

Varierande gaskvalitet - Litteraturstudie

©Svenskt Gastekniskt Center – Juni 2009

Corfitz Nelsson
Svenskt Gastekniskt Center AB

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 e dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

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

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, E.ON Gas Sverige AB, E.ON Sverige AB, Lunds Energikoncernen AB (publ), Göteborg Energi AB, och Öresundskraft AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Statens Energimyndighet
E.ON Gas Sverige AB
Lunds Energikoncernen AB (publ)
Göteborg Energi AB
Öresundskraft AB
Stockholm Gas AB

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Held

Sammanfattning

I dagsläget har Sverige endast en tillförselväg för naturgas men ett antal olika nya tillförselvägar utreds för närvarande. Detta betyder att naturgas från olika källor kommer att finnas i det svenska gasnätet och att gaskvaliteten kan komma att variera väsentligen mer än vad den gör idag. Samtidigt arbetas det mycket kring gas från förgasning av skogsråvara där slutprodukten kommer att innehålla mer vätgas och kolmonoxid än vad naturgas gör.

Detta kommer att medföra att framtida gas som distribueras på det svenska gasnätet kan tänkas ha en annan sammansättning än den som distribueras idag och föreliggande rapport ger en översikt över vissa tänkbara konsekvenserna relaterade till att ett gasbränsles sammansättning förändras till följd av en eller flera anledningar. Fokus läggs mot tekniska aspekter.

Av de studier som har inventerats gå det inte att dra några som helst generella slutsatser avseende vilken inverkan en varierande gaskvalitet har på olika apparaters funktion. Vad man kan konstatera är att byte av gas eventuellt kan få en viss eller till och med en substantiell inverkan på apparatens funktion men mycket mer än så går inte att säga.

Många gasapparater kan fungera inom ett brett intervall avseende wobbeindex, värmevärde etc. men det kan krävas en ny injustering efter en förändring i gaskvaliteten. Hushållsapparater är en relativt okänslig apparatgrupp, dels är de flesta mindre gasapparater utrustade med allgasbrännare och dels är emissionskraven relativt frikostiga. Det finns tester som visar att emissionerna av såväl NO_x som CO kan nå nivåer som överstiger rekommenderade gränsvärden. Gällande fordon så är nyare fordon nästan uteslutande utrustade med återkopplade styrsystem som inom rimliga gränser kan kompensera för varierande gaskvalitet.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Varierande gaskvalitet	1
1.1.1	Naturliga variationer	2
1.1.2	Ej naturliga variationer	2
1.1.3	Andra konsekvenser är de rent tekniska	2
2	Utbytbarhetsteorier	3
2.1	Wobbeindex	3
2.2	AGA	3
2.3	Dutton	3
3	Gassammansättningens inverkan på förbränningen	4
3.1	Vätgas	5
3.2	Kolmonoxid	5
3.3	Tunga kolväten	5
3.4	Inerta komponenter	6
3.5	Partiklar	6
3.6	Metaller	6
3.7	Syrgas	6
3.8	Svavel	6
3.9	Viktiga/oviktiga	6
4	Gasspecifikationer	7
4.1	EASEE-gas Common Business Practice	7
4.2	Danmark och Sverige	7
4.3	USA	8
4.4	Storbritannien	8
4.5	Gasfamiljer och referensgaser	8
5	Typiska gaskvaliteter	10
5.1	Naturgaser exklusive LNG	10
5.2	LNG	10
5.3	Bio-SNG	11
5.4	Biogas	11
5.5	Stadsgas	11
6	Effekter av varierande gaskvalitet	13
6.1	Flamlyft	13
6.2	Nedslag	13
6.3	Effekthöjning/överbelastning	13
6.4	Ofullständig förbränning	13
6.5	Koldioxidutsläpp	14

6.6	Kompressibilitet	14
6.7	Metantal	14
7	Studier över effekter av varierande gaskvalitet	15
7.1	GRI studie över hushållsapparater	15
7.2	Southern California Gas Company (SoCalGas) studie över hushållsapplikationer	16
7.2.1	Ångpanna med låg-NO _x brännare	17
7.2.2	Gaspannor	17
7.2.3	Vattenvärmare	17
7.3	DGC försök med vätgas i en gaspanna	18
7.4	DTI studie över hushållsapparater	18
7.5	Advantica studier över hushållsapparater	19
7.5.1	Advantica pilot study	19
7.5.2	Advantica gas appliance study	19
7.6	Gastec studie av sotningsbenägenhet	20
7.7	Gastec studie av kvävgasinblandning	20
7.8	Fordonsmotorer	21
7.9	Industriella förbränningsapplikationer	22
7.9.1	Höghastighetsbrännare	22
7.9.2	Kanalbrännare	22
7.10	Gasturbiner	23
7.10.1	CEC Workshop	23
7.10.2	Incident i USA	23
7.11	Naturgas som råvara	24
8	Tillverkarkrav och andra krav	25
8.1	Gasturbiner	25
8.1.1	CARB studie över olika tillverkares krav	26
8.2	Gaspannor	26
8.3	Fordon	27
8.3.1	Standarder för fordonsgas	27
8.4	Hushållsapplikationer	29
8.5	Industriella processer	29
9	Åtgärder för att justera och detektera gaskvaliteten	30
9.1	Justera gasens sammansättning	30
9.2	Detektera gaskvalitet	31
9.2.1	GasPT	31
9.2.2	Yamatake HGC303	32
10	Vad behöver göras?	33
10.1	Andra kvalitetsindikatorer	33
10.2	Tester av apparater	33
11	Slutsats och diskussion	34
12	Referenser	36

1 Inledning

I dagsläget har Sverige endast en tillförselväg för naturgas men ett antal olika nya tillförselvägar utreds för närvarande, inklusive LNG till en eller flera platser i landet. Detta betyder att naturgas från olika källor kommer att finnas i det svenska gasnätet och att gaskvaliteten kan komma att variera väsentligen mer än vad den gör idag. Samtidigt arbetas det mycket kring gas från förgasning av skogsråvara där slutprodukten kommer att innehålla mer vätgas och kolmonoxid än vad naturgas gör idag.

En varierande gaskvalitet påverkar eventuellt funktionen hos olika gasapparater och påverkar olika typer av processer på t.ex. kemiska industrier. Syftet med studien är att översiktligt undersöka vilka variationer som kan tillåtas samt vilka följder som varierande gaskvalitet kan få för olika gasapparater/processer.

Ett ofta återkommande begrepp inom området gaskvalitet är gasers utbytbarhet. Vad är utbytbarhet kan man fråga sig? Natural Gas Council+ Gas Interchangeability Group använder en bra definition avseende gasers utbytbarhet:

“The ability to substitute one gaseous fuel for another in a combustion application without materially decreasing operational reliability, efficiency or performance while maintaining air pollutant emissions within regulatory limits.”

I korthet kan man säga att en energigas är utbytbar mot en annan energigas om apparatens funktion, verkningsgrad och säkerhetsaspekter endast påverkas ytterst marginellt samtidigt som alla emissioner håller sig inom uppsatta specifikationer och krav.

1.1 Varierande gaskvalitet

Gällande varierande gaskvalitet måste två fall särskiljas:

1. Möjligheten att använda en annan gas än den som används vid ett tillfälle (exempelvis byte från stadsgas till naturgas).
2. Variationerna hos den gas som man använder till följd av exempelvis naturliga variationer, inblandning av gas från annan källa än den ursprungliga, uttag från gaslager etc.

I fall 1 är det sällan några problem, de flesta tillverkare av gaseldad utrustning kan leverera en applikation som fungerar med en viss given gaskvalitet under förutsättning att gaskvaliteten specificerats. Sker byte till en helt annan gas måste utrustningen bytas eller justeras om. I det andra fallet däremot så varierar kvaliteten hos den gas som används och intressanta parametrar att undersöka är:

Typ av variation

Högre/lägre wobbeindex och/eller värmevärde

Förändrad halt av olika ”föroreningar” (N_2 , CO_2 , O_2 , H_2 , CO etc).

Frekvens hos variationer

Sker ofta/sällan

Hastighet med vilken variationer sker

Momentant/långsamt

Förändringens längd
Tillfällig/längre/permanent
Förändringens effekter
Ökade utsläpp
Minskad livslängd
Haveri
Inget

1.1.1 Naturliga variationer

Gassammansättningen från ett gasfält fluktuerar alltid till följd av variationer i fältet och vanligen innehåller gasen en större andel tyngre kolväten ju äldre fältet blir. För fallet med dansk naturgas, så har den danska gasens metanhalt sjunkit lite mer än 2 % och halterna av etan och propan har ökat de senaste 25 åren. Problem med utrustning till följd av naturliga variationer är sällsynt och förekommer i princip bara till följd av att mycket gammal utrustning finns kvar i drift.

1.1.2 Ej naturliga variationer

De naturliga variationerna är långsamma och sker över en period av tiotals år. En onaturlig variation kan uppstå i princip momentant och pågå under en längre eller kortare tid. Exempel på ej naturliga variationer är:

- Att gas från olika källor matas in på nätet och att dessa har olika kvalitet, exempelvis är det stora skillnader mellan naturgas från Holland, Danmark och Ryssland.
- Att LNG från olika länder levereras.
- Gas från exempelvis biogasproduktion och termisk förgasning matas in på gasnätet.

Ovanstående är exempel på situationer där en helt annan gaskvalitet än den ursprungliga kan erhållas och att övergången från en gas till den andra kan ske mycket snabbt. I sådana fall kan det resultera i att gaseldad utrustning kan påverkas negativt eller i värsta fall t.o.m. fallera.

1.1.3 Andra konsekvenser är de rent tekniska

Föreliggande rapport berör endast de tekniska aspekterna av varierande gaskvalitet men dessa utgör endast en delmängd vad det avser potentiella problem. Övriga är av typen:

- Ekonomiska. Hur tar man betalt för en gas vars värmevärde varierar? Hur säkerställs rätt värmevärde även för småkunder? Hur skall avräkningen göras?
- Juridiska. Vem ansvarar för konsekvenserna av att gas med varierande sammansättning distribueras på gasnätet? I Sverige har gasdistributören ansvar fram till lågan hos kunden men hur hanteras exempelvis skadeståndskrav till följd av att en uppströms gasproducent levererat gas som inte uppfyller kraven?

Rapporten tar inte upp några av ovanstående aspekter men dessa är också av stor vikt vid bedömningen av vilka konsekvenser en varierande gaskvalitet kan förorsaka. För den som vill läsa mer om ämnet kan en rapport av DGC rekommenderas [1].

2 Utbytbarhetsteorier [2,3]

Wobbeindex togs fram redan 1926 och sedan dess har över 20 olika utbytbarhetsteorier tagits fram i olika länder och dessa har idag en varierande användningsgrad. Wobbeindex torde än idag vara den absolut mest använda teorin och för den som vill läsa mer om olika utbytbarhetsteorier rekommenderas avsnittets referenser. Några av de vanligare utbytbarhetsteorierna är:

2.1 Wobbeindex

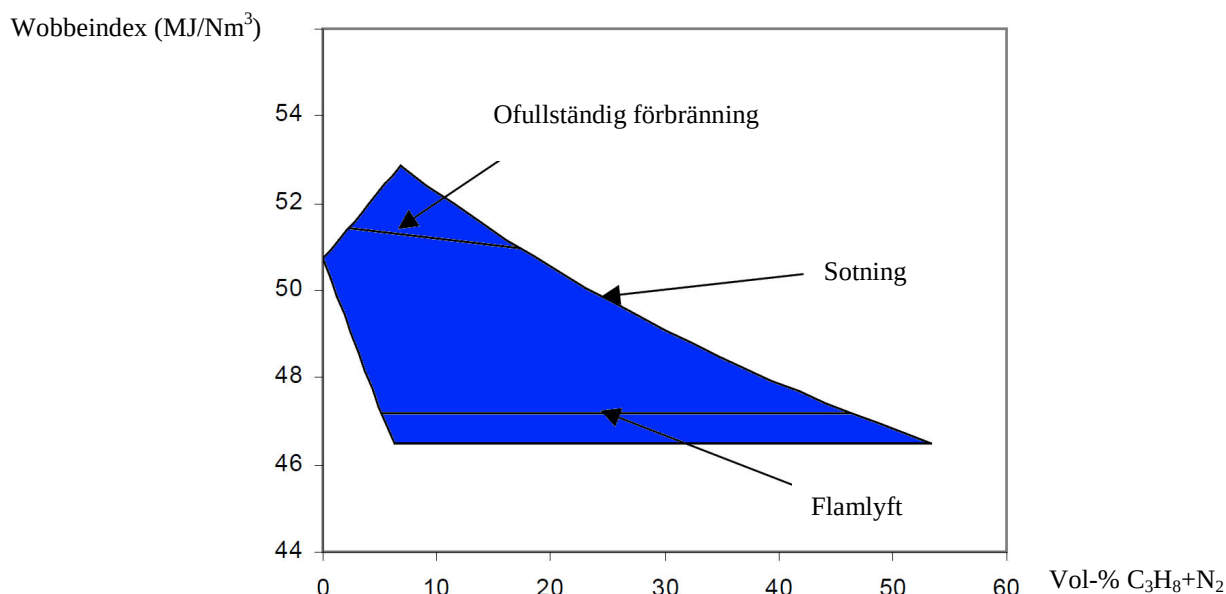
Wobbeindex är den äldsta (1926) metoden men samtidigt kanske den mest använda för att bedöma gasers utbytbarhet. Teorin bygger på att om man tillför en gas med samma wobbeindex till samma apparat, förändras inte effekten. Wobbeindex beräknas som gasens värmevärde dividerat med roten ut relativa densiteten för gasen.

2.2 AGA

American Gas Association (AGA) utvecklade under flera år en metod för att bedöma utbytbarheten hos en gas. Man bedömer en atmosfärsbrännarens flammans utseende genom att den tilldelas en siffra mellan -5 och +5 där 0 avser korrekt injusterad förbränning. +5 avser en flamma där det förekommer flamlyft och flammen slocknat i minst ¼ av portarna. -5 avser en flamma med tydliga gula inslag (inte bara gula toppar) och en synlig sotproduktion.

2.3 Dutton

Till skillnad från många av de andra teorierna så tar Duttons utbytbarhetsteori hänsyn till gasens kemiska sammansättning genom att man omvandlar gasen till en "ekvivalent" gas som endast består av metan, propan, vätgas och kvävgas. Resultatet från Dutton presenteras vanligen i diagramform där man kan utläsa gränser för sotning, flamlyft och nedslag.



Figur 1. Exempel på utbytbarhetsdiagram enligt Dutton.

3 Gassammansättningen inverkan på förbränningen

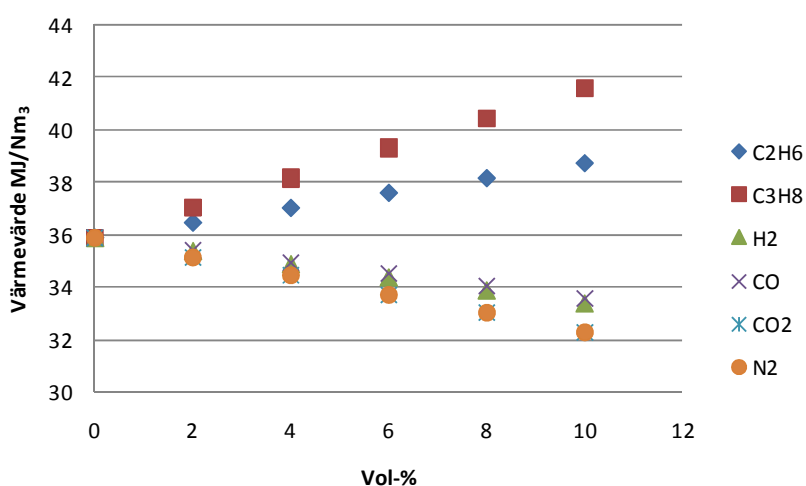
Vid fullständig förbränning vid stökiometriska förhållanden sker reaktionen:



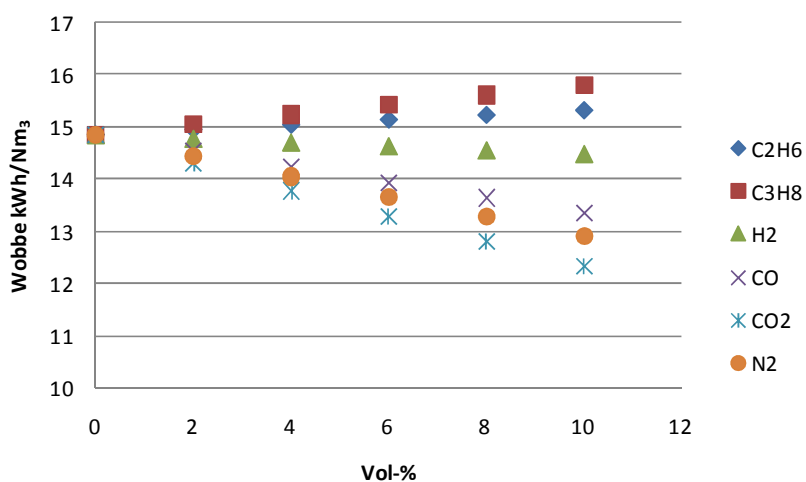
För att visa hur olika faktorer påverkas av olika variationer så visas följande tre cases (referensfallet är 100 % metan):

- Gas med varierande halt av tyngre kolväten (etan, C_2H_6 och propan C_3H_8).
- Gas med varierande halt av inerta komponenter (koldioxid och kvävgas).
- Gas med varierande halt av kolmonoxid och vätgas.

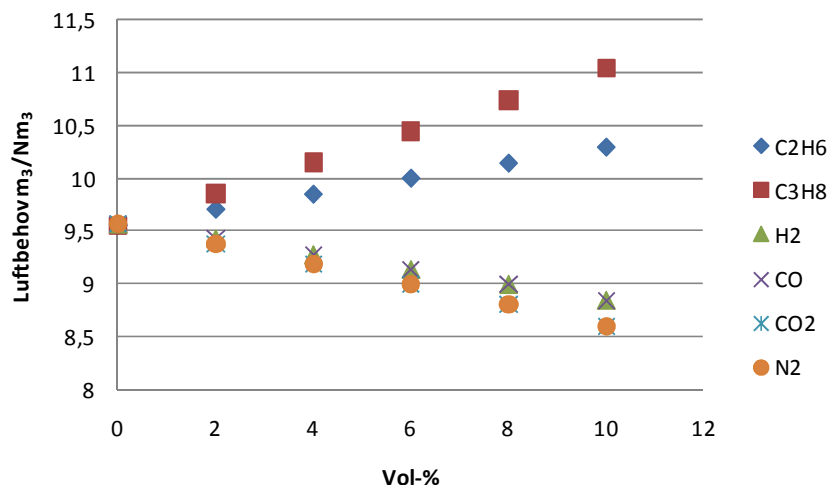
När halten tyngre kolväten ökar så ökar också luftbehovet. Detta betyder att om halten av tyngre kolväten ökar utan att luftmängden ökas, riskerar man ofullständig förbränning. Samtidigt ökar wobbeindex på gasen och således kommer effekten hos den aktuella gasapparaten att öka. För fallet med ökande inerta komponenter, minskar wobbeindex och därmed minskar effekten hos den aktuella apparaten. Luftbehovet minskar också.



Figur 2. Värmevärde för ren metan samt vid inblandning av olika gaser.



Figur 3. Wobbeindex för ren metan samt vid inblandning av olika gaser.



Figur 4. Luftbehov för ren metan samt vid inblandning av olika gaser.

En rad andra icke-förbränningstekniska fenomen kan också uppstå i samband med inblandning av ovanstående komponenter men ovanstående tre diagram ger en fingervisning i vad det innebär rent förbränningstekniskt med varierande sammansättning. Nedan ges några exempel på andra effekter av såväl ovanstående som andra gaskomponenter.

3.1 Vätgas

Jämfört med metan har vätgas en väsentligt högre flamhastighet vilket innebär att risken för flamlyft ökar med en ökande halt av vätgas. För motorer innebär en ökad andel vätgas framför allt en ökad risk för knockning.

3.2 Kolmonoxid

Kolmonoxid är en brännbar gas med ett relativt lågt värmevärde, kolmonoxid innebär också en förgiftningsrisk. I naturgas förekommer i princip ingen kolmonoxid men om det framöver byggs anläggningar för inmatning av SNG från biomassa, kan resultatet bli att gasen innehåller låga halter kolmonoxid. På grund av kolmonoxidens giftighet, är det ytterst långsökt att man kommer att acceptera några högre halter CO i en gas som skall blandas in på gasnätet.

3.3 Tunga kolväten

Naturgas är i princip fritt från tunga kolväten som exempelvis aromatiska kolväten och kolväten högre än butan. Pentan och hexan återfinns i tiondels volymprocent. Det finns ingen anledning att misstänka att gaser som innehåller högre halter av exempelvis pentan eller hexan kommer att introduceras i det svenska eller europeiska naturgasnätet. Däremot förekommer vanligen etan, propan och butan i varierande mängder. En högre halt av tunga kolväten jämfört med referensfallet innebär ett ökat wobbeindex och ett högre luftbehov.

3.4 Inerta komponenter

Som inerta komponenter räknas kvävgas, koldioxid och även vatten. Innehållet av inerta komponenter i naturgas varierar beroende på källan och den gas som används i Sverige innehåller drygt 1 % inerta komponenter, i princip bara koldioxid och kvävgas. Om det byggs anläggningar för inmatning av SNG från biomassa, kan resultatet bli att gasen innehåller låga halter kvävgas. Inblandning av ej uppgraderad biogas på gasnätet kan innebära att gas som består av 30-40 % koldioxid kommer in på nätet.

3.5 Partiklar

Partiklar har ingen direkt inverkan på förbränningen men kan på sikt bidra till igensättningar av brännare och annan utrustning vilket kan påverka anläggningens funktion. Naturgas är i princip fritt från partiklar. Gas från termisk förgasning kan renas från partiklar innan den blandas in med naturgasen.

3.6 Metaller

Mätningar genomförda på bland annat Dansk Gasteknisk Center visar att naturgasen är i princip fri från metaller, mycket låga halter kunde uppmätas, dessa är dock så små att de är på gränsen till att kunna detekteras även med mycket avancerad mätutrustning. Förbrännings-tekniskt sett är det dock helt försumbara halter. Gas från termisk förgasning kan innehålla vissa halter av metaller som härrör från råvaran men dessa måste renas bort innan gasen går igenom metaniseringssteget och därmed skall inte slutprodukten innehålla metaller i sådana mängder att processer eller applikationer kan påverkas.

3.7 Syrgas

Syrgas i gasen förekommer sällan och i så fall i ytterst små mängder.

3.8 Svavel

Naturgaser innehåller naturligt låga halter av svavelväte och en liten mängd svavel tillförs gasen i form av ett luktämne för att eventuella läckage skall kunna detekteras tidigt.

3.9 Viktiga/oviktiga

Följande föroreningar bedöms vara av mindre intresse och följaktligen har mindre arbete lagts på dessa:

- Partiklar
- Metaller
- Syrgas
- Svavel

Fokus har lagts mot gaser med varierande värmevärde och varierande wobbeindex men också innehållet av tyngre kolväten än metan, inerta komponenter, kolmonoxid och vätgas.

4 Gasspecifikationer

I Sverige finns ingen definition av naturgas som specificerar innehållet av olika ämnen utan naturgas definieras som en gas innehållande i huvudsak metan. Ett antal andra länder har specifikationer samt finns det nu en europeisk Common Business Practice framtagen.

4.1 EASEE-gas Common Business Practice [4]

EASEE-gas har presenterat ett Common Business Practice (CBP) för handel med naturgas mellan olika länder. Specifikationen visas i nedan.

Tabell 1. Specifikation enligt EASEE Gas CBP.

	Min	Max	Gäller fr.o.m.
Wobbeindex (kWh/Nm ³)	13,6	15,81	1/10/2010
Wobbeindex (MJ/Nm ³)	49,0	56,9	
Relativ densitet (-)	0,555	0,700	1/10/2010
Totalsvavel (mg/m ³)	-	30	1/10/2006
H ₂ S+COS (räknat som S) (mg/m ³)	-	5	1/10/2006
RSH (räknat som S) (mg/m ³)	-	6	1/10/2006
O ₂ (mol-%)	-	0,01	1/10/2010
CO ₂ (mol-%)	-	2,5	1/10/2006
Vattendagpunkt (°C vid 70 bar)	-	-8	1/10/2006
Kolvätedagpunkt (°C vid 1-70 bar)	-	-2	1/10/2006

Man har inte satt någon gräns för maximalt tillåten halt av vätgas. I förslaget konstaterar man att det finns en viss sannolikhet att det i framtiden blir vanligare med SNG vilket skulle kunna innebära att en gas som innehåller en signifikant mängd vätgas kan komma att matas in på nätet. Det nuvarande CBP-förslaget förutsätter att gasen innehåller försumbara halter vätgas och att det framöver kan bli nödvändigt att utvärdera behovet av gränser. Vad det gäller kvävgas så rekommenderar EASEE-gas att inga gränser behövs sättas under förutsättning att samtliga övriga krav enligt CBP uppfylls.

EASEE-gas CBP tillåter således en vid specifikation för energigas, exempelvis ett wobbeindex på $14,7 \pm 1,1$ kWh/Nm³. Detta innebär $\pm 7,5$ % vilket är över vad som ibland anses vara gängse praxis (± 5 %) för inom vilka intervall en gasapparat kan fungera utan ytterligare injustering.

4.2 Danmark och Sverige [5]

I Sverige distribueras nästan uteslutande dansk naturgas och av denna anledning återges de danska kraven. Enligt Gasreglementet skall gasen ha ett wobbeindex på mellan 51,9-55,8 MJ/Nm³ under normala förhållanden. I händelse av störningar och efter tillstånd från den danska Sikkerhedsstyrelsen kan wobbeindex på upp till 56,5 MJ/Nm³ tillåtas kortvarigt.

4.3 USA [6]

Frågan kring utbytbart har under de senaste åren ägnats stor uppmärksamhet i USA, inte minst på grund av att man ser behovet av en betydande LNG-import för att klara gasförsörjningen i USA. Man har tagit fram ett "white paper on natural gas interchangeability" som anger:

Wobbeindex max	53,1 MJ/Nm ³
Wobbeindex max variation	± 4 %
Max C4+	1,5 vol-%
Max inerta komponenter	4 vol-%

Undantag medges för områden som tidigare har distribuerat gas som avviker från ovanstående specifikation så länge inte dessa förhållanden riskerar skapa säkerhetsmässiga problem i gaseldad utrustning.

4.4 Storbritannien [7]

Enligt Gas Safety (Management) Regulations, GS(M)R, skall naturgas som distribueras i Storbritannien uppfylla följande:

Wobbeindex max	51,41 MJ/Nm ³ (52,82 MJ/Nm ³ i nödfall)
Wobbeindex min	47,20 MJ/Nm ³ (46,50 MJ/Nm ³ i nödfall)

4.5 Gasfamiljer och referensgaser [8,9]

Beroende på deras egenskaper kan energigaserna indelas i gasfamiljer. Indelningen görs vanligen enligt:

Tabell 2. Indelning av gasfamiljer.

Wobbeindex		Typisk gas	
Familj	Min	Max	
1A	22,4	24,8	Stadsgas
2H	45,7	54,7	Naturgas
2L	39,1	44,8	Naturgas (Groningen)
2E	40,9	54,7	Naturgas
3B/P	72,9	87,3	Propan/butanblandning
3P	72,9	76,8	Propan
3B	81,8	87,3	Butan

Referensgaser används vid test av gaseldade apparater och utrustning och några av de vanligen förekommande referensgaserna visas nedan.

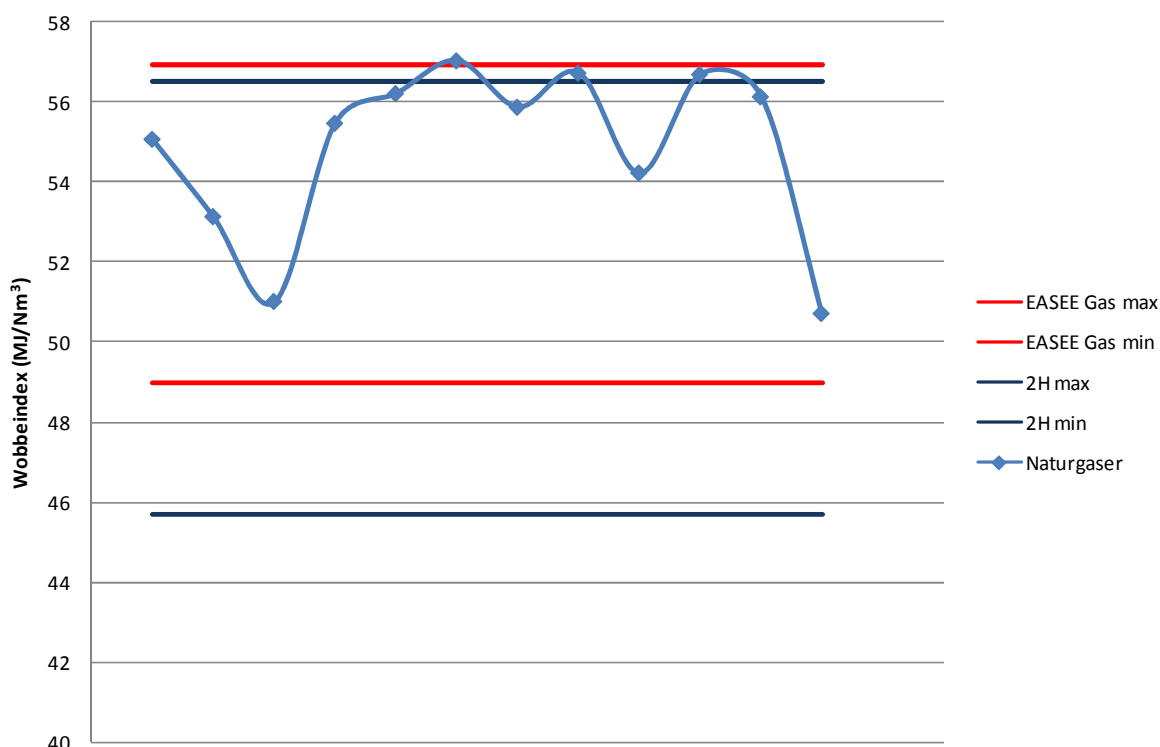
Tabell 3. Några vanliga referensgasers sammansättning.

Gas	Sammansättning	Wobbeindex
G20	100 % CH ₄	50,7 MJ/Nm ³
G21	87 % CH ₄ , 13 % C ₃ H ₈	54,8 MJ/Nm ³
G222	77 % CH ₄ , 23 % H ₂	47,8 MJ/Nm ³
G23	92,5 % CH ₄ , 7,5 % N ₂	45,6 MJ/Nm ³
G24	68 % CH ₄ , 12 % C ₃ H ₈ , 20 % H ₂	52,1 MJ/Nm ³
G25	86 % CH ₄ , 14 % N ₂	41,5 MJ/Nm ³
GR	87 % CH ₄ , 13 % C ₂ H ₆	55,8 MJ/Nm ³

För olika apparatgrupper avsedda för olika energigaserna finns det olika krav på testning samt andra referensgaserna, konsultera referenserna för detta avsnitt för vidare läsning.

5 Typiska gaskvaliteter

Begreppet energigaser omfattar en mängd olika gaser och i detta sammanhang avses energigaser med egenskaper som påminner om naturgas, det vill säga består till huvuddelen av metan. På sidan 12 ges data för ett antal energigaser med olika ursprung. Vad man kan konstatera är att de flesta olika gaskvaliteterna som redovisas i tabellen ligger nära eller till och med över den övre gränsen för wobbeindex som återfinns i EASEE-gas förslaget. Den stora avvikelser nedåt är holländsk naturgas som innehåller mycket kvävgas. Figuren nedan visar wobbeindex för ett antal olika naturgaser eller andra gaser av naturgaskvalitet, jämfört med gränserna för EASEE-gas och gasfamilj 2H. Som kan utläsas ligger många av gaserna (de flesta LNG) nära den övre gränsen för EASEE-gas CBP.



Figur 5. Wobbeindex för ett antal olika naturgaser samt gränser för EASEE gas CBP och gasfamilj 2H.

5.1 Naturgaser exklusive LNG

Data har angetts för dansk naturgas (2005), rysk naturgas och uppgraderad biogas, data har exkluderats för holländsk Groningen gas eftersom den ej ingår i gasfamilj 2H.

5.2 LNG

Med stor sannolikhet kommer LNG att öka kraftigt som distributionsform för naturgas under den kommande 10-årsperioden. Till viss del för att användningen av naturgas ökar rent generellt, men framför allt för att behovet av LNG till länder som ej har tillräcklig egen produktionskapacitet kommer att öka snabbt.

De största LNG-exportörerna är Algeriet, Oman, Qatar, Iran, Malaysia samt ytterligare ett antal länder. Norge kommer också att öka sin export av LNG när Snöhvit fältet tas i drift fullt ut. Typiskt innehåller LNG 86-96 % metan och resten tyngre kolväten, framför allt etan men även propan och en del butan. De flesta LNG-kvaliteter tenderar dock att innehålla 86-90 % metan, 3-8 % etan och 1-4 % propan. Tyngre kolväten än propan utgör sällan mer än 1 %.

Den stora skillnaden mellan den naturgas vi idag använder i Sverige och ”typisk LNG” är alltså en högre andel tyngre kolväten (etan och propan) och att LNG i princip är fri från inerta komponenter. Ett antal olika LNG-kvaliteter har angivits i tabellen och givetvis kan det förekomma variationer från dessa och de skall ses som typvärden.

5.3 Bio-SNG

Vad det gäller sammansättningen på Bio-SNG bygger detta på uppskattningar eftersom inga storskaliga anläggningar ännu finns i drift. Det skall också observeras att det finns möjligheter att styra sammansättningen på den producerade gasen. Exempelvis är det lämpligt att för svenska förhållande styra processen mot en så hög halt av metan som möjligt medan i exempelvis Holland försöka åstadkomma en gas med ett wobbeindex liknande den idag använda Groningen gasen, d.v.s. upp mot 10 % inerta komponenter i gasen. Den gassammansättning som anges förutsätts vara producerad för svenska förhållanden.

5.4 Biogas

Sammansättningen för biogas kan variera mycket beroende på typ av råvara, anläggningens ålder, hur välskött anläggningen är o.s.v. Vad det gäller uppgraderad biogas så kan värdena anses vara mer generella även om det finns mindre avvikelser även från dessa också. Vanligen tillsätts propan för att höja värmevärdet till detsamma som för den naturgas vi idag använder i Sverige och därmed uppstår inga problem med gaskvaliteten. Nyligen utreddes möjligheten att blanda in gas på gasnätet utan att tillsätta propan, vilket skulle innebära lägre kostnader och studien visade att det är tekniskt möjligt att blanda in såväl biogas utan propan, som att blanda in ej uppgraderad biogas.

5.5 Stadsgas

Det blir mindre och mindre vanligt att distribuera ”äkta” stadsgas i form av gas framställd från nafta men det sker fortfarande i Stockholm och gassammansättningen är angiven för den gas som distribueras där. I många andra städer har man gått över till en naturgas-luftblandning som har annan sammansättning än äkta stadsgas, vilket också är fallet i Stockholm 2010.

	Gaskomponent	Dansk naturgas (2007)	Rysk naturgas	Groningen naturgas	LNG (Algeriet)	LNG (Qatar)	LNG (Oman)	LNG (Indonesien)	LNG (Malaysia)	LNG (Trinidad)	LNG (Australien)	LNG (Nigeria)	Stadsgas (Sthlm)	Uppgraderad biogas	Biogas (rotning)	Biogas (deponi)	Propan 95 Flaskgasol	SNG från termisk förgasning
Volym-%	Metan CH ₄	89,6%	98,4%	81,3%	87,6%	89,3%	86,7%	90,2%	87,6%	96,1%	86,4%	90,5%	30,0%	97,5%	65,0%	50,0%	0,0%	94,5%
Volym-%	Etan C ₂ H ₆	5,9%	0,6%	2,8%	9,4%	7,1%	8,4%	6,4%	6,9%	3,4%	9,0%	5,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%
Volym-%	Propan C ₃ H ₈	2,4%	0,2%	0,7%	2,0%	2,5%	3,3%	2,4%	4,0%	0,4%	3,6%	3,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	98,1%	0,0%
Volym-%	Butan C ₄ H ₁₀	0,9%	0,1%	0,3%	0,2%	1,2%	1,8%	1,0%	1,5%	0,1%	1,0%	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,0%
Volym-%	Pentan C ₅ H ₁₂	0,2%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Volym-%	Hexan C ₆ H ₁₄	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Volym-%	Kvävgas N ₂	0,3%	0,3%	14,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	1,0%	30,0%	0,0%	2,0%
Volym-%	Syrgas O ₂	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,0%	0,0%	0,0%
Volym-%	Koldioxid CO ₂	0,7%	0,3%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,0%	2,5%	34,0%	13,0%	0,0%	0,5%
Volym-%	Kolmonoxid CO	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%
Volym-%	Vätgas H ₂	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	54,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%
Volym-%	Vatten H ₂ O	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Volym-%	Svavelväte H ₂ S	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Data för gasblandningen																		
kg/Nm ³	Densitet	0,82	0,73	0,84	0,81	0,82	0,85	0,81	0,84	0,75	0,84	0,82	0,56	0,75	1,15	1,09	2,01	0,73
(-)	Relativ densitet	0,63	0,56	0,65	0,63	0,64	0,66	0,63	0,65	0,58	0,65	0,63	0,43	0,58	0,89	0,84	1,56	0,56
MJ/Nm ³	Undre värmevärde	39,7	36,0	32,0	39,7	40,5	42,0	40,0	41,5	37,1	41,4	40,4	16,8	35,0	23,3	17,9	93,2	34,2
kWh/Nm ³	Undre värmevärde	11,0	10,0	8,9	11,0	11,3	11,7	11,1	11,5	10,3	11,5	11,2	4,7	9,7	6,5	5,0	25,9	9,5
MJ/Nm ³	Övre värmevärde	43,9	39,9	35,5	44,0	44,8	46,3	44,2	45,8	41,2	45,7	44,7	19,1	38,8	25,9	19,9	101,3	38,0
kWh/Nm ³	Övre värmevärde	12,2	11,1	9,8	12,2	12,4	12,9	12,3	12,7	11,4	12,7	12,4	5,3	10,8	7,2	5,5	28,1	10,6
MJ/Nm ³	Undre wobbleindex	49,8	47,9	39,8	50,2	50,8	51,6	50,5	51,4	48,9	51,3	50,8	25,6	46,0	24,7	19,5	74,8	45,7
kWh/Nm ³	Undre wobbleindex	13,8	13,3	11,1	13,9	14,1	14,3	14,0	14,3	13,6	14,3	14,1	7,1	12,8	6,9	5,4	20,8	12,7
MJ/Nm ³	Övre wobbleindex	55,1	53,1	44,1	55,5	56,2	57,0	55,9	56,7	54,2	56,7	56,1	29,0	51,0	27,4	21,7	81,2	50,7
kWh/Nm ³	Övre wobbleindex	15,3	14,8	12,2	15,4	15,6	15,8	15,5	15,8	15,1	15,7	15,6	8,1	14,2	7,6	6,0	22,6	14,1
(volym-%)	Undre explosionsgräns i luft	4,2	4,4	5,0	4,1	4,1	4,0	4,1	4,0	4,3	4,0	4,1	4,9	4,5	6,8	8,8	2,2	4,5
(volym-%)	Övre explosionsgräns i luft	15,9	16,6	19,0	15,9	15,6	15,4	15,8	15,5	16,3	15,5	15,7	39,0	16,9	25,4	33,0	9,5	17,3
(m ³ /m ³)	Stökiometriskt syrebehov	2,2	2,0	1,8	2,2	2,3	2,3	2,2	2,3	2,1	2,3	2,2	0,9	2,0	1,3	0,9	5,1	1,9
(m ³ /m ³)	Stökiometriskt luftbehov, torr luft	10,5	9,6	8,5	10,6	10,8	11,1	10,6	11,0	9,9	11,0	10,7	4,2	9,3	6,2	4,4	24,4	9,1

6 Effekter av varierande gaskvalitet

Beroende på vilka avvikelser som sker från den ursprungliga kvaliteten kan olika fenomen inträffa och nedan listas ett antal olika effekter som kan uppstå i samband med att gassammansättningen förändras.

6.1 Flamlyft

Om den ursprungliga gasen ersätts med en gas med lägre flamhastighet finns en risk för flamlyft och att flammen slocknar. Detta sker när gasens utströmningshastighet är högre än flamhastigheten.

6.2 Nedslag

Till motsats från flamlyft innebär nedslag att flammen utbreder sig med en hastighet som är snabbare än gasens utströmningshastighet och därmed slocknar flammen.

6.3 Effekthöjning/överbelastning

Effekthöjningen uppstår genom att en gas med högre wobbeindex än den gas som används för injustering i den ursprungliga brännaren. Resultatet visar sig i form av temperaturhöjningar och eventuellt påverkade emissioner. Exempelvis kan en något högre tillförd effekt leda till temporärt högre NO_x -emissioner beroende på i vilken applikation det sker. En längre tids överbelastning till följd av förbränning av gaser med höga wobbeindex kan också skada utrustningen till följd av överbelastning.

6.4 Ofullständig förbränning

Om en alltför ”fet” gasblandning ersätter den ursprungliga gasen, finns risken att injusteringen gällande luftöverskottet blir felaktig och i värsta fall t.o.m. till att luftmängden är lägre än den stökiometriska luftmängden. Det leder till att det bildas kolmonoxid och oförbrända kolväten. Kolmonoxid är mest alarmerande eftersom det är en giftig luktfri gas och det leder till förgiftningsrisk.



Figur 6. Ofullständig förbränning i spisbrännare.

6.5 Koldioxidutsläpp

Vid ökande wobbeindex är det typiskt att gasens innehåll av kolväten som etan, propan och butan ökar medan halten metan minskar. Detta leder till ökade koldioxidutsläpp p.g.a. att icke-metan kolväten ger ett högre specifikt utsläpp av koldioxid eftersom kol-väte förhållandet är högre för tyngre kolväten.

6.6 Kompressibilitet

Beroende på vilka komponenter som finns i gasen kommer också kompressibiliteten att variera och detta kan påverka lagervolymer och räckvidden för gasdrivna fordon. Exempelvis innebär 5 volymprocent vätgas i naturgasen, att mängden energi gas i ett gasfordon reduceras med 15 % jämfört med fallet 100 % naturgas.

6.7 Metantal

Metantalet är ett mått på ett bränsles benägenhet att motstå knock i en förbränningsmotor. Sänks metantalet, exempelvis till följd av ökade halter av tunga kolväten eller inblandning av vätgas, kan detta leda till att motorn knackar, det vill säga bränslet självantänder innan den tidpunkt när tändstiftet tänder bränslet. Det sliter på motorn samtidigt som man prestanda försämras. Moderna motorer är i allmänhet utrustade med ett skydd, som när det detekterar knock, förändrar tändvinkel eller motorns last. Ett sådant skydd skall dock inte användas för kontinuerlig drift utan är precis vad det heter – ett skydd.

7 Studier över effekter av varierande gaskvalitet

Åtskilliga studier över gasers utbytbarhet har gjorts genom åren men fokus har lagts mot studier som genomförts under senare år (slutet på 1990-talet och framåt). Det bör noteras att endast ett fåtal av de tillgängliga studierna redovisas nedan, fokus har lagts mot ett antal som bedömdes vara mer intressanta än övriga.

Man kan också notera att frågan har aktualiserats under senare år och det är framför allt den ökande importen av LNG från olika källor som har bidragit till detta, inte minst i USA där man nu tagit fram en standard för gaskvalitet. Storbritannien har också arbetat mycket aktivt med frågan, inte minst eftersom man i allt större grad blir beroende av importerad gas där LNG kommer att svara för en stor andel. Ur nordiskt perspektiv har frågan blivit alltmer aktuellt i samband med att Skanled-ledningen börjat diskuteras på allvar då gasen från Norge inte kommer att ha samma sammansättning som den danska gasen.

7.1 GRI studie över hushållsapparater [10]

Man genomförde tester på ett antal olika hushållsapparater. Testgaserna var nio olika gaser, varav sex var blandade för att i största mån efterlikna LNG från olika länder. De tre andra gasblandningarna svarar mot utspädning med inerta komponenter (i detta fallet kvävgas).

Tabell 4. Data för testade gasblandningar.

	Min	Max	
CH ₄	86	96	%
C ₂ H ₆	2	12,5	%
C ₃ H ₈	0,5	4	%
N ₂	0	3	%
Wobbeindex	50,2	54,5	MJ/Nm ³
Värmevärde	37,8	44,1	MJ/Nm ³

Man använde CO-halten som indikator på förbränningen istället för visuella metoder för att karakterisera flammen. Detta bedömdes ge ett bättre resultat än att t.ex. använda AGA:s "Flame code" där man visuellt bedömer flammen och den karakteriseras mellan -5 och +5 där -5 svarar mot en sotande gul flamma och +5 svarar mot flamlyft med mer än 25 % av flammen slocknad. De viktigaste resultaten är:

- Torktumslaren visade en något sjunkande CO-halt vid ökande wobbeindex men spridningen var hög. CO-halten var i princip opåverkad av ökad lufthalt.
- Gasbrasan uppvisade en något ökande CO-halt vid ökande wobbeindex men återigen var spridningen stor. CO-halten var i princip opåverkad av ökad lufthalt.
- Gaspannan och varmvattenberedaren visade en klarare tendens till ökande CO-halt vid ökande wobbeindex. CO-halten sjönk vid ökad lufthalt för gaspannan och var opåverkad för varmvattenberedaren.
- Två ugnar testades, en ugn visade en något ökande CO-halt med ökande wobbeindex medan den andra ugnen visade tendenser till ofullständig förbränning (snabbt ökande CO-halter) vid wobbeindex över 52,5 kWh/Nm³. CO-halten sjönk vid ökad lufthalt för den ena ugnen och ökade för den andra.
- Två spisbrännare testades och den ena visade tendens till sjunkande CO-halt medan den andra var opåverkad vid ökande wobbeindex. CO-halten var i princip opåverkad av ökad lufthalt för den ena medan den sjönk något för den andra.

- Strålningsbrännaren (av kaminmodell) visade klara tendenser till sänkta CO halter vid ökande wobbeindex. CO-halten ökade svagt vid ökad lufthalt.
- En annan rumsvärmare med öppen flamma, påverkades inte av varken wobbeindex eller luftmängd.

Ingen av apparaterna påverkades av gaskvaliteten till den grad att apparatens funktion eller emissionerna skulle anses vara oacceptabla utan endast någon enstaka apparat kom in i driftpunkter som kunde rubriceras som oönskade. En annan observation var att CO-halten i rökgaserna var den bästa indikatorn på apparatens funktion och en exponentiell ökning av CO-halten i rökgaserna kunde ses som en indikator på att man närmar sig gränsen för där apparaten inte fungerar tillfredsställande.

7.2 Southern California Gas Company (SoCalGas) studie över hushållsapplikationer [11]

Företaget har låtit genomföra testet på ett antal olika apparater och brännare i syfte att bedöma känsligheten för variationer i gaskvalitet och resultaten för att antal applikationer redovisas på de kommande sidorna. Sex olika gasblandningar användes:

Tabell 5. Data för testade gasblandningar.

	Min	Max	
CH ₄	84,5	97	%
C ₂ H ₆	0,75	9	%
C ₃ H ₈	0	11,5	%
N ₂	0	4	%
Wobbeindex	48,2	54,5	MJ/Nm ³

De applikationer som testades var:

- Värmepannor
- Vattenvärmare
- Poolvärmare
- Ångpanna (låg-NO_x)
- Fritös
- Roterande grill

Man observerade ökade NO_x-emissioner med ökande wobbeindex, dock var en ångpanna i ultralåg-NO_x förhållandevis okänslig avseende gaskvalitet, såväl emissioner som NO_x och Co påverkades relativt lite. CO-emissionerna ökade något med ökande wobbeindex men inga riktigt höga halter observerades förrän wobbeindex översteg 52 MJ/Nm³.

Man testade att injustera grillen för en gas med högt wobbeindex och bytte sedan till en gas med lågt wobbeindex samt det omnämnda. I det första fallet blev maten ej tillagad tillräckligt och i det sistnämnda blev maten mer än väl tillagad.

7.2.1 Ångpanna med låg-NO_x brännare

Man genomförde tester på en ultralåg-NO_x brännare för ångpannor (knappt 200 kW). Flamtemperaturen varierade mellan 855 och 970 °C och trenden var en ökande flamtemperatur med ökande wobbeindex, denna trend upprepades för avgastemperaturen som också steg med ökande wobbeindex vilket indikerar ökande rökgasförluster.

CO-halten varierade mellan <1 och 62 ppm. För de tre gaserna med lägst wobbeindex var CO-emissionerna 17-62 ppm och för de tre gaserna med högst wobbeindex var emissionerna lägre än 3 ppm. HC varierade mellan 3-105 ppm, för de tre gaserna med lägst wobbeindex var HC-emissionerna 25-67 ppm och för de tre gaserna med högst wobbeindex var emissionerna 3-9 ppm. NO_x påverkades mindre, mellan 6-12 ppm mättes upp. Inverkan på NO_x emissionerna är således begränsad medan emissionerna av CO och HC påverkas en del av en varierande kvalitet.

Motsvarande försök gjordes med en låg-NO_x brännare på knappt 90 kW och motsvarande tendenser avseende förbränningstemperatur av rökgastemperatur observerades. CO-halten varierade mellan <1 och 62 ppm. För de tre gaserna med lägst wobbeindex var CO-emissionerna 22-52 ppm och för de tre gaserna med högst wobbeindex var emissionerna lägre än 3 ppm. HC varierade mellan 3-105 ppm, för de tre gaserna med lägst wobbeindex var HC-emissionerna 5-0 ppm och för de tre gaserna med högst wobbeindex var emissionerna lägre än 5 ppm. NO_x påverkades mindre, mellan 15-40 ppm mättes upp vilket är en större variationer än för ultra låg-NO_x brännaren.

Slutsatsen från dessa försök är att ökande wobbeindex gav upphov till lägre emissioner av CO och HC medan det inte går att dra någon mer generell slutsats angående NO_x.

7.2.2 Gaspannor

Tester genomfördes på två panntyper, en golvpanna och en väggpanna av märket Legacy, som testgaser användes samma gaser som för ångpannebrännaren. För väggpannan varierade CO mellan 35-184 ppm där gas 3 och 6 gav upphov till höga emissioner. För övriga var CO lägre än 7 ppm. NO_x påverkades endast lite och varierade mellan 57-66 ppm. HC varierade mellan 190-450 ppm vid samtliga test med en tendens till sjunkande HC-emissioner för gaser med höga wobbeindex.

För golvpannan varierade CO mellan 1-8 ppm utan att några tendenser med hänsyn till wobbeindex kunde dras. NO_x påverkades endast lite och varierade mellan 138-147 ppm. HC varierade mellan 18-465 ppm vid samtliga test med en mycket klar tendens till sjunkande HC-emissioner för gaser med höga wobbeindex.

Slutsatsen från dessa försök är att ökande wobbeindex gav upphov till lägre emissioner av HC medan det inte går att dra någon mer generell slutsats angående NO_x och CO.

7.2.3 Vattenvärmare

Två typer av vattenvärmare testades, en genomströmningsberedare och en beredare med tank för cirka 150 liter. För genomströmningsberedare varierade CO mellan 22-51ppm och några tendenser till variation som följer wobbeindex kunde ej noteras.

NO_x varierade mellan 101-132 ppm. HC varierade mellan 10-98 ppm med en tendens till sjunkande HC emissioner för gaser med höga wobbeindex.

För beredaren med tank var CO lägre än 6 ppm utan att några tendenser med hänsyn till wobbeindex kunde dras. NO_x påverkades endast lite och varierade mellan 88-91 ppm. HC var under 1 ppm vid samtliga test.

För denna applikation kunde några slutsatser avseende påverkan från wobbeindex inte dras.

7.3 DGC försök med vätgas i en gaspanna [12]

På DGC har man testat förbränning av olika halter av vätgas i naturgas i en Vaillant VC 126 gaspanna. Man testade mellan 10-85 vol-% vätgas (utrustningen kunde inte leverera högre andel än så) och man observerade inga större problem och försöken kan sammanfattas enligt:

- Ett långtidsförsök med start/stopp under 100 timmar med 35 vol-% vätgas gav inga problem.
- Upp till 70 % vätgas sjunker förbränningstemperaturen för att därefter stiga.
- Ett högre luftöverskott och mer syre i avgaserna erhöles med ökande andel vätgas.
- Sänkta emissioner av NO_x, CO och CO₂ till följd av lägre förbränningstemperatur och lägre andel kol i bränslet.
- Lägre uteffekt från pannan, cirka 15-20 % lägre vid 50 vol-% vätgas.

Slutsatsen är att denna panna kan hantera betydande halter vätgas utan att det uppstår problem. Fler tester återstår, bland annat ett långtidstest och försök med en Bosch gaspanna.

7.4 DTI studie över hushållsapparater [13]

Man testade 10 olika apparater som utsattes för 16 olika testgaser enligt nedanstående specifikation:

Tabell 6. Data för testade gasblandningar.

	Max	Min	
CH ₄	72	100	%
C ₃ H ₈	0	22	%
N ₂	0	10,5	%
Wobbeindex	45	56	MJ/Nm ³

Man testade 5 pannor, 2 spisar 1 vattenvärmare, en strålningsvärmare samt en flamdekoration. Testerna med olika wobbeindex visade på en trend till ökande CO- samt NO_x-emissioner vid ökande wobbeindex. Speciellt kan det noteras att man observerade CO-halter över 3000 ppm för "worst case", klart över en gräns som är acceptabel ur säkerhetssynpunkt. För två av pannorna var emissionerna 6 respektive 8 gånger högre vid wobbeindex 56 jämfört med referensgasen (G20). Verkningsgraden påverkades endast marginellt av varierande wobbeindex och låg inom mätnoggrannheten.

Man testade också om kvävgasinblandning hade någon påverkan på apparaternas funktion och i detta fallet kan man inte dra några generella slutsatser avseende hur funktionen påverkas. I de flesta fallen var emissionerna nästan oförändrade jämfört med referensgasen (G20). Verkningsgraden var i princip opåverkad.

Ett långtidstest med en kondenserande gaspanna där man använde en gas med högt wobbeindex (54 MJ/Nm^3) som bränsle visade på oförändrade NO_x -emissioner över tiden medan CO -emissionerna steg från 110 till 134. Verkningsgraden påverkades ej.

7.5 Advantica studier över hushållsapparater

Advantica har genomfört ett antal studier över vilken inverkan en varierande gaskvalitet har på olika gasapparater och här redovisas de viktigaste resultaten.

7.5.1 Advantica pilot study [14]

I denna studie har man använt 21 olika gasblandningar för att studera effekterna av varierande gaskvalitet:

Tabell 7. Data för testade gasblandningar.

	Max	Min	
CH_4	62,3	99,1	%
C_3H_8	0	31,7	%
N_2	0	6,8	%
CO_2	0	6	%
Wobbeindex	46,1	55,7	MJ/Nm^3

Applikationerna omfattar:

- Vattenvärmare
- Gaspanna
- Kondenserande gaspanna

Halterna av CO och CO_2 ökar med ökande wobbeindex vilket var förväntat. NO_x emissionerna tenderar att öka vid högre wobbeindex. Två apparater uppvisade klara problem med sotning vid höga wobbeindex, en panna och en brasa, problemen var speciellt uttalade för brasan. I allmänhet inträdde inga problem med sotning förrän gaser med wobbeindex överstigande 53 MJ/Nm^3 testades. Man bedömer att verkningsgraden inte påverkas av varierande wobbeindex.

7.5.2 Advantica gas appliance study [15]

I denna studie använde man 16 olika testgaser med följande sammansättningar:

Tabell 8. Data för testade gasblandningar.

	Max	Min	
CH_4	71,5	100	%
C_3H_8	0	22,5	%
N_2	0	10	%
Wobbeindex	45,0	54,0	MJ/Nm^3

Applikationerna omfattar:

- Vattenvärmare
- Gaspanna
- Kondenserande gaspanna
- Spis
- Brasa

I samtliga försök observerades ökade CO₂-emissioner vid ökande wobbeindex vilket förklaras av att gaserna med högt wobbeindex innehåller en högre andel tyngre kolväten vilket skapar högre CO₂-emissioner. För gaser med mycket högt wobbeindex (över 53 MJ/Nm³) kunde man i vissa fall observera mycket höga CO-emissioner. I fallet med en ny kondenserande gaspanna uppmättes CO halter överstigande 0,1 % i avgaserna.

- Gällande NO_x-emissionerna kunde ingen generell trend observeras, möjligen att apparater med premix brännare tenderade till att uppvisa högst variationer avseende NO_x för olika testgaser.
- Man observerade inga problem med sotning för testgaser där wobbeindex var lägre än 53 MJ/Nm³.
- Verkningsgraden påverkades ej av byte av gaskvalitet.
- Flamövervakningen fungerade utan problem vid byte av gaskvalitet. Två av apparaterna var utrustade med övervakning avseende CO vilken tenderade att slås ut vid förbränning av gaser med höga wobbeindex och skyddade därmed inte.
- Inblandning av kvävgas påverkade inte apparaternas NO_x-emissioner.

7.6 Gastec studie av sotningsbenägenhet [16]

Gastec har utrett ett antal frågeställningar relaterade till sotning kopplat till varierande wobbeindex mellan cirka 47-54 MJ/Nm³. Även om sotningsbenägenheten är kopplad till en gas wobbeindex, går det inte att säga att en viss gas med garanti orsakar sotning. För wobbeindex över 51,5 MJ/Nm³ observerade man i alla fall en ökad risk för sotning. De mest sotningsbenägna applikationerna var sådana med en hög sekundärluftmängd och redan från början injusterade att ge gula flammor, exempelvis gasbränsor.

7.7 Gastec studie av kvävgasinblandning [17]

För att undersöka vilka effekterna blir av att blanda in interna komponenter som kväve eller koldioxid för att åstadkomma ett lägre wobbeindex, har Gastec undersökt vilka effekter det innebär att blanda in kväve.

Tabell 9. Data för testade gasblandningar.

	CH ₄	C ₃ H ₈	N ₂	CO ₂	LHV	Wobbeindex
Gas 1	100	-	-	-	34,1	50,7
Gas 2	77,1	15	7,9	-	39,6	50,7
Gas 3	79,0	15	-	6	40,3	50,7

Kompressibiliteten påverkas marginellt, skillnaden mellan högsta och lägsta kompressibilitet vid 80 bar är endast cirka 5 %. Dock har gaserna med högre värmevärde lägst kompressibilitet också högst värmevärde vilket innebär att ett gasfordon kan förväntas tanka cirka 20 % mer energi för exempelvis gas 3.

Frågan om huruvida kväveinnehållet i gasen påverkar NO_x-emissionerna från olika applikationer eller inte diskuteras utförligt och slutsatsen är att det är väldigt begränsad påverkan till följd av högre halter av kvävgas i gasen. Man undersöker vilken effekt wobbeindex mellan 35-55 MJ/Nm³ har på sex olika varmvattenberedare och konstaterar att de fem som är utrustade med självdragsbrännare så ökar NO_x-emissionerna linjärt med stigande wobbeindex medan den sjätte, som är utrustad med en fläktbrännare, knappt påverkas.

Industriella brännare på över 100 kW anser man inte kommer att påverkas av varierande innehåll i gasen så länge man håller wobbeindexet inom ungefär samma gränser som den ursprungliga gasen. Man förväntar sig heller ingen påverkan till följd av kväve i gasen. Den enda sak som man bör uppmärksamma är att antändningstemperatur och antändningsgränser påverkas när halten av tyngre kolväten ändras.

Vad det gäller petrokemiska processer konstaterar man att det inte går att göra några generella uttalanden om vilken inverkan högre halter tunga kolväten har på processen. Vad det gäller innehåll av inerta komponenter i gasen, konstateras att det finns en liten, men ej helt försumbar risk, att i processer där man recirkulerar delar av produktgasen, finns det risk att halten inerta komponenter byggs upp till nivåer som inte är acceptabla.

Slutsatsen är att det inte bör skapa några problem för gasapparater och processer om man blandar in kvävgas i gaser med höga wobbeindex i syfte att reducera wobbeindexet. Det finns små risker för kemiska processer men dessa bedöms vara hanterbara. Den enda sak som man bör uppmärksamma är att antändningstemperatur och antändningsgränser påverkas när halten av tyngre kolväten ändras. Om wobbeindexet skall sänkas genom inblandning av inerta komponenter kan antingen CO₂ eller N₂ väljas och några skäl att förorda den ena eller den andra kan inte konstateras.

7.8 Fordonsmotorer

Ett modernt gasfordon är i allmänhet utrustat med ett återkopplade styrsystem, d.v.s. styrsystemet känner av gaskvaliteten och anpassar styrningen efter denna. Dock finns det givetvis gränser för hur stora variationerna kan tillåtas vara. Äldre fordon utan återkopplade styrsystem kan tänkas påverkas av en varierande gaskvalitet men det är osannolikt att det skulle kunna påverka driften nämnvärt, i alla fall med bakgrund av de beräknade wobbeindex.

Det har gjorts ett antal studier över hur gaskvaliteten påverkar motorfunktionen och emissionerna, dock är det tveksamt hur mycket värde som något äldre (>10 år) studier har eftersom utvecklingen på motorsidan har skett mycket fort de senaste åren. En senare studie gjord i Europa testar åtta olika gaser med metanhalter mellan 70-97 %, etan mellan 0,5-8 %, propan mellan 0,2-12 %, butan mellan 0,1-12 % och kväve mellan 0,8-17 %. Man konstaterar att gasfordonets motor klarar av variationerna mycket bra och för att på bästa sätt kunna hantera så pass stora variationer så rekommenderas två olika motormappningar, en för H-gas och en för L-gas.

I Kalifornien gjordes försök på såväl tunga som lätta fordon för att undersöka hur en varierande gaskvalitet påverkade emissionerna från olika fordonstyper och man undersökte även metantalets inverkan [18]. Slutsatsen från försöken är att man inte kan dra några slutsatser avseende gaskvalitetens påverkan på emissionerna från moderna fordonsmotorer med återkopplade styrsystem. Den enda skillnad som kunde noteras var att CO₂-emissionerna steg något med minskande metantal, detta kan förklaras av att halten av tyngre kolväten ökar då metantalet minskar och därmed ökar också koldioxidemissionerna.

Det finns inget som talar emot att olika gaskvaliteterna skall kunna användas problemfritt för fordonsdrift. Några av de angivna gaskvaliteterna kan förväntas ha ett något lägre metantal än övriga men skillnaden bör inte kunna medföra några problem. Det finns standarder för naturgas till motorfordon men det finns ingenting som pekar på att de aktuella gaskvaliteterna har en sammansättning som står i motsats till standarderna. En slutsats från studien i

Kalifornien är att man i många fall har satt upp specifikationer som är onödigt stränga och att man skulle kunna släppa på kraven utan att motorns funktion påverkas.

7.9 Industriella förbränningsapplikationer

I detta avsnitt behandlas alla typer av industriella förbränningsprocesser och begreppet industriella applikationer spänner över en stor bredd och är omöjligt att täcka med en studie av denna storlek. Man kan också konstatera att mer komplexa industriella processer är välöversvakade och att man därmed har goda möjligheter för att hantera en varierande gaskvalitet.

Oavsett process består oftast en industriell applikation av en brännare som har till uppgift att åstadkomma en önskad temperatur och upprätthålla denna inom ett önskat intervall. Generellt sett kan man konstatera att brännare som arbetar vid relativt höga luftöverskott kommer att påverkas minst av variationer i wobbeindex och värmevärde. Det höga luftöverskottet medför att det finns gott om restsyre i avgaserna som kan användas för att förbränna en gas innehållande exempelvis en högre andel tyngre kolväten. Problem kan uppstå om man istället erhåller ett bränsle med lägre wobbeindex och som innehåller en lägre andel tyngre kolväten.

Däremot kan brännare som arbetar vid eller nära stökiometriskt förhållande (för att exempelvis upprätthålla en reducerande atmosfär i en ugn) påverkas negativt av varierande gassammansättning eftersom man kan närma sig understökiometrisk drift alternativt producera höga halter av kolväten och kolmonoxid.

Ett annat fall är när lågan kommer i direkt kontakt med det föremål som skall värmas eller smältas och förekomsten av föroreningar kan påverka slutproduktens kvalitet. I detta fallet är det alltså inte gasbrännarens tekniska funktion som påverkas av en varierande gaskvalitet utan det är slutproduktens egenskaper som påverkas negativt. Ett typfall är glassmältning där även små halter av föroreningar kan medföra att glaset erhåller en annan färgnyans än den önskade.

Nedan ges exempel på två olika brännare samt hur funktionen kan påverkas av varierande sammansättning på gasen.

7.9.1 Höghastighetsbrännare

I en höghastighetsbrännare strömmar rökgaserna ut ur brännaren med hög hastighet vilket ger en hög konvektiv värmeöverföring och en jämn temperaturfördelning vilket ofta är önskvärt i ugnar. Brännaren arbetar oftast vid relativt låga luftöverskott ($1\frac{1}{2}$ - $2\frac{1}{2}$ % restsyre i rökgaserna) vilket kan förorsaka problem när wobbeindex ökar och därmed också luftbehovet ökar.

7.9.2 Kanalbrännare

Dessa arbetar vanligen med stora luftöverskott (över 50 %) vilket medför att en stabil förbränning bör kunna upprätthållas för gaser med ökande wobbeindex, dock kan emissionerna av NO_x öka. Ökande NO_x -emissioner kan vara speciellt problematiska eftersom denna typ av brännare ofta används i torkapplikationer och i de fall livsmedel eller foder skall torkas finns det ofta mycket höga krav på låga emissioner. Om wobbeindex minskar finns det risk att bränsle-luft blandningen blir så pass mager att stabilitetsproblem uppstår.

7.10 Gasturbiner

Idag ställs vanligen mycket höga krav på emissioner från gasturbiner och med en varierande gaskvalitet så kan dessa påverkas så att man riskerar överskrida uppsatta gränsvärden. Ett annat problem är att man kan få övertemperaturer eller oscillationer i brännaren vilket kan skada utrustningen eller förkorta livslängden. Moderna gasturbiner är vanligen utrustade med Dry Low Emissions (DLE) förbränningssystem där en mager förblandad gas-luftblandning förbränns med mycket låga emissioner. Samtidigt skall man notera att en modern gasturbin har mycket avancerad styr- och övervakningsutrustning och att man därmed kan identifierad avvikande drift till följd av avvikande gaskvalitet relativt snabbt. Det går också att motivera dyrbar bränsleövervakning på en så pass stor investering som en gasturbin.

I en studie argumenterar man för att wobbeindex inte är ett tillräckligt mått för variationer i gaskvaliteten utan andra faktorer som förbränningshastighet, självantändningstemperatur och luft/bränsle-förhållande måste också tas med i bedömningen. Man konstaterar att små till måttliga höjningar av C_2+ kolväten kan ge upphov till väsentligen högre NO_x -bildning, speciellt för gasturbiner utan SCR som körs på dellast [19].

7.10.1 CEC Workshop [20]

Här rapporterar man försök med tre olika gaser där wobbeindex varierar mellan 52,1-54,7 kWh/Nm³ och värmevärdet mellan 39,5-44,3 kWh/Nm³. Resultaten visar att NO_x -emissionerna inte påverkas av denna variation, som dock är måttlig till storleken.

7.10.2 Incident i USA [21]

Under fyra dagar i USA hade man en incident som påverkade gaskvaliteten i ett område med ett antal gasturbiner installerade. På grund av att ett haveri i Kanada kunde man tillfälligt inte avlägsna tunga kolväten i den gas som levererades i aktuell pipeline och resultatet var att värmevärdet under en vecka gick upp med cirka 5 % (max) och wobbeindex med cirka 7 % (max). Samtidigt minskade metaninnehållet med 5 procentenheter, etan steg med 4 procentenheter och propan med 1,5 procentenheter. Samtliga turbiner var utrustade med efterbehandling av rökgaserna.

Tabell 10. Effekter av ökande värmevärde och wobbeindex på fyra gasturbiner i USA.

Anläggning	NO_x före SCR/SCONOX	Effekter på SCR	NO_x efter SCR/SCONOX
GT1 Siemens SGT800, Redding	4 % ökning vid 4 % ökning av LHV	Inga, utrustad med SCONOX	NO_x oförändrad
GT2, Westinghouse 501FD, Sutter	15 % ökning vid 3,5 % ökning av Wobbeindex	10 % mer NH_3 vid 3,5 % ökning av Wobbeindex	NO_x oförändrad
GT3, Westinghouse 501FD, Delta	Saknas data	NH_3 mindre ökning	$NO_x + 2$ ppm
GT4, GE 7FA, Los Medanos	Saknas data	NH_3 mindre ökning	NO_x oförändrad

Slutsatsen är att de kontrollerade NO_x -emissionerna endast påverkades marginellt av relativt höga ökningar av wobbeindex. Reningssystemen kunde kompensera för ökad NO_x -bildning genom att spruta in mer ammoniak och därmed påverkades inte NO_x -emissionerna. Några uppgifter om eventuella skador på gasturbinerna till följd av händelsen finns inte.

7.11 Naturgas som råvara

I detta avsnitt avses endast naturgas som används som råvara, de flesta industrier använder också naturgasen som bränsle för att exempelvis förse processerna (exempelvis en reformer) med nödvändig värme men detta är då en konventionell uppvärmningsprocess.

När naturgas används som råvara består processen oftast av dels ett steg där man producerar en syntesgas bestående av kolmonoxid, vätgas, koldioxid. Nästa steg är att justera syntesgasens sammansättning (H_2/CO) så att den är lämplig för syntetisering av den önskade slutprodukten.

Syntesgasproduktionen sker katalytiskt och denna process är i allmänhet känslig för föroreningar, exempelvis svavel, kloriner, tjära, partiklar och alkalimetaller. Gasen måste därför vara fri från sådana föroreningar. Varierande halter av tyngre kolväten skall inte påverka processen nämnvärt då dessa inledningsvis kan brytas ned till metan. Ett sätt att hantera tyngre kolväten är att ha en pre-reformer i sin process där längre kolväten bryts ned innan processen. Detta gör processen mindre känslig för varierande halter av tunga kolväten.

Detta ämnesområde i sig skulle lätt kunna omfatta en studie tiofaldigt större än föreliggande och det är i princip omöjligt att dra några mer generella slutsatser. Eventuella studier över gaskvalitetens inverkan på processer där naturgas används som råvara bör istället läggas upp som "case studies".

8 Tillverkarkrav och andra krav

I detta kapitel återges några tillverkares krav på acceptabla gassammansättningar. Det innebär inte att applikationen ifråga kan fungera inom hela det intervall som anges utan snarare att utanför de gränserna kan tillverkaren inte upprätthålla utlovade garantier. Efter injustering fungerar apparaten inom ett betydligt smalare intervall än vad som anges i specifikationen. Ett fåtal tillverkare anger maximal avvikelse från exempelvis wobbeindex.

8.1 Gasturbiner

Förbränningstekniskt sett är brännkammarna i moderna gasturbiner troligen de mest komplicerade. Det är mycket hög effekttäthet, temperaturer på gränsen till vad materialen klarar av och samtidigt mycket låga emissioner (runt 10 ppm NO_x). Samtidigt kan en modern gasturbin använda ett brett bränslespektrum men under förutsättning att den är injusterad för det aktuella bränslet. Två större gasturbinleverantörer har följande bränslespecifikationer:

Tabell 11. Bränslespecifikation från tillverkare 1.

Värmevärde	28-40 MJ/Nm ³
Wobbeindex	42-53 MJ/Nm ³
Max variation, wobbeindex	±5 %
Kolväten C ₃ +	Max 10 %
H ₂ och CO	Max 5 vol-% H ₂ (beror på total CO)
CO ₂ , N ₂ och H ₂ O	
Fasta föroreningar	5 ppm(w)
Max storlek	5 µm
Na+K	0,2 ppm(w)
Ca	2 ppm(w)
Andra metaller	2 ppm(w)
H ₂ S	0,01 vol-%
Totalsvavel	-

Tabell 12. Bränslespecifikation från tillverkare 2.

Värmevärde	28-40 MJ/Nm ³
Wobbeindex	40-54 MJ/Nm ³
Max variation, wobbeindex	±5 %
Metan	85-100 vol-%
Etan	0-15 vol-%
Propan	0-15 vol-%
C ₄ +	Max 5 vol-%
H ₂	Spår
CO	Spår
O ₂	Spår
Inerta	Max 15 vol-%
Aromatiska kolväten	-
Svavel	-
Pb	1 ppm(w)
V	0,5 ppm(w)
Ca	2 ppm(w)
Mg	2 ppm(w)
Partiklar	30 ppm(w)
Varav över 10 µm	0,3 ppm(w)

Avvikelser från ovanstående specifikation kan tillåtas men måste diskuteras med tillverkaren.

8.1.1 CARB studie över olika tillverkares krav [22]

California Air Resources Board (CARB) har sammanställt bränslespecifikationer från fem olika tillverkare av gasturbiner som återges nedan. Det är återigen kraven på bränslet som återges, efter injustering till ett specifikt bränsle så kan man inte tolerera större avvikelser än de som exempelvis anges av tillverkare A respektive B.

Tabell 13. Bränslekrav från fem olika gasturbintillverkare.

Modell	A	B	C	D	E
Wobbeindex variation	±5 %	±2 %	-	-	-
Wobbeindex max	52,7 MJ/Nm ³	-	53,8 MJ/Nm ³	56,7 MJ/Nm ³	56,7 MJ/Nm ³
Wobbeindex min	35,2 MJ/Nm ³	-	42,8 MJ/Nm ³	43,7 MJ/Nm ³	42,1 MJ/Nm ³
Wobbeindex förändr	-	2 %/min	0,5 %/sek.	-	-
Max etan	15 %	16 %	-	-	-
Max propan	15 %	2,5 %	10 %	-	-
Max C ₄ ⁺	5 %	1 %	-	-	-
Max LHV	-	-	55,9 MJ/Nm ³	45,5 MJ/Nm ³	45,5 MJ/Nm ³
Min LHV	3,2 MJ/Nm ³	8,1 MJ/Nm ³	6,8 MJ/Nm ³	8,5 MJ/Nm ³	9,5 MJ/Nm ³

8.2 Gaspannor

För gaspannor ges inga specifika krav utan vanligen brukar man ange kraven till exempelvis gasfamilj 2H. För gaspannor är det injusteringen som kommer att avgöra inom vilka intervall som pannan kommer fungera tillfredsställande.

Moderna större brännare (i MW-storlek) är ofta utrustade med någon form av återkopplat styrsystem som ofta mäter O₂-halten i rökgaserna och justerar förbränningsparametrarna efter detta värde. På så sätt kan förbränningen justeras utifrån en förändrad gaskvalitet och dessa löper mindre risk att påverkas av en varierande gassammansättning. Även mindre gaspannor kan förses med O₂-reglering som tillåter en högre grad av varierande gassammansättning än pannor som regleras genom manuella spjäll eller liknande. Exempelvis kan Vaillant, Weishaupt och Viessmann erbjuda O₂-och/eller CO-reglering i sina villapannor. Troligen kommer detta att bli standard på i princip alla gaspannor inom ett par år vilket innebär att pannan justerar luftflödet efter gaskvaliteten och därmed kan pannan hantera en varierande gaskvalitet till en viss gräns.

För gasbrännare som inte är försedda med återkopplade styrsystem avgör injusteringen hur väl den kommer att hantera en varierande gaskvalitet. Om exempelvis den injusteringsmetod som beskrivs i DGC vejledning nummer 2 används, injusteras pannan för en driftpunkt där man har 3,5 % mer syre i rökgaserna jämfört med den punkt där pannan börjar producera CO. Förutsättningarna är:

- Luftmängden förutsätts vara konstant medan gasens sammansättning varierar.
- Pannan börjar producera CO vid 1 % restsyre i rökgaserna och driftpunkten blir således 4,5 % syre i rökgaserna, d.v.s. ett luftöverskott på 1,25.
- Gasen är rysk naturgas och wobbeindex är 53,1 MJ/Nm³.
- Då finns det 0,55 m³ syre i rökgaserna och volymen luft vid förbränning blir 12 m³/m³.

Om gasen ändras till dansk naturgas med wobbeindex 54,97 MJ/Nm³ medan luftvolymen fortfarande är 12 Nm³, blir syreöverskottet 2,8 % i rökgaserna, d.v.s. väl över de 1 % där pannan börjar producera CO.

Om en gas med lågt wobbeindex används, i detta fallet en fiktiv gasblandning bestående av 95 % metan och 5 % kvävgas, blir wobbeindex 49,9 kWh/Nm³ och luftvolymen 11,3 Nm³. Vid byte till dansk naturgas med 10 % högre wobbeindex sjunker restsyret till 1,7 %, dock fortfarande väl över gränsvärdet 1 %.

Med den injusteringsmetod som beskrivits så är slutsatsen att det krävs stora variationer i gassammansättningen innan förbränningen påverkas mycket negativt. Dock kan dellast-egenskaperna vara ett hinder i sammanhanget och när en anläggning körs på dellast kan den ha avvikande driftegenskaper som gör att den får problem vid dellast.

För större anläggningar beskrivs en något mer komplicerat injustering i DGC vejledning nummer 5, bland annat tar man hänsyn till lufttemperaturer såväl maximal lufttemperatur som aktuell lufttemperatur och lufttrycket. Principen är dock densamma, injusteringen avgör funktionen.

Wobbeindex är dock inte 100 % relevant indikator i sammanhanget eftersom det är halten av tyngre kolväten som påverkar luftbehovet mest. Vad det gäller halter av olika ämnen som normalt endast förekommer i små halter i naturgas som vätgas, kolmonoxid och andra föroreningar, finns det inga tillverkarspecifikationer över maximalt tillåtna halter utan högre halter av dessa ämnen i gasen måste diskuteras med tillverkaren och avgörs från fall till fall. Det finns dock inget som talar för att de förhållandevis låga halter som kan bli aktuella kommer att kunna orsaka några problem för gaspannor.

8.3 Fordon

Det finns flera nationella och internationella standarder för gas till fordon och nedan ges exempel från tyska DIN 51624 [23].

Tabell 14. Bränslespecifikation enligt DIN 51624:2007-2.

	Min (vol-%)	Max (vol-%)
CH ₄	80	
C ₂ H ₆		8,5
C ₃ H ₈		5
C ₄ H ₁₀		2
C ₅ H ₁₂		1
C ₆ +		0,5
CO ₂		2
O ₂		3
N ₂		15 (max 15 N ₂ +CO ₂)
Metantal	70	75
H ₂ S		5 mg/m ³
Merkaptaner		6 mg/m ³

Från tillverkarsidan finns inga exakta krav utan man hänvisar till att fordonen klarar av att fungera inom spannen för de testgaser som används. EU direktiv 2005/55/EG [24] anger vilka bränslen som fordonet skall uppfylla kraven för. För fordon drivna med naturgas H eller L skall testgaserna GR och G25 användas.

8.3.1 Standarder för fordonsgas

För biogas finns det en svensk standard ”SS 15 54 38 – Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer” men motsvarande svenska standard för naturgas finns ej. Utomlands finns det en

IS- standard (ISO 15304), en SAE-standard (SAE J1616) och sedan har Kalifornien tagit fram en standard för CNG. Man kan konstatera att ISO-standarderna är ganska liberala och endast anger ett fåtal absoluta värden för tillåtna halter av olika ämnen i CNG medan SAE-standarderna anger siffervärden i fler fall.

Vatten i gasen kan leda till att det fryser i samband med trycksänkning, exempelvis tankning. För gas som transporterats som LNG finns ej denna risk och för gas från andra källor är tankstationerna vanligen utrustade med torkar. Tyngre kolväten som propan och butan kondenserar vid måttliga tryck och låga temperaturer. Standarderna anger olika värden för tunga kolväten:

- SAE J1616: Gassammansättningen skall vara sådan att man inte riskerar att mer än 1 % tyngre kolväten kondenserar vid lägsta tänkbara omgivningstemperatur och tryck på mellan 55-83 bar.
- ISO 15403: Gassammansättningen skall vara sådan att man inte riskerar att mer än 1 % tyngre kolväten kondenserar vid lägsta tänkbara omgivningstemperatur och tryck på mellan 25-45 bar.

Ett högre innehåll av tunga kolväten ökar dock risken för knockning i motorn, där bidrar även höga halter av etan till ökad risk för knockning. Det är framför allt vissa LNG kvaliteter som tenderar att ha en något högre halt av etan än övriga gaser men i gengäld så har den ett relativt lågt innehåll av propan och butan vilket i sin tur betyder att metantalet troligen inte är speciellt mycket lägre än för övriga gaser. Några beräkningar har dock inte gjorts men kan göras vid behov. Ingen standard anger något krav eller rekommendation på metantal för naturgas till fordonsdrift.

Inerta komponenter som kväve och koldioxid passerar igenom motorn. Koldioxid kan också ha en korrosiv inverkan tillsammans med vatten men på grund av de stränga kraven på gasens torrhet är detta inget problem i motorsammanhang. Höga halter av inerta komponenter kan dock sänka värmevärdet vilket bidrar till minskad aktionsradie för fordonet. ISO 15403 anger inga värden för maximala halter medan SAE J1616 anger 3 % koldioxid som rekommenderad maximal halt.

Ingen standard reglerar metaninnehållet för naturgas till motorfordon. Metanhalten i de olika gaskvaliteterna varierar mellan 84,5 % upp till 100 %, i princip kan man konstatera att en högre metanhalt inte förorsakar några som helst problem, dock sänks fordonets aktionsradie något på grund av det lägre värmevärdet. För gaser med låga metanhalter är halterna av högre kolväten ofta relativt höga vilket i sin tur ger något större aktionsradie.

SAE J1616 anger 8-16 ppm (vikt) som tillåten svavelhalt medan ISO 15304 inte anger något värde utan konstaterar att det ej finns någon korrosionsrisk utan fukt närvarande. SAE J1616 rekommenderar ett wobbeindex mellan 48,5-52,9 MJ/Nm³, dock ligger den danska gasen över detta utan att det förekommer några problem med gasdriften. ISO- standarderna anger inga värden utan nöjer sig att konstatera att motorer utan återkopplade styrsystem kan påverkas negativt av varierande wobbeindex.

Båda standarderna tar upp andra ämnen som av olika anledningar är mer eller mindre tänkbara att förekomma i CNG, exempel är syrgas, metanol, partiklar med mera. Det finns dock ingen anledning att misstänka att någon av de beskrivna gaskvaliteterna avviker från standardernas rekommendationer

8.4 Hushållsapplikationer

Med hushållsapplikationer avses spisar, grillar, samt andra applikationer som används i hemmet. Sedan ett flertal år tillbaka är de utrustade med allgasbrännare och kan förses med olika dysor beroende på gas. Vanligen används samma dysa för alla gaser inom en och samma gasfamilj, det vill säga stadsgas, naturgas respektive gasol. Vanligen hänvisas till gasfamiljerna för att definiera stadsgas, naturgas respektive gasol.

8.5 Industriella processer

Ingen tillfrågad tillverkare uppger några direkta krav utan hänvisar oftast till gasfamiljerna eller att man får diskutera det aktuella fallet med dem.

9 Åtgärder för att justera och detektera gaskvaliteten

Det är troligt att i alla fall vissa länder, inte minst de som kommer att försörjas med en hög andel LNG, kommer att behöva justera gasens sammansättning för att upprätthålla tillfredsställande funktion hos apparatbeståndet. I andra länder kommer det troligen inte att bli så pass stora variationer men det kan finnas behov att i större utsträckning än idag mäta gassammansättningen på nätet.

9.1 Justera gasens sammansättning

Det finns flera möjligheter att förändra gassammansättningen, för naturgas som levereras via rör är det svårt att justera kvaliteten men för LNG kan man tänka sig ett antal olika metoder för att förändra gaskvaliteten:

Sänka wobbeindex:

- Kondensera ut delar av tyngre kolväten.
- Inblandning av kväve eller annan inert komponent.
- Inblandning av gas med lägre värmevärde.
- Delreforming av tyngre kolväten och återinblandning i gasen.

Samtliga metoder har sina för- och nackdelar, om tyngre kolväten skall skiljas av måste det finnas en marknad för exempelvis etan, propan och butan där överskottet kan säljas. Ett exempel på en plats där en sådan lösning skulle vara lämplig är en mottagningsstation för LNG i närheten av Borealis i Stenungsund där man har ett stort behov av etan och propan. Metoden har använts i bland annat Spanien.

Inblandning av kvävgas eller koldioxid i gasen kräver tillgång till stora volymer av någon av dessa gaser. Detta finns det dock etablerad teknik utvecklad för och det rör sig mer om en kostnadsfråga. Exempelvis finns det planer att samtliga LNG terminaler i Storbritannien skall utrustas med möjligheten att blanda in kvävgas. Koldioxid skulle teoretiskt också kunna användas men frågan hur olika apparater hanterar relativt höga halter av koldioxid är inte lika välutredd som för kväve.

Vid delreforming av tyngre kolväten omvandlas dessa till i huvudsak metan och en del vätgas och kolmonoxid. Det blir en något mer komplex anläggning än exempelvis inblandning av kväve men metoden har testats i Italien.

Höja wobbeindex:

- Blanda in tyngre kolväten.
- Avskilja inerta komponenter.

Idag blandar man in propan i uppgraderad biogas i syfte att åstadkomma en gas med samma värmevärde som naturgasen men detta är dyrt och ingen trolig lösning för att åstadkomma en gas med högre wobbeindex. Man kan även urskilja inerta komponenter men även detta är dyrt.

Om man tittar på de LNG-kvaliteter som idag levereras så har de flesta ett relativt högt wobbeindex och i de flesta fall kommer det troligen att handla om en sänkning av wobbeindex. Beroende på en LNG-terminals läge, kan olika metoder för detta vara mer eller mindre lämpliga men att döma av de studier som inventerats är det kväveinblandning som verkar bli det vanligaste sättet.

9.2 Detektera gaskvalitet

Idag analyseras inte gasens sammansättning kontinuerligt mer än på ett fåtal platser. Inblandning av andra gaser nedströms mätpunkten kommer således inte att kunna detekteras. Samtidigt är provtagning och analys i traditionell gaskromatograf tids- och kostnadskrävande, speciellt om det skall implementeras på många platser. Nedan ges två exempel på mätutrustning som kan användas för att detektera gassammansättningen mer eller mindre online.

9.2.1 GasPT [25]

Advantica har utvecklat en sond, GasPT, som genom att mäta ett antal storheter hos gasen som ljudhastighet med mera, kan beräkna egenskaper som värmevärde, metantal, relativ densitet, wobbeindex, innehåll av CH_4 , CO_2 , N_2 och C_3H_8 m.m. En sådan sond har testats av DGC som använde en gaskromatograf som referensinstrument. Resultaten kan sammanfattas som:

- Den genomsnittliga avvikelsen för värmevärdet var $0,27 \text{ MJ/Nm}^3$ vilket svarar mot cirka 0,7 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för relativ densitet var 0,0006 vilket svarar mot 0,1 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för metantal var -0,81 vilket svarar mot -1,1 % avvikelse. Här skall dock nämnas att metantalet beräknas och alltså är valet av beräkningsmetod en felkälla.
- Den genomsnittliga avvikelsen för metanhalt var 2,46 vol-% vilket svarar mot 2,8 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för propanhalt var 0,39 vol-% vilket svarar mot 5 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för koldioxidhalt var -0,14 vol-% vilket svarar mot 14 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för kvävehalt var -0,17 vol-% vilket svarar mot 50 % avvikelse.

De avvikande resultaten för CO_2 och N_2 kan delvis förklaras av att halten N_2 var mycket låg vid aktuellt tillfälle och därmed blir det procentuella felet högt, delvis av att GasPT-sonden inte var kalibrerad för dansk naturgas vilket troligen skulle ökat precisionen. I övrigt är precisionen god och det är tänkbart att använda GasPT för att övervaka gaskvaliteten i olika delar av nätet, exempelvis nedströms en biogasinmatning eller en förgasningsanläggning. Andra tänkbara placeringar är uppströms kunder där det finns ett stort behov av att garantera en gaskvalitet inom ett visst område.

9.2.2 Yamatake HGC303 [26]

För online bestämning av gasens sammansättning finns också Yamatake HGC303 som också testats av DGC med goda resultat. Jämfört med den ackrediterade gaskromatograf som DGC normalt använder erhöll man fullt acceptabla avvikelser varav några återges nedan:

- Den genomsnittliga avvikelsen för värmevärdet var 0,14 MJ/Nm³ vilket svarar mot cirka 0,3 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för relativ densitet var 0,02 vilket svarar mot 0,3 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för metanhalt var 0,2 vol-% vilket svarar mot 0,2 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för propanhalt var 0,11 vol-% vilket svarar mot 1,9 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för koldioxidhalt var 0,01 vol-% vilket svarar mot 0,8 % avvikelse.
- Den genomsnittliga avvikelsen för kvävehalt var 0,04 vol-% vilket svarar mot 17 % avvikelse.

Tester av långtidsstabilitet (6 månader) var positiva även om man konstaterade att arbetstemperaturen bör hållas relativt konstant. Vid skillnader i arbetstemperatur på 30 °C konstaterades en osäkerhet på upp till 0,2 % av värmevärdet och man rekommenderar att hålla arbetstemperaturen så konstant som möjligt.

10 Vad behöver göras?

Föreliggande studie skrapar endast på ytan av ämnet varierande gaskvalitet och det finns flera punkter som kan utredas ytterligare. Samtidigt är Sverige ett litet "gasland" och det är ingen fråga som Sverige varken kan eller bör lösa på egen hand, utan internationellt samarbete antingen genom EU-projekt eller medverkan i exempelvis GERG bör vara lämpligare. Man bör givetvis fortsätta följa de projekt som bedrivs i Danmark, främst i regi av DGC. Bland områden som kan vara aktuella att framhålla ur svensk synvinkel är gasturbiner och fordonsmotorer där Sverige besitter stor kompetens både inom industrin och forskningsvärlden. Ett stort EU-projekt som går under akronymen GASQUAL (www.gasqual.eu) pågår för närvarande (2009), tyvärr medverkar Sverige inte.

10.1 Andra kvalitetsindikatorer

Traditionellt sett har man ofta använt wobbeindex som indikator på gasers utbytbarhet och fortfarande anses wobbeindex av många studier vara den bästa *enskilda* parametern för att bedöma utbytbarhet hos en gas men många av studierna argumenterar också för att man måste ta med fler parametrar i bedömningen och att dessa parametrar avgörs av respektive applikation. Som exempel anses metantal och wobbeindex kunna användas för att kunna bedöma gasers utbytbarhet för fordonsmotorer. Modifierat wobbeindex föreslås specifikt för gasturbiner. Något entydigt svar på hur gaskvalitet skall bedömas finns således inte utan får bedömas från fall till fall och förslag på kompletterande kvalitetsindikatorer är:

(Fordons)motorer	Wobbeindex + metantal
Gasturbiner	Modifierat wobbeindex + flamhastighet
Gaspannor	Wobbeindex + mått på högre kolväten. För gaspannor kan det också vara av intresse att studera nya injusteringsrutiner för att säkerställa funktionen med en bred gasspecifikation.

10.2 Tester av apparater

Testning av olika apparater där gas med olika sammansättning används som bränsle ger vissa svar på hur man i alla fall på kortare sikt kan förvänta sig att en viss apparat beter sig för ett visst bränsle. Detta kommer att göras på Dansk Gasteknisk Center där man i ett första skede skall testa ett antal gaspannor på ett antal olika bränslen.

11 Slutsats och diskussion

Föreliggande rapport skall bara anses ge en introduktion av problemställningarna relaterade till varierande gaskvalitet. Varken den tidsmässiga eller ekonomiska aspekten av studien räcker för mer än att skrapa lite på ytan. För den som omedelbart vill läsa mer rekommenderas i första hand referenserna. Man kan också förvänta sig att mycket nya resultat blir tillgängliga under de kommande 1-5 åren, hur mycket av dessa som kommer att presenteras offentligt är dock tveksamt.

Av de studier som har inventerats går det inte att dra några som helst generella slutsatser avseende vilken inverkan en varierande gaskvalitet har på olika apparaters funktion. Vad man kan konstatera är att byte av gas eventuellt kan få en viss eller till och med en substantiell inverkan på apparatens funktion men mycket mer än så går inte att säga.

Många gasapparater kan fungera inom ett brett intervall avseende wobbeindex, värmevärde etc. men det kan krävas en ny injustering efter en förändring i gaskvaliteten. Hushållsapparater är en relativt okänslig apparatgrupp, dels är de flesta mindre gasapparater utrustade med allgasbrännare och dels är emissionskraven relativt frikostiga. Det finns tester som visar att emissionerna av såväl NO_x som CO kan nå nivåer som överstiger rekommenderade gränsvärden.

Moderna gaspannor utrustas i allt större CO- och/eller O₂-reglering vilket eliminerar eventuella problem med avvikande gaskvaliteter. Dock finns det äldre modeller i omlopp som inte har samma möjligheter att hantera avvikelser i gaskvalitet. Hur dessa påverkas av en varierande gaskvalitet beror i huvudsak på hur injusteringen har utförts.

Gasmotorer för fordon är relativt okänsliga då moderna motorer nästan uteslutande är utrustade med återkopplade styrsystem som kan kompensera för en varierande gaskvalitet. De problem som kan uppstå är om man får in gaser som innehåller relativt hög andel tyngre kolväten eller vätgas, då kan man få problem med knackning.

Gasturbiner tillhör bland de känsligaste applikationerna framför allt riskerar man överskrida emissionsgränserna i samband med en ökning av wobbeindex och att man överhettar delar av turbinen med kortad livslängd som följd. Data från en incident i USA pekar dock på att NO_x-emissionerna från gasturbiner som är utrustade med efterbehandling (SCR eller SCONOX) inte påverkas alls eller påverkas mycket marginellt även vid höga tillfälliga höjningar av wobbeindex (upp till 5 %). Man skall också komma ihåg att en gasturbin är den gasapplikation med mest avancerat styr- och övervakningsutrustning och därmed i teorin i alla fall kortsiktigt kan kompensera för vissa av förändringarna.

Inblandning på gasnätet av SNG framställd via termisk förgasning och metanisering eller biogas skapar i allmänhet inga problem för de flesta apparattyper eller processer, under förutsättning att SNG har renats från oönskade ämnen som metaller, ammoniak, etc. Ett specialfall som kan vålla problem är petrokemiska processer där det är de tunga kolvätena i gasen (C₂+) som önskas och dessa i princip ej finns i bio-SNG.

För Sveriges del har vi i dagsläget endast en införselväg av naturgas vilket gör det enkelt att upprätthålla en gaskvalitet utan större variationer. Framöver finns det ett antal tänkbara scenarier som kan medföra användning av gaser med annan sammansättning än den gas vi använder idag, inte minst om LNG tillförs via en eller flera importterminaler.

Gasförsörjning med LNG är lättare att hantera ur perspektivet varierande gaskvalitet eftersom det finns större möjligheter att påverka gaskvaliteten vid mottagningsanläggningen jämfört med ledningsbunden gasleverans. Exempel är att injektera kvävgas eller att kondensera ut tyngre kolväten. Vad det gäller rörbunden gasdistribution är möjligheten att påverka gaskvaliteten begränsad.

Utveckling av billig men tillförlitlig mätteknik för övervakning av gassammansättning pågår också, tester av två olika fabrikat redovisas där speciellt den japanska Yamatake uppvisade mycket goda resultat. Förbättrad övervakningsteknik innebär dock bara att man kan detektera kvalitet, men problemet att uppmärksamma potentiellt känsliga kunder kvarstår.

12 Referenser

- 1 Leo van Gruijthuijsen, Import af gas fra Tyskland - Konsekvenser for måling og afregning. DGC, januar 2008, R0802.
- 2 Emission vid byte av gaskvalitet, Mikael Näslund. Värmeforsk rapport 271, juni 1987.
- 3 Natural Gas Composition and Fuel Quality Information Report, William E. Liss & David M. Rue. Gas Technology Institute 2005.
- 4 EASEE-gas Common Business Practice, www.easee-gas.org.
- 5 Gasreglementet, www.sik.dk.
- 6 White Paper on Natural Gas Interchangeability and Non-Combustion End Use, NGC+ Interchangeability Work Group. www.ferc.gov.
- 7 Gas Safety (Management) Regulations 1996, www.opsi.gov.uk.
- 8 EN 437. Test gases – Test pressures – Appliance categories.
- 9 Europaparlamentets och rådets direktiv 2005/55/EG av den 28 september 2005 om tillnärmning av medlemsstaternas lagstiftning om åtgärder mot utsläpp av gas- och partikelformiga föroreningar från motorer med kompressionständning som används i fordon samt mot utsläpp av gasformiga föroreningar från motorer med gnistständning drivna med naturgas eller gasol vilka används i fordon.
- 10 Final Report. Gas Interchangeability Tests. Evaluating the Range of Interchangeability of Vaporized LNG and Natural Gas. Gas Research Institute, GRI-03/0159. April 2003.
- 11 Final Report Gas Quality and Liquefied Natural Gas Research Study. Southern California Gas Company, april 2005.
- 12 Brint i gaskedler, Henrik Iskov. Gasteknik 5/2005.
- 13 Assessment of gas quality on domestic appliances. Final report 19299/1, BSRIA Ltd, December 2005.
- 14 Assessment of the impact of gas quality on the performance of domestic appliances (a pilot study). Advantica R 7409, juli 2004.
- 15 Assessment of changes to the performance of gas appliances in relation to variations in gas quality. Advantica R 8527, Oktober 2005.
- 16 Report of Identification of the Concentration and Combination of Higher Hydrocarbons in Natural Gas Likely to Cause Sooting in GasAppliances. DTI URN 05/1943, 2005.
- 17 Position Paper - Consequences of Nitrogen Addition to High-calorific Gas. DTI URN 05/1941, 2005.

- 18 Proposed Amendments to the California Alternative Fuels for Motor Vehicle Regulations – staff report. California Environmental Protection Agency Air Resources Board. www.arb.ca.gov, 2002.
- 19 Roby, Richard J., et al, Effect of Fuel Composition on Gas Turbine Operability and Emissions. Prepared for the Edison Electric Institute, September 3, 2004.
- 20 Bob Dimtitroff, Natural Gas Quality Specifications. California Public Utilities Commission California Energy Commission Workshop #R04-01-025 San Francisco February 17 & 18, 2005.
- 21 Natural gas quality: power turbine performance during heat content surges. Aspen environmental group CEC-700-2006-001, maj 2006.
- 22 Gas interchangeability criteria for gas turbines, California Energy Commission. 17-18 februari 2005.
- 23 DIN 51624 Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge – Erdgas – Anforderungen und Prüfverfahren.
- 24 Europaparlamentets och rådets direktiv 2005/55/EG av den 28 september 2005 om tillnärmning av medlemsstaternas lagstiftning om åtgärder mot utsläpp av gas- och partikelformiga föroreningar från motorer med kompressionständning som används i fordon samt mot utsläpp av gasformiga föroreningar från motorer med gnistständning drivna med naturgas eller gasol vilka används i fordon.
- 25 Advantica GasPT Gas Properties Transmitter, Leo van Gruijthuijsen. Dansk Gasteknisk Center A/S, mars 2004.
- 26 Test of the Yamatake HGC303 gas chromatograph, Leo van Gruijthuijsen. Dansk Gasteknisk Center A/S, april 2003.



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