan reglering torde kunna begränsas till gas från deponier och avloppsreningsverk. Kvalitetskontroll torde kunna ske genom ett certifieringsförfarande, där en inledande mer omfattande testkampanj visar om tungmetaller förekommer eller inte. Kvantitativ reglering bör begränsas till arsenik (detektionsgräns  $20 \text{ } \mu\text{g/Nm}^3$ ) och kvicksilver (detektionsgräns  $0,02 \text{ } \mu\text{g/Nm}^3$ ).

### 5.3. KUNSKAPSBEHOV, VALIDERADE ANALYSMETODER

Det största hindret för att genomföra den påtänkta utökningen av reglerade ämnen vid en revidering av SS 15 54 38 är bristen på validerade analysmetoder. Det har påtalats tidigare, men sammanfattas nedan.

**Siloxaner:** Den pågående SGC-studien ”Utveckling av mätmetodik för analys av siloxaner i biogas” med SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut som utförare har tagit fram en validerad provtagnings- och analysmetod för siloxaner. Metoden anses vara relativt enkel och ha potential att utvecklas vidare för att samtidigt bestämma även andra föroreningar i gasen (till exempel en del kväveföreningar och halogenerade kolväten med kokpunkt över  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ) I projektet medverkar 6 anlägg-



ningar runtom i Sverige, båda biogasanläggningar samt reningsverk<sup>46</sup>. Utanför projektet har en mobil mätutrustning tagits fram av SP som kan ta prov under tankning av gasfordon på publika mackar.

**Halogenerade kolväten:** Det finns troligen i dagsläget inte någon validerad, praktiskt användbar testmetod för denna grupp av analyter. SP tror sig ha tagit fram en praktiskt fungerande analysmetod, se kommentaren ovan under siloxanavsnittet. SP bedömer att de enskilda analyterna kan bestämmas ner till ca 0,05 mg/Nm<sup>3</sup>. För analyter med kokpunkt under 70 °C skulle en gaskromatografisk metod behöva användas, detektionsgräns ner till mycket låga nivåer. Summering av F- och Cl-innehållande analyter görs sedan genom beräkning. En gräns på under 1mg F+Cl/ Nm<sup>3</sup> bedöms ur analysteknisk synvinkel som klart möjlig att upprätthålla. I dagsläget är dataunderlaget inte tillräckligt stort för att kunna validera de två metoderna. Inte heller standardiserade metoder för bestämning av totalhalt klor och fluor finns. Det är inte otänkbart att universell detektering av klor och fluor skulle kunna vara möjlig.

**Patogena mikroorganismer (MO):** Det är troligen inte nödvändigt att arbeta fram standardiserade testmetoder som är dedikerade för MO-bestämning i uppgraderad biogas. Som tidigare visats (avsnitt 3.8) har svensk forskning och praktisk erfarenhet kommit fram till att riskerna är små, och att de kan begränsas ytterligare genom filtrering av gasen. Internationellt är man dock ännu inte övertygad, utan det förekommer att biogas från vissa substrat utestängs från inmatning på nätet, som till exempel biogas från ARV-slam i Frankrike. Det vore troligen bra om riskerna för hälsa och korrosionssäkerhet kunde sammanfattas och belysas i en europeisk samlingsstudie, tillsammans med bestämning av i hur hög grad filtrering kan reducera nivåerna av MO i gasen, framför allt med avseende på levande MO. På så vis skulle internationell konsensus kunna nås i frågan.

**Olja:** Trots att olja i komprimerad gas är ett problem som är detsamma oavsett om gasen är fossil eller förnybar, så är det nog nödvändigt att i en reviderad biogasstandard ta med ett mer omfattande informativt avsnitt om olja i gas, förslagsvis grundat på iakttagelserna, slutsatserna och åtgärdsförslagen i Clementsson och Held (2007). På så vis skulle problemet med olja kunna hanteras, oavsett om sant kvantitativa provtagnings- och analysmetoder tas fram eller inte. Kvantitativ standardisering av olja i gas kräver dock att även oljan i ångform kan bestämmas. Det är troligen en god idé att genomföra SP:s projektförslag ”Utvärdering av olika mätmetoder för att bestämma halten olja i naturgas och biogas”, se avsnitt 3.10. Avstämning bör innan projektstart ske mot tyska DVGW, för att undvika dubbelarbete. Det är **Arbetsgruppens** bedömning att SP:s metod torde ha potential att vara mer robust och enkel än den tyska, framför allt med avseende på provtagningsmetodik. Den optimala lösningen vore att jämföra SP:s och DVGW:s metoder inom ramen för samma projekt.

#### 5.4. FORMER FÖR KVALITETSKONTROLL

En viktig del av en standard är hur efterlevandet av den följs upp. Det är sällan fallet att anvisningar eller förslag om sådan kvalitetskontroll finns med i själva

---

<sup>46</sup> Personlig kommunikation, Karine Arrhenius, SP, 110221

standarden. Det skulle dock kunna övervägas att inkludera ett sådant informativt avsnitt, gärna baserat på bästa praxis i branschen. För bensin och diesel finns det två dedikerade standarder för kvalitetskontroll, utöver bränslekvalitetsstandarder (*SIS 2003a, SIS 2003b*). I SoCalGas anvisning för inmatning av biometan på nätet finns ett flödesschema för kvalitetskontroll vid uppstart (*SoCalGas 2010*).

Polman (2007) beskriver hur man utan att tumma på säkerheten kan minska på provtagnings- och analyskostnaderna för kvalitetskontrollen genom att dynamiskt variera provtagningsintensiteten i förhållande till hur nära analysresultaten ligger den reglerade maximala nivån för varje analyt. Mer intensiv analys direkt på plats görs semikvantitativt, till exempel med hjälp av så kallade Drägerrör. Resultaten från dessa avgör i sin tur provtagningsintensiteten för den kvantitativa analysen på laboratorium.

Certifiering av substrat som bevis för att de inte innehåller vissa i standarden reglerade spårämnen är ett annat exempel på kvalitetskontroll som skulle kunna förenkla för branschen, till exempel förekomst av halogenerade kolväten och siloxaner i deponier och avloppsreningsverk. Detta förfarande används redan i Tyskland (Huguen och Le Saux 2010).

## 6. REFERENSER

AFSSET (2008). "Risques sanitaires du biogaz: Evaluation des risques sanitaires liés à l'injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel – Avis de l'Afsset, Rapport d'expertise collective" AFSSET – Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail  
([http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/058412092985118807049572120143/biogaz\\_oct08.pdf](http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/058412092985118807049572120143/biogaz_oct08.pdf))

AGA (2009). "American Gas Association's Report No. 4A - Natural Gas Contract Measurement and Quality Clauses" – revision 2009 (utkast)

Bisschops I, van Eekert M (2008). "Inventarisatie van het risico van transmissie van pathogenen uit biogas" Rapport framtagen av LeAF (Lettinga Associates Foundation) på uppdrag av SenterNovem  
([http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/publicaties/publicaties\\_bio-energie/inventarisatie\\_van\\_het\\_risico\\_van\\_transmissie\\_van\\_pathogenen\\_uit\\_biogas.asp](http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/publicaties/publicaties_bio-energie/inventarisatie_van_het_risico_van_transmissie_van_pathogenen_uit_biogas.asp))

Brady GS, Clauser HR, Vaccari JA (2002). "Materials Handbook, 15th ed."

Broman R, Stålhammar P, Erlandsson L (2010). "Enhanced emission performance and fuel efficiency for HD methane engines" AVL MTC 9913, på uppdrag av IEA-AMF (International Energy Agency, Advanced Motor Fuels)  
(<http://www.iea-amf.vtt.fi/annex/annex39.html>)

CEN (2010). "Gases from non-conventional sources – Injection into natural gas grids – Requirements and recommendations" prCEN/TR N 47:2010 (CEN/TC 234)

Clementsson M, Held J (2007). "Olja i fordonsgas – regelverk, mätmetoder och filter" SGC Rapport *Branschintern, ej publicerad*

Clorophiles (1996). "Chlorine Input and Dioxin Emissions"  
(<http://www.ping.be/chlorophiles/Eng/ChlorineDiInp.html>)

Davies M (2006). "Corrosion by Ammonia" Ur: "ASM Handbook Volume 13C, Corrosion: Environments and Industries (ASM International)"

Dewil R, Appels L, Baeyens J (2006). "Energy use of biogas hampered by the presence of siloxanes" *Energy Conversion and Management* 47(13-14), 1711–1722 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2005.10.016>)

DIN (2008). "DIN 51624:2008-02 Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge – Erdgas – Anforderungen und Prüfverfahren (Automotive fuels – Compressed natural gas – Requirements and test methods)"

EC (2007). European Commission, Directorate-General for Energy: "Mandate to CEN for standardization in the Field of Gas Qualities" Brussels, 16<sup>th</sup> Jan 2007 M/400 EN

([http://ec.europa.eu/energy/gas\\_electricity/doc/gas\\_quality/2007\\_01\\_16\\_mandate\\_gas\\_quality\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/doc/gas_quality/2007_01_16_mandate_gas_quality_en.pdf))

EC (2010). European Commission, Directorate-General for Energy: "Mandate to CEN for standards for biomethane for use in transport and injection in natural gas pipelines" Brussels, 8<sup>th</sup> Nov 2010 M/475 EN ([http://ec.europa.eu/enterprise/standards\\_policy/mandates/database/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=459#](http://ec.europa.eu/enterprise/standards_policy/mandates/database/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=459#))

EG (1998). "Europaparlamentets och rådets direktiv 98/34/EG av den 22 juni 1998 om ett informationsförfarande beträffande tekniska standarder och föreskrifter" Europeiska gemenskapernas officiella tidning L204/37-48 (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:204:0037:0048:sv:PDF>)

Eismann F, Glindemann D, Bergmann A, Kusch P (1997). "Balancing phosphine in manure fermentation" *Journal of Environmental Science and Health - Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes* 32(6) 955-968 (<http://glindemann.net/pubs/balanc.doc>)

GTI (2009) "Pipeline Quality Biomethane: North American Guidance Document for Introduction of Dairy Waste Derived Biomethane into Existing Natural Gas Networks" ([http://www.gastechnology.org/webroot/app/xn/xd.aspx?it=enweb&xd=1researchcap/1\\_4environsci/dairywastebiomethane.xml](http://www.gastechnology.org/webroot/app/xn/xd.aspx?it=enweb&xd=1researchcap/1_4environsci/dairywastebiomethane.xml))

GTI (2010) "Pipeline Quality Biogas: Guidance Document for Dairy Waste, Wastewater Treatment Sludge and Landfill Conversion" *Ej offentliggjord*

HSE (2010). "Guidance on hazards arising from the conveyance and use of gas from Non-Conventional Sources (NCS)" Rapport skriven av GL Industrial Services UK Ltd på uppdrag av Health and Safety Executive, Storbritannien

Huguen P, Le Saux G (2010). "Perspectives for a European standard on biomethane: a Biogasmax proposal" ([http://www.biogasmax.com/media/d3\\_8\\_new\\_lmcu\\_bgx\\_eu\\_standard\\_14dec10\\_vf\\_077238500\\_0948\\_26012011.pdf](http://www.biogasmax.com/media/d3_8_new_lmcu_bgx_eu_standard_14dec10_vf_077238500_0948_26012011.pdf))

Iskov H (2010). "Field test of hydrogen in the natural gas grid" Dansk Gas-teknisk Center (DGC) länk

ISO (1998). "ISO 13686:1998(E) Natural gas – Quality designation"

ISO (2006a). "ISO 15403-1:2006 - Part 1: Designation of the quality"

ISO (2006b). "ISO/TR 15403-2:2006 - Part 2: Specification of the quality"

Lampert JK, Farrauto RJ (1997). "Catalyst development for methane emissions abatement from lean burn natural gas engines" Gas Research Institute Report GRI-97/0212

Ly, H (2002). "Effects of Natural Gas Composition Variations on the Operation, Performance and Exhaust Emissions of Natural Gas - Powered Vehicles" En förkortad version av rapporten som skrevs åt IANGV med samma namn, presenterad på konferensen NGV 2002 (<http://www.iangv.org/shop.html?start=5>)

Marcogaz (2006). "Injection of Gases from Non-Conventional Sources into Gas Networks" ([http://www.marcogaz.org/membernet/show.asp?wat=WG-Biogas-06-18\\_D497\\_Final Recommendation.pdf](http://www.marcogaz.org/membernet/show.asp?wat=WG-Biogas-06-18_D497_Final Recommendation.pdf))

- Naturalhy (2009). "Final Publishable Activity Report"  
[http://www.naturalhy.net/docs/project\\_reports/Final\\_Publishable\\_Activity\\_Report.pdf](http://www.naturalhy.net/docs/project_reports/Final_Publishable_Activity_Report.pdf)
- Nelsson C (2009). "Varierande gaskvalitet – Litteraturstudie" SGC Rapport 209 (<http://www.sgc.se/display.asp?ID=1262&Typ=Rapport&Menu=Rapporter>)
- Norén C, Thunell J (2002). "Svavelfri och svavelfattig odorisering av gasol och naturgas" SGC Rapport A26  
(<http://www.sgc.se/display.asp?ID=74&Typ=Rapport&Menu=Rapporter>)
- Petersson A, Wellinger A (2009). "Biogas upgrading technologies – developments and innovations", IEA Bioenergy task 37 Energy from biogas and landfill gas ([http://www.iea-biogas.net/Dokumente/upgrading\\_rz\\_low\\_final.pdf](http://www.iea-biogas.net/Dokumente/upgrading_rz_low_final.pdf))
- Pierce J, Wheless E (2004). "Siloxanes in Landfill and Digester Gas Update" SCS Engineers Papers  
([http://www.scsengineers.com/Papers/Pierce\\_2004Siloxanes\\_Update\\_Paper.pdf](http://www.scsengineers.com/Papers/Pierce_2004Siloxanes_Update_Paper.pdf))
- Polman EA (2007). "Quality Aspects of Biogas" Rapport (GT-070127) gjord av KIWA på uppdrag av SenterNovem  
([http://www.senternovem.nl/mmfiles/Quality%20aspect%20of%20Green%20Gas\\_tcm24-242368.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/Quality%20aspect%20of%20Green%20Gas_tcm24-242368.pdf))
- Roels J, Verstraete W (2004). "Occurrence and origin of phosphine in landfill gas" Science of The Total Environment, 327(1-3), 185-196  
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.11.016>)
- SAE (1994). "SAE J1616 Recommended Practice for Compressed Natural Gas Vehicle Fuel"
- SIS (1999). "SS 15 54 38 Motorbränslen - Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer (Motor fuels – Biogas as fuel for high-speed otto engines)"
- SIS (2003a). "SS-EN 14274 Motorbränslen – Fastställande av kvaliteten på motorbensin och dieselbränsle – Ett system för övervakning av bränslekvaliteter (Automotive fuels – Assessment of petrol and diesel quality – Fuel quality monitoring system (FQMS))"
- SIS (2003b). "Motorbränslen – Fastställande av kvaliteten på motorbensin och dieselbränsle – Provtagning från servicestationspumpar och från kommersiella tankningsanläggningar (Automotive fuels – Assessment of petrol and diesel fuel quality – Sampling from retail site pumps and commercial site fuel dispensers)"
- SoCalGas (2010). "Rule 30 Biomethane Gas Delivery Specifications" Anvisningar för inmatning på Southern California Gas Companys naturgasnät  
([http://www.socalgas.com/documents/business/Rule30\\_BiomethaneGuidance.pdf](http://www.socalgas.com/documents/business/Rule30_BiomethaneGuidance.pdf))
- Statens energimyndighet (2010). "Produktion och användning av biogas år 2009"  
(<http://webbshop.cm.se/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&cat=/Rapporter&id=2fc240dee42a4b239f15149e3ffac813>)
- Stockholm Vatten (2007). "Varuinformation biogas"  
([http://www.stockholmgas.se/Global/pdf/Tekniska%20gasdata/Varuinformation\\_Biogas.pdf](http://www.stockholmgas.se/Global/pdf/Tekniska%20gasdata/Varuinformation_Biogas.pdf))

UNECE (2008). "Addendum 109: Regulation No. 110, Revision 1 – I. Specific Components of Motor Vehicles Using Compressed Natural Gas (CNG) in their Propulsion System; II. Vehicles with Regard to the Installation of Specific Components of an Approved Type for the Use of Compressed Natural Gas (CNG) in their Propulsion System" (<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs101-120.html>)

Vinnerås B, Schönning C (2005). "Mikrobiell analys av biogas" Nationellt Samverkansprojekt Biogas i Fordon, Rapport 610412 (<http://www.sgc.se/display.asp?ID=901&Typ=Rapport&Menu=Rapporter>)

Vinnerås B, Schönning C, Nordin A (2006). "Identification of the microbiological community in biogas systems and evaluation of microbial risks from gas usage" *Science of the Total Environment*, 367(2-3), 606–615 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.008>)

WWFC (2006). "World Wide Fuel Charter – Fourth Edition September 2006." (<http://oica.net/wp-content/uploads/2007/06/wwfc-fourth-edition-sep-2006.pdf>)

Xebec (2007). "Treatment Solutions for Landfill Gas Fuel Applications – White Paper October 2007" ([http://www.xebecinc.com/pdf/e\\_white\\_paper.pdf](http://www.xebecinc.com/pdf/e_white_paper.pdf))





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)

---

---