



Svenska erfarenheter av bussar med förnybara drivmedel

Grontmij AB
Energi Syd

Rapport

Datum
2009-02-25

Uppdragsnr
RYNDK01

Namnteckning

Granskad av

Godkänd av

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Bakgrund	5
1.2	Omfattning och avgränsningar	5
2	Etanol	5
2.1	Etanol i Sverige	5
2.1.1	Etanol vid Storstockholms lokaltrafik	6
2.2	Teknisk beskrivning av etanolbussar	6
2.3	Infrastruktur och logistik för användning av etanol (i bussar)	7
2.4	Ekonomi	8
2.4.1	Investeringskostnader	8
2.4.2	Driftskostnader	8
3	Biogas	9
3.1	Allmänt om biogas	9
3.2	Biogas i Sverige	9
3.3	Teknisk beskrivning av biogasbussar	11
3.4	Infrastruktur och logistik för användning av biogas (i bussar)	13
3.4.1	Uppgradering och rening	13
3.4.2	Tankstationer	15
3.5	Ekonomi	16
3.5.1	Investeringskostnader	16
3.5.2	Driftskostnader	16
4	Vätgas (brint)	17
4.1	Brinttankstationer	17
4.2	Brinttankstationer i Sverige	18
4.3	Brinttankstationen i Malmö	19
4.4	Ekonomi	21
4.4.1	Investeringskostnader för brinntankningsanläggningar	21
4.4.2	Driftskostnader	22
4.5	Framtida teknisk utveckling	22

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Grontmij | Carl Bro A/S utför på uppdrag av Trafikselskabet Movia en utredning avseende förutsättningar för miljövänliga bussar inom Hovedstadsregionen. I uppdraget ingår bland annat att inventera och presentera erfarenheter av bussar som drivs med de förnybara bränslena etanol, biogas och vätgas (brint) i Sverige. Grontmij | Carl Bro A/S har för detta ändamål anlitat det svenska systemföretaget Grontmij AB som under en följd av år medverkat vid utbyggnad av infrastruktur för användning av etanol och biogas i Sverige samt medverkat vid etableringen av Sveriges numera enda tankningsanläggning för vätgas i Malmö. Grontmij AB har även medverkat i forsknings- och utvecklingsprojekt i syfte att utveckla vätgas som energikälla i Sverige och Europa.

1.2 Omfattning och avgränsningar

Uppdraget omfattar beskrivning av svenska erfarenheter av såväl fordon (bussar) som infrastruktur och logistik med avseende på tillförsel och tankning av drivmedel (biogas och etanol¹). Särskilt ska följande frågeställningar belysas.

Etanol och biogas

- Teknisk beskrivning av teknik och miljöaspekter vid användning av förnybara drivmedel för bussar,
- Bedömningar avseende teknikutveckling avseende bussar,
- Investeringskostnader för bussar,
- Beskrivning av infrastruktur och logistik kopplad till tankning,
- Investeringskostnader för tankningsanläggningar.

Vätgas (Brint)

- Teknisk beskrivning av etablering av vätgastankstationer,
- Bedömningar avseende teknikutveckling avseende vätgastankstationer,
- Investeringskostnader för tankningsanläggningar för vätgas.

Vidare görs en beskrivning av etableringen av tankstation för vätgas i Malmö.

I det följande redovisas utredningsresultat och en allmän beskrivning för respektive alternativt drivmedel.

2 Etanol

2.1 Etanol i Sverige

Etanolanvändningen i Sverige uppgick 2006 till 320 000 m³ etanol vilket motsvarar 1,9 TWh. Cirka 85 % av den etanol som användes i Sverige, ca 370 00 m³, importeras och huvuddelen av detta kom från Brasilien.

Etanol kan exempelvis tillverkas av råvaror som sockerrör, spannmål och cellulosa. Brasilien är idag det land som producerar mest etanol för drivmedel i världen. Råvaran för tillverkningen är sockerrör och processen är jämförelsevis enkel då råvaran inte kräver så mycket förbehandling. USA är den näst största etanolproducenten och man tillverkar etanol av majs och spannmål.

¹ Avser hög andel etanol, ca 95 %

Miljönyttan varierar beroende på var och hur etanolen produceras. Sockerrör har ett högt energiinnehåll och kräver lite energi vid omvandling till etanol medan majs har ett lägre energiinnehåll och kräver betydligt mer energi vid omvandlingen. Den koldioxidreducerande nettoeffekten blir därför avsevärt bättre för etanol baserad på sockerrör.

Etanol från svensk massaindustri är också ett bra exempel på energieffektiv etanolproduktion. Vid massatillverkning bildas socker som går att omvandla till etanol. Råvaran är förnybar och nettobidraget till växthuseffekten är låg.

Den dominerande råvaran för produktion av etanol i Sverige är idag spannmål. Tekniken för framställningen av etanol av spannmål är kommersiellt tillgänglig och baserad på traditionell jäsning. Idag finns två fabriker i Sverige som tillverkar etanol på kommersiell basis. Den största finns i Norrköping och drivs av Lantmännen Agroetanol. Den andra fabriken finns i Örnsköldsvik och drivs av SEKAB som tillverkar etanol av en sockerrik lut från Domsjö Fabrikers sulfittmassatillverkning.

Den sammanlagda svenska tillverkningskapaciteten kommer under 2009 att uppgå ca 220 000 m³ efter att linje 2 i Norrköping tagits i drift. Detta kan jämföras med den totala mängden drivmedelsetanol (370 000 m³) som användes i Sverige under 2007.

2.1.1 Etanol vid Storstockholms lokaltrafik

Storstockholms lokaltrafik (SL) inledde under 1980-talet försök med etanol som drivmedel i bussar. Man har idag världens största flotta av etanoldrivna bussar, totalt ca 400 bussar. Målsättningen är att 50 % av flottans 2 000 bussar, d.v.s. 1 000 bussar, ska vara etanoldrivna år 2011. Drivkraften är det höga oljepriset samt de skattelättnader som etanol erbjuder.

Miljövinsten är en stor minskning av utsläpp av kväveoxider (NO_x), kolmonoxid (CO), kolväten (HC), partiklar (PM) samt koldioxid, CO₂ som framgår av den tekniska beskrivningen nedan.

Trots att etanolbussar innebär tätare serviceintervaller, högre bränsleförbrukning samt högre krav på planering så är SL övertygade om att etanol är huvudspåret för att nå målet att köra bussflottan på förnyelsebara bränslen.

SL medverkar i det s.k. etanolbusskonsortiet, www.ethanolbus.com, som dessutom består av Stockholms stad, Stockholms läns landsting, BioAlcohol Fuel Foundation och SEKAB. Bakgrunden till konsortiet var hotet att etanolbusstillverkningen skulle upphöra, vilket skulle innebära att SL inte kunde uppnå sitt mål med 25 % förnybara transporter till 2006. Konsortiet arbetar för att skapa en marknad för etanolbussar och skapa konkurrens bland leverantörer av etanolbussar.

2.2 Teknisk beskrivning av etanolbussar

Scania är världens enda busstillverkare som tillhandahåller etanolbussar. Sedan början på 1990-talet har Scania levererat flera hundra bussar. Motorerna bygger på robust befintlig teknik i form av etanolanpassade dieselmotorer. Tekniken är väl beprövad och utan komplikationer. Bortsett från motorn är bussen i övrigt helt identisk med motsvarande dieselbuss.

Motorn kan endast drivas med etanol anpassad för bussar med dieselmotor. Den största skillnaden mellan etanol för bilar (E85) och etanol för bussar är sammansättningen. Blandningen är ca 94 % vattenhaltig etanol (max 5 % vatten) och resten tillsatser. Den viktigaste tillsatsen är tändförbättrare. Utöver det finns korrosionshämmande tillsatser och tillsatser för att hindra människor från att dricka bränslet (illasmakande ämne och kräkmedel). Etanol för bilar E85 har fördelningen 15 % bensin och 85 % vattenfri etanol (mindre än 0,5 % vatten). I dagsläget finns ingen gemensam EU-standard för bussetanol.

De största skillnaderna mellan en etanolmotor i jämförelse med en dieselmotor är:

- Högre kompressionsförhållande
- Bränslepidare/munstycken med större kapacitet
- Förändrad insprutningstid
- Bränslepump med större kapacitet

- Alkoholbeständiga packningar och filter i bränslesystemet

Tekniken är beprövad, etanolbussen lämpar sig väl för stadstrafik och fungerar kommersiellt.

Miljömässigt finns vinster att göra med etanolbussar eftersom etanol är förnybar och inte bidrar till växthuseffekten. Dessutom finns andra utsläppsvinster.

Utsläppsvinster med etanol jämfört med dieselbussar.²				
All data are with reference to the European Steady Cycle, ESC.				
	NO _x	CO	HC	PM
ESC	-28 %	-80 %	-50 %	-60 %
Vinsterna i CO ₂ -utsläpp jämfört med dieselbussar beror på vad etanolen är tillverkad av. ³				
Spannmål		-82 %		
Cellulosa		-88 %		
Sockerrör		-90 %		

Eftersom etanol har lägre energiinnehåll än diesel och bensen krävs större bränslemängd för att motorn ska kunna utföra samma arbete. Detta innebär att bussarna måste tankas oftare än motsvarande dieselbuss. I förtortrafik kan det innebära problem om bussarna måste tas ur trafik och köra iväg för tankning under dagen.

Etanolbussar finns idag förutom i Sverige i en rad städer, däribland Oslo (Norge), Nottingham (Storbritannien), La Spezia (Italien), Madrid (Spanien), Slupsk (Polen), Sao Paulo (Brasilien).

Kan man anse att etanolbussen är säker? Under de 20 år som etanolbussar har funnits så har ingen allvarlig incident inträffat. Alla etanolbussar har dessutom ett sprinklersystem vid motorn.

2.3 Infrastruktur och logistik för användning av etanol (i bussar)

Tack vare att etanolen är en lättflytande vätska är bränslet enkelt att hantera. Infrastrukturen är likartad med infrastruktur för dieselbussar. En korrekt hantering av bränslet är dock viktig för att undvika föroreningar i etanolen. Många material som vanligen används med bensen är oförenligt med alkohol. När exempelvis aluminium kommer i kontakt med etanol kan det lösa upp sig, vilket kan medföra skador i motorn och påverka kördugligheten.

Etanol har samma brandtekniska klassning som bensen och måste hanteras därefter. Tankning måste ske utomhus. Ett sprinklersystem måste finnas vid tankstationen.

Det är möjligt att bygga om en dieseltankstation till en etanoltankstation. Vissa aspekter måste beaktas.

- Etanol har lägre flampunkt än diesel och ska hanteras som bensen
- Pumpen måste bli godkänd i samma brandtekniska klass som för bensen
- Alla ingående komponenter av polymerer (plast) måste undersökas
- Tanken ska inte målas invändigt eftersom etanol fungerar som lösningsmedel
- Vid kommersiell användning så kan anläggningen behöva godkännas av ansvarig myndighet

En fördel med etanolbussar är att bussförarna bara behöver en kort introduktion gällande släckningssystemet och start av varm motor.

² Scania, Sweden

³ Miljöfaktabok för bränsle. IVL rapport nr.: B1334

Erfarenheter från en bussentreprenör är att etanolbussar fungerar lika bra som dieselbussar dock krävs en mer omfattande skötsel och underhåll av bussarna. Utöver det finns ett antal säkerhetsfrågor som måste hanteras (lättantändligt bränsle, rätt utrustning och utbildning krävs, etanol hanteras som bensin)

En fördel är att etanolbussarna inte innebär stor omställning i verkstaden men bussarna kräver tätare serviceintervaller.

Exempel på underhållsbehov för en ledbuss i Stockholm stad, ca 60 000 km / år		
Skillnad mellan diesel och etanolbuss.		
Service	Diesel	Etanol
Byte spridare	0	3
Byte bränsleledningar	0	1
Byte bränslefilter	1	6
Olje- och filterbyte	3	6
Serviceintervall	6	6

I Sverige producerar SEKAB den etanol som används i alla etanolbussar (www.sekab.com). SEKAB finns i Sverige och har producerat etanol sedan 1985. Ett alternativ för försörjning av bränsle är att etanolen tillhandahålls lokalt och SEKAB levererar tillsatserna.

2.4 Ekonomi

2.4.1 Investeringskostnader

Merkostnaden för inköp av en etanolbuss jämfört med motsvarande dieselbuss är 11 000 – 22 000 EUR. (Sverige 2007)

Kostnaden för att etablera en påfyllningsstation för etanol är exakt lika stor som för diesel förutom merkostnaden för sprinklerutrustning.

Kostnaden för en påfyllningsstation varierar givetvis beroende på omständigheterna kring en placeringen. Att etablera en ny komplett station för etanol inklusive en 50 m³ lagringscistern kostar 42 000 EUR. I fallet 20 m³ blir kostnaden 32 000 EUR.

Att anpassa en existerande tank så att den kan användas till etanol kostar 7 400 EUR för en 50 m³ tank och 4 800 EUR för en 20 m³ tank. Utbyte av ledningar mellan tank och pump kostar 26 EUR per meter exklusive grävarbeten. En ny pump (påfyllningsenhet) kostar 5 000 EUR. (Priser är cirkapriser och avser Sverige år 2005.)

Anläggning	EUR
Ny, 50 m ³	42 000
Ny, 20 m ³	32 000
Anpassning, 50 m ³	7 400
Anpassning, 20 m ³	4 800

2.4.2 Driftskostnader

SL uppskattar den totala merkostnaden per etanolbuss till 7 000 EUR per år vilket är 2-3% mer jämfört med dieselbuss. (Sverige 2007)

Etanol har lägre energiinnehåll vilket innebär ca 60 % högre bränsleförbrukning jämfört med diesel. Energiinnehållet är ca 38% lägre än för diesel. En buss som normalt förbrukar 6 liter diesel/10 km kommer således att förbruka 9.5 liter etanol/10 km. Etanolpriset och skatten på bränsle är viktiga faktorer när det gäller driftskostnaderna.

Serviceintervallerna för en etanolbuss är kortare jämfört med diesel och fler förbrukningsartiklar måste bytas.

Förnybara drivmedel, däribland biogas, beskattas inte i Sverige. Diesel beskattas med sammanlagt 4 339 SEK/m³, varav 1 332 SEK/m³ utgör energiskatt och 3 007 SEK/m³ utgör koldioxidskatt. Mervärdesskatt tillkommer på både produktpriset och avgifterna. Decemberpriset på 10,73 SEK/liter består således till ca 60 % av skatter (6,31 SEK/liter).⁴

Priset på etanol är ungefär detsamma som för diesel exkl skatter, EUR/m³.

Bränsle	Total (EUR)	Energi-skatt	CO ₂ -skatt	Netto (EUR)
DIESEL*	1,25	0,152	0,343	0,755
ETANOL**	0,742	0	0	0,742

* Dagspris, Statoil, 2009-02-24, bemannad station

** Ca pris SEKAB 2009-02-24

3 Biogas

3.1 Allmänt om biogas

Biogas innehåller huvudsakligen metan och koldioxid samt mindre mängder av andra gaser som exempelvis svavelväte. Koldioxiden bidrar inte till gasens energiinnehåll. Följaktligen är andelen metan avgörande för biogasens energiinnehåll och ju större andel metan desto högre energiinnehåll har gasen. Beroende på råvara och övriga produktionsförutsättningar består biogas av 55 - 80 % metan och 45 - 20 % koldioxid.

Biogasens sammansättning av metan och koldioxid har även betydelse för vilka olika koncentrationer av gasen i luft som krävs för att få självständig förbränning. Gasens brännbarhetsområde ligger mellan den undre (LEL) och övre explosionsgränsen (UEL). För biogas med 60 % metan är brännbarhetsområdet 7-28 vol-% i luft. Ren metan har ett brännbarhetsområde på 4-17 vol-% i luft.

Biogas är lättare än luft och vid ett utsläpp så stiger gasen uppåt. Vidare har gasen högre antändningstemperatur än bensin och diesel. Detta gör att risken för brand eller explosioner vid trafikolyckor där biogas används som drivmedel är mindre än med bensin och diesel.

3.2 Biogas i Sverige

Biogasprocessen sedan länge använts för att minska slammängderna och reducera lukt vid landets avloppsreningsverk. Under 1980-talet byggdes även många anläggningar för att utvinna biogas från avfallsdeponier. Trots att det sedan 2005 är förbjudet att deponera organiskt avfall så bedöms de befintliga avfallsdeponierna producera deponigas i bortåt 50 år framåt. Sedan mitten av 1990-talet har flera så kallade samrötningsanläggningar tillkommit. I dessa kan avfall från livsmedelsindustrier, gödsel och matavfall från hushåll rötas till biogas. Den sammanlagda biogasproduktionen i Sverige uppgår till drygt 1200 GWh/år. En del av den producerade biogasen används efter rening som fordonsbränsle.

Användningen av biogas som fordonsbränsle uppgick 2008 till drygt 340 GWh. Biogasen utgör därmed ca 0,3 % av den totala drivmedelsanvändningen i Sverige.

⁴ Svenska Petroleum Institutet, <http://www.spi.se/statistik.asp?art=101> och Skatteverket, <http://www.skatteverket.se/skatter/punktskatter/infoenergikoldioxid.4.18e1b10334ebe8bc8000843.html>

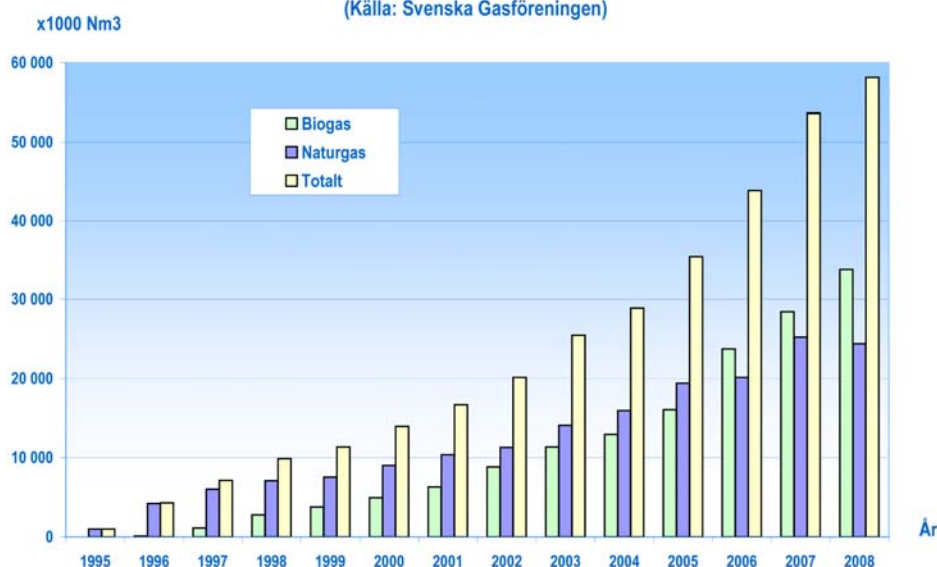
Biogas produceras vid drygt 230 olika anläggningar i Sverige. Den i särklass vanligaste typen av biogasproduktion är den vid avloppsreningsverk. Biogas produceras vid ca 140 avloppsreningsverk och ca 60 avfallsdeponier. Övriga producenter är ett 20-tal samrötningsanläggningar, ett 10-tal mindre lantbruk och ett mindre antal industrier.

För att biogasen skall kunna användas som drivmedel för fordon erfordras bland annat att koldioxid avlägsnas för att öka gasens energiinnehåll. Efter rening, så kallad uppgradering, består gasen av ca 97 % metan. Efter rening komprimeras gasen till ca 200 bar innan den tankas i fordon speciellt anpassade för gasdrift.

Gas som används som drivmedel för fordon benämns fordonsgas och omfattar både biogas och naturgas. Den sammanlagda volymen fordonsgas som användes i Sverige 2008 uppgår till drygt 58 miljoner Nm³, varav ca 24 miljoner Nm³ naturgas och 34 miljoner Nm³ biogas.

Levererad mängd Fordonsgas

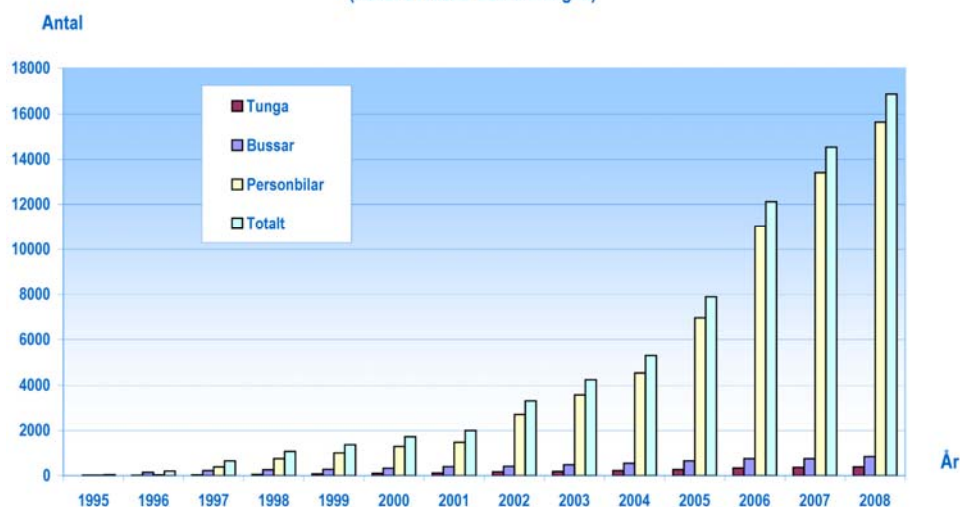
(Källa: Svenska Gasföreningen)



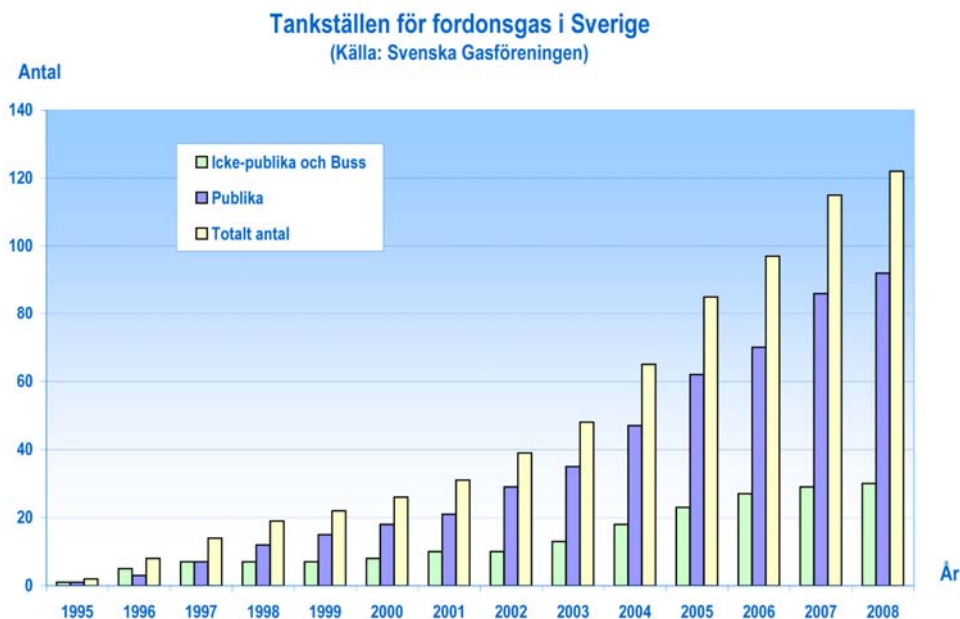
Användningen fördelad på personbilar, tunga fordon respektive bussar framgår av följande diagram.

Gasfordon i Sverige

(Källa: Svenska Gasföreningen)

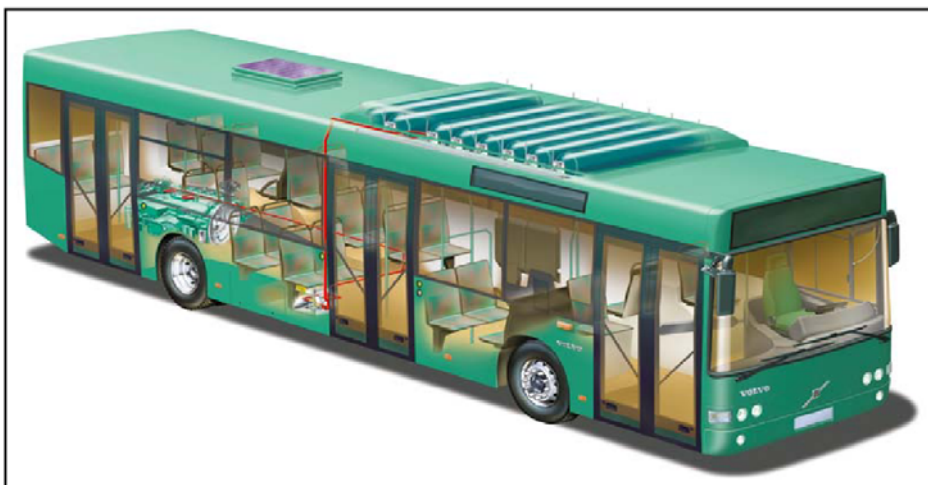


Det finns vid årsskiftet 2008/2009 sammanlagt 122 anläggningar för tankning av biogas i Sverige, varav 92 publika och 30 som är icke-publika, företrädesvis för bussar och tunga fordon.



3.3 Teknisk beskrivning av biogasbussar

Gasbussar tillverkas bland annat av Volvo, Scania, MAN och Mercedes-Benz. Gasen förvaras i gasflaskor av stål eller kompositmaterial på bussens tak eller under golvet. Gastankens volym beror på hur många gasflaskor som placeras på taket och för större ledbussar är den totala lagringskapaciteten cirka 450 Nm³. Gasen lagras vid ett tryck motsvarande 200 bar(ö) vid 15 °C. Dock tillåts trycket aldrig att övergå 230 bar(ö) oavsett om utetemperaturen skulle vara mycket hög. Tanken skyddas mot övertryck vid brand av smältsäkringar vilka eliminerar risken för att tanken brister vid överhettning. Se figur nedan med en stadsbuss från Volvo.



Gasbussar för stadstrafik har idag otto-motorer. De är utrustade med elektronisk motorstyrning och adapterar motoreffekten med hänsyn till gaskvaliteten samt beräknar den optimala gasblandningen och tändningsinställningen för varje motorlast, hastighet och temperatur. Det innebär att gasmotorn automatiskt ställer in sig för antingen uppgraderad biogas eller för naturgas. Det är viktigt eftersom

uppgrederad biogas normalt har värmeverd $H_u = 9,7 \text{ kWh/Nm}^3$ medan naturgas har $H_u = 11,0 \text{ kWh/Nm}^3$. Motorn kan även ställa in sig för en blandning av de båda kvaliteterna.

Jämfört med en dieselmotor har gasmotorn med modern s k lean burn-teknik något lägre verkningsgrad. Det beror på att det är en ottomotor och gasmotorn är inställd för att endast ha gas som bränsle. Det pågår utveckling av dual-fuel motorer till bussar vilket innebär att en blandning av diesel och gas sprutas in till motorn varmed en dieselmotor kan användas. Tekniken är främst anpassad för regionbussar som har en jämn gång med belastning över längre sträckor, då åtgår cirka 10 % diesel och 90 % gas. Stadstrafik innebär att bussen står still mycket varmed dual-fuel tekniken blir ineffektiv och mycket diesel åtgår. Således är det i första hand inte aktuellt med dual-fuel teknik till stadsbussar.

Gasbussar har, enligt studier som gjorts bland annat av Skånetrafiken, 50 % lägre bullernivå än diesalbussar såväl vad avser bulleremissioner till omgivningen som internt i bussarna. Det beror på att motorn, som i huvudsak har samma konstruktion som en dieselmotor men med tändsystem, har ett kompressionstryck i cylindrarna som är hälften i jämförelse med en dieselmotor. Häri ligger förklaringen till den reducerade ljudnivån.

Utsläppsnivåer för gasbuss som går på naturgas eller biogas är lägre än de krav som gäller för dieseldrift med bussar godkända enligt Euro 4 respektive Euro 5. Se diagrammet nedan med jämförelse i utsläppsnivåer.

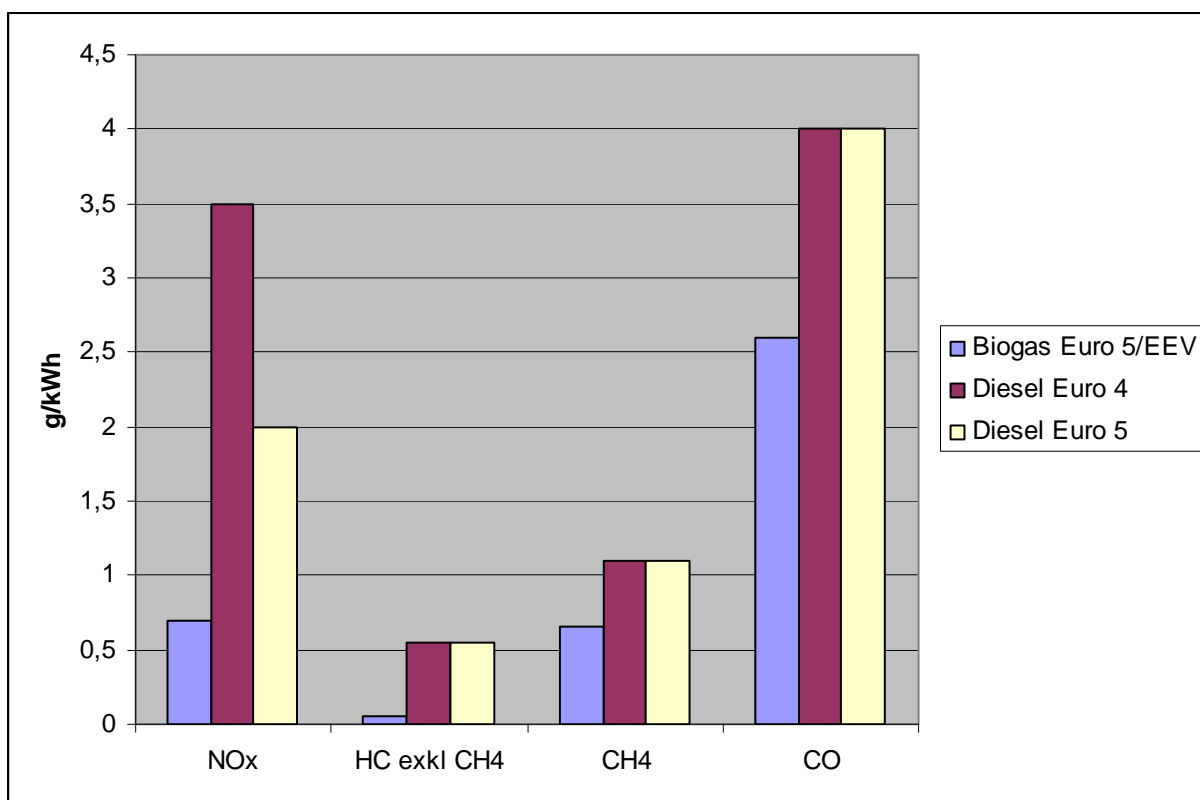


Diagram x. Utsläpp av föroreningar med biogas- respektive dieseldrift⁵.

⁵ Källa: Peter Danielsson, Volvo AB

3.4 Infrastruktur och logistik för användning av biogas (i bussar)

Sverige har som enda land i världen en kvalitetsstandard för biogas för fordonsdrift som används på samtliga biogasanläggningar. Anläggningarna ska rena gasen så att den uppfyller standard SS 15 54 38 "Motorbränsle som bränsle till snabbgående ottomotorer". Standarden ger en kvalitetssäkring av biogasen och ett enhetligt, väldefinierat drivmedel. I standarden finns definierat två kvaliteter, typ A och typ B. Typ A är den högre kvaliteten som har blivit praxis i Sverige. Denna är lämplig för både tunga och lätta fordon.

Biogas producerad för bussar skall följa samtliga parametrar enligt typ A i standarden. Ett utdrag ur standarden presenteras i tabellen nedan.

Egenskaper	Enhet	Typ A	Typ B
Energiinnehåll uttryckt som Wobbeindex _{undre}	MJ/Nm ³	44,7 – 46,4	43,9 – 47,3
Eller			
Metanhalt	%	97 ± 1	97 ± 2
Motoroktantal (MON) min		130	130
Tryckvattendagdpunkt vid högsta lagringstryck t = lägsta månadsvisa dygnsmedeltemperatur	°C	t -5	t-5
Vattenhalt, max	mg/Nm ³	32	32
Koldioxid + syrgas + kvävgas, max (varav syrgas, max)	%	4,0 (1,0)	5,0 (1,0)
Total svavelhalt	mg/Nm ³	23	23
Totalhalt kväveföreningar (exkl N ₂) räknat som NH ₃	mg/Nm ³	20	20

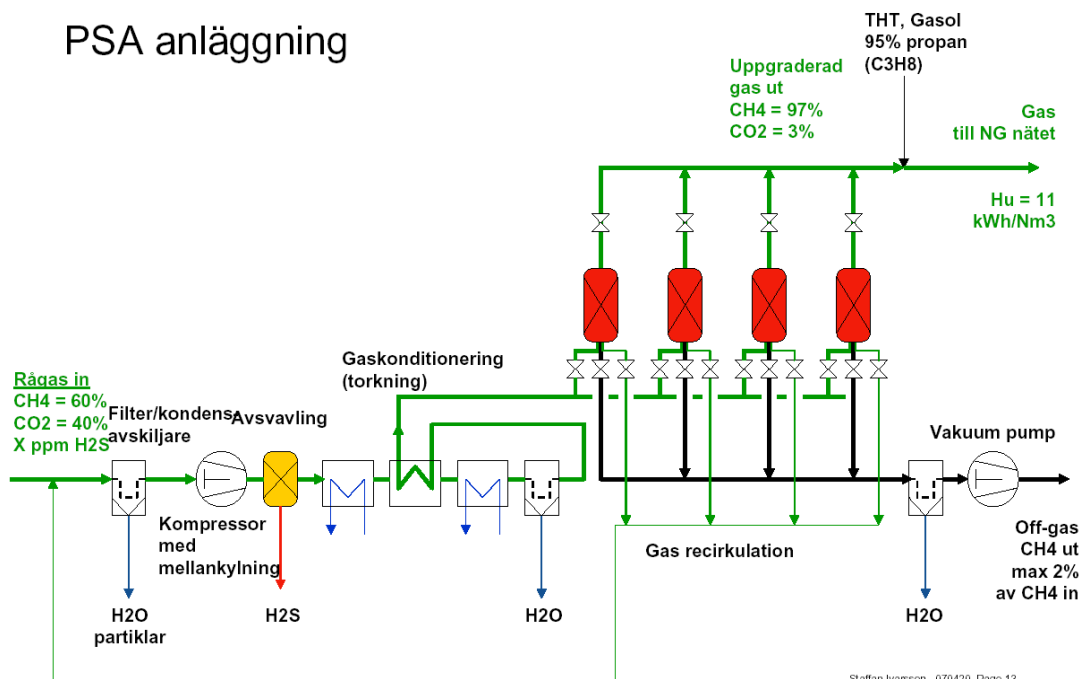
3.4.1 Uppgradering och rening

Vid uppgraderingen renas biogas från koldioxid, vatten, partiklar, små mängder svavelföreningar och andra ämnen. I Sverige används olika tekniker för rening av rågasen som bygger på antingen vattenabsorption, adsorption på aktivt kol samt kemisk absorption. Olika teknik används beroende på olika lokala förutsättningar. Den numera mest använda tekniken är uppgradering med vattenabsorption.

3.4.1.1 PSA – Pressure Swing Adsorption

PSA baseras på att koldioxid adsorberas på zeoliter eller aktivt kol medan metan inte har den egenskapen. Processen kan utföras med fyra eller alternativt sex stycken kärl fyllda med adsorptionsmedel. Biogas uppgraderas genom att gasen strömmar in underifrån i ett kärl. Det aktiva kolet har egenskapen att adsorbiera koldioxidmolekyler under förhöjt tryck medan metanmolekylerna slinker förbi. Genom trycksänkning med vacuum pump släpper koldioxidmolekylerna från adsorptionsmaterialet. Slutregenerering sker med vacuum pump och restgasen från detta steg innehåller en mindre mängd metan som innebär en metanförlust på omkring 1 – 3 %.

PSA anläggning



Uppgradering genom adsorption på aktivt kol

3.4.1.2 Vattenabsorption

Koldioxid absorberas 25 gånger bättre i vatten än metan vilket medför att vatten är lämpligt för avskiljning av koldioxid. Biogas trycksätts och tillförs till botten på ett absorptionstorn fyllt med fyllkroppar för maximal massöverföring. Vatten pumpas in i toppen på absorptionskolonnen och möter ett motgående flöde av biogas. Utgående gas är renad från i stort sett all koldioxid medan vattnet har innehåller koldioxid och behöver regenereras. Vattnet regenereras i en stripperkolonn där luft sänker partialtrycket så att koldioxid därmed drivs ut från vattnet. I figuren nedan ses uppgraderingsanläggningen i Falköping med absorptionstorn och stripperkolonn.



Uppgraderingsanläggning med absorptionstorn och stripperkolonn

3.4.1.3 Kemisk absorption

Vid kemisk absorption används en kemikalielösning som absorptionsmedel. Processen är uppbyggd på ett likartat sätt som vattenabsorption och har en absorptionskolonn och ett regenereringssystem. Den stora skillnaden mot ett vattencirkulerande system är att koldioxid reagerar kemiskt med absorptionsmedlet och bildar en ny kemisk förening. Ett flertal kemikalier för avskiljning av koldioxid finns kommersiellt tillgängliga och vanligast förekommande är olika typer av etylaminer.

Aminen reagerar i praktiken inte alls med metan, vilket innebär att endast koldioxid avskiljs. Regenerering av absorptionsvätskan från koldioxid sker genom att ånga eller tryckvatten med cirka 120/130 °C värmeväxlas och värmer upp kemikalien. Den ånga som då bildas inuti desorptionskolonnen driver ut koldioxid som finns löst i den inkommande lösningen.

3.4.2 Tankstationer

Tankningsanläggningen utgörs i princip av kompressorer, gaslager och tankningsutrustning. Kompressorer ansluter på den inkommande gasledningen och har som uppgift att höja gasens arbetstryck till det tryck som önskas i gaslagret, max 350 bar. Kompressorutrustningen placeras normalt i ett separat utrymme med tryckavlastning för övertryck som mynnar utomhus. För busstankning är tillgängligheten mycket viktig och normalt krävs två kompressorlinjer som vardera kan ta det fulla gasflödet.

Gaslagret har som uppgift dels att tjäna som utjämningsmagasin mellan produktion och konsumtion och dels som back-up om gasleveranserna skulle utebli. Det är naturligtvis fördelaktigt med ett större gaslager men utrymme och kostnader brukar begränsa lagrets storlek till ca ett dygns tankningsbehov. Om kompressorläggningen är ansluten till naturgasnätet kan lagervolymen begränsas då back up finns i naturgasnätet förutsatt att det finns redundant kompressorkapacitet.

Två system används för tankning av biogas till bussar, långsam- respektive snabbtankning. Vid långsamtankning är varje buss uppställd vid ramp och ansluten till var sin tankningsslang under hela natten medan vid snabbtankning sker tankningen under 3-5 minuter ifrån fasta dispensrar vilka kan användas även för tankning av andra gasfordon än bussar. Långsamtankning innebär att kompressorer komprimerar från gasledningen in till aktuellt gastryck i anslutna fordon. Långsamtankning används då bussarna står uppställda på natten.



Tankningsramp för långsamtankning vid Busspunkten i Helsingborg

3.5 Ekonomi

3.5.1 Investeringskostnader

Investeringskostnaden för en biogasbuss uppgår till ca 2,5 miljoner SEK, vilket är 300 000 till 400 000 kronor högre än för en dieslbuss. Uppgifter om avskrivningstider för biogasbussar tyder på att en normal avskrivningstid uppgår till 12 – 16 år.

I följande tabeller redovisas investeringskostnader som avser aktuell kostnadsnivå kring årsskiftet 2008/2009 för uppgraderingsanläggningar och tankningsanläggningar. Priserna bygger i samtliga fall på inhämtade offerter.

Anläggningar för uppgradering och rening			
Kapacitet (rågas), Nm ³ /h	Teknik		
	PSA, miljoner SEK	Vattenscrubber, miljoner SEK	Kemisk absorption (Aminoprocess), miljoner SEK
80	7,5	6,5 ¹	6,0
450	12,5	12	13
800	16	15	15,5
1500	18	17	18

¹ I enklare utförande (container) kan investeringen reduceras till ca 4,5 miljoner SEK

Tankningsanläggningar inkl kompressorer		
Typ	Kompressor- och tankningsanläggning, miljoner SEK	Tillkommande för gaslager, miljoner SEK
Publik, Stand alone	3,9	1,2
Busstankning, Stand alone, 60 bussar	16	4
Publik, vid gasnät	3,9	-
Busstankning, vid gasnät	16	1,5

3.5.2 Driftskostnader

Idag upplevs bussar med gasdrift ha samma tillförlitlighet som motsvarande dieslbussar. Däremot är intrycket att gasbussar tar mer tid i anspråk för underhåll av bussarna. De problem som kan förekomma har i stort sett uteslutande visat sig vara förknippade med nystartad gasproduktion. Det är viktigt att gasen är torr så att isbildning inte inträffar på munstycket under tankning, då gasen kyls eftersom den går från ett högt lagringstryck till lågt tryck i fordonets gastank. Gasen måste även vara torr, annars riskerar vatten och koldioxid att bilda korrosiv syra.

I Sverige har det förekommit problem med olja i gasen i samband med vissa typer av oljesmorda högtryckskompressorer. Oljan har sedan fastnat i bussarnas bränslefilter vilket lett till att en otillräcklig mängd bränsle kommit fram till motorn. Problemen, som varit i exempelvis Linköping och Västerås, är nu åtgärdade genom byte till lämpligare oljetyper. En erfarenhet som framkommit efter hand i Sverige är att det behövs så kallade coalescing -filter som ger möjlighet att ta bort olja ur gasen efter tryckhöjningen i kompressorn.

Redovisade sammanställningar över beräknade driftskostnader tyder på att den rörliga driftskostnaden per vagnkm är ca 2 % högre för biogasbussar än för motsvarande dieselbussar. En gasbuss har tätare serviceintervall än en dieselbuss. Vanligtvis sker service var 15000:e km.

Fordonsgaspriserna varierar mellan olika delar av Sverige. Variationen beror på flera faktorer. Fordonsgas brukar vara billigare om det finns biogasproduktion eller naturgas i närheten av själva tankstället. På orter där det är samma företag eller kommun som producerar biogasen och äger tankstället, och säljer till slutkunden är gasen normalt billigare än på orter där det är olika företag som producerar, transporterar och sedan säljer fordonsgasen till slutkunden. I och med att fordonsgasen säljs på samma marknad för drivmedel som konventionella bränslen som bensin och diesel påverkas fordonsgaspriset även av priset på de konventionella drivmedlen.

För närvarande är snittpriset på fordonsgas i Sverige 10,08 kr/Nm³.⁶ I och med att energivärdet i 1 Nm³ biogas i princip motsvarar energiinnehållet i 1 liter diesel och energivärdet i 1 Nm³ naturgas motsvarar 1,12 liter diesel blir jämförpriset mot diesel beroende av om gasen huvudsakligen består av naturgas eller av biogas. Ett beräknat snittpris i relation till dieselpriiset är 9,58 SEK/liter.

Snittpriset på diesel 2008 uppgick till 13,12 SEK/liter. Månadsmedelvärdet för december 2008 på diesel är 10,73 SEK/liter, det vill säga fordonsgas hade då en pris fördel på ca 12 % gentemot diesel.

Förnybara drivmedel, däribland biogas, beskattas inte i Sverige. Diesel beskattas med sammanlagt 4 339 SEK/m³, varav 1 332 SEK/m³ utgör energiskatt och 3 007 SEK/m³ utgör koldioxidskatt. Mervärdesskatt tillkommer på både produktpriset och avgifterna. Decemberpriset på 10,73 SEK/liter består således till ca 60 % av skatter (6,31 SEK/liter).⁷

4 Vätgas (brint)

4.1 Brinttankstationer

Typer av brinntankstationer

Det finns en del olika frågor och principer som är viktiga för val av typ av brinntankstationer.

- Skall vätgasen produceras på plats lokalt vid tankstationen eller levereras med tankbil från en vätgasanläggning?
- Är det viktigt att vätgasen produceras ur förnybara energikällor?
- Vilken typ av fordon skall tankas; bränslecellsbussar eller kolvmotorbussar (ICE)?
- Hur skall vätgasen levereras; vilket/vilka tryck eller som flytande väte; skall det finnas möjligheter till att använda Hythane (blandning vätgas-naturgas)?

Internationellt

Det finns idag över 300 brinntankstationsprojekt i världen, enligt LBST i Tyskland. Hur stationerna är uppbyggda beror ofta på lokala förhållanden. De länder som har flest stationer i drift och längst erfarenhet är USA, Japan, Tyskland och Kanada. Det finns flera enstaka stationer och planerade projekt i många länder.

I EU projektet CUTE (Clean Urban Transport for Europe) som startades 2003 så användes Daimlers Citaro Evobus ombyggd som bränslecellsbuss i nio städer i Europa även Reykjavik och Perth Australien anslöt till projektet, totalt 33 bussar och elva nya tankstationer. Kravet på vätgasens renhet

⁶ www.gasbilen.se

⁷ Svenska Petroleum Institutet, <http://www.spi.se/statistik.asp?art=101> och Skatteverket, <http://www.skatteverket.se/skatter/punktskatter/infoenergikoldioxid.4.18e1b10334ebe8bc8000843.html>

var mycket högt mindre än 4 ppm CO + CO₂ i vätgasen. Det var helt enkelt en livstidsfråga för PEFC bränslecellerna. De flesta städerna valde lokal produktion av vätgas med elektrolysör eller leverans av vätgas från en gasleverantör till en tankstation.

Hamburg och Reykjavik valde HydroElectrolysers som leverantör, Stockholm, Amsterdam och Barcelona valde Stuart Energy med Vandenborres teknik. Två städer Stuttgart och Madrid valde naturgasreformer för produktion på plats. Madrid övergick under projekt till leverans av vätgas från en gasleverantör på grund av tekniska problem med naturgasreformern.

De största kraven på vätgasens renhet är om bränslecellsbusar skall användas. Då är den säkraste tekniken att producera vätgas lokalt på plats med en elektrolysör eller att köpa ren vätgas från gasleverantör. Om det finns tillgång till naturgas och beroende på energipriser så kan det vara intressant att ha en naturgasreformer och producera vätgas på plats. Det kräver speciell rening av vätgasen om den skall kunna användas i dagens bränslecellsbusar. Det är dock känd teknik och är gjort på flera ställen.

Det finns enstaka stationer som använder flytande väte som bränsle. Det är främst i München där BMW har utvecklat en vätgasbil som har flytande väte som drivmedel. Det finns också några stationer i USA. Flytande väte är bra för demonstrationsändamål eftersom det är lätt att transportera och relativt lätt att hantera. Förvätskningsprocessen, kylning ner till -253 °C är emellertid energikrävande. Det finns dock flera större industriella anläggningar för att detta, speciellt i USA och Tyskland.

Leverantörer

Huvudleverantörer av brinntankstationer med lokal produktion med elektrolysör är idag Hydrogenics i Kanada och StatoilHydro Hydrogen Technologies i Norge, tidigare HydroElectrolysers.

www.hydrogenics.com

www.electrolysers.com (StatoilHydro Hydrogen Technologies)

4.2 Brinttankstationer i Sverige

I Sverige uppfördes under 2003 två brinntankstationer parallellt i Malmö och Stockholm. Båda stationerna hade samma leverantör Stuart Energy i Kanada och elektrolysörerna kom från Stuart Energys belgiska bolag Vandenborre. I Stockholm användes tankstationen för CUTE-projektet. Tre bränslecellsbusar kördes i reguljär citytrafik i Stockholm under två år.

I Malmö uppfördes stationen i första hand för att kunna leverera Hythane, en blandning av vätgas och naturgas till stadsbusar. Det finns också möjlighet att tanka ren vätgas och Hythane för personbilar vilket har gjorts vid flera tillfällen. Idag används en Toyota Prius vätgasbil i Malmö som tankas regelbundet vid brintstationen.

Att båda stationerna uppfördes parallellt underlättade tillståndshandlingen. I huvudsak användes samma bestämmelser som för uppförandet av naturgastankstationer i Sverige.

En del principiella skillnader fanns dock; i Malmö lagras vätgasen vid 395 bars tryck men i Stockholm var det inte tillåtet att ha ett tillräckligt stort lager för detta tryck beroende på närheten till ett bostadsområde. Därför användes en boosterkompressor vid tankning av bussarna. I Stockholm byggde också en serviceverkstad för vätgasbusarna. Denna verkstad hade speciella säkerhetskrav för att klara utsläpp av vätgas.

Erfarenheterna från uppförandet av brinntankstationen i Stockholm finns väl dokumenterade i en rapport som gjordes i samband med CUTE projektet, Rapporten går att hämta via följande länk:

www.miljobilar.stockholm.se/upload/3604/CUTE%20erfarenheter%202004.pdf

Miljöaspekter

Om vätgas används i ett bränslecellsfordon så uppstår inga emissioner under drift av fordonet, mer än vattenånga. Om vätgas används i ett fordon med en ICE motor så kan det bildas NO_x vid förbränningen eftersom vätgas brinner vid relativt hög temperatur.

Vätgas är en energibärare som inte förekommer i större mängder i atmosfären utan måste framställas, det kan göras på många olika sätt. Det vanligaste vid industriell tillverkning av vätgas är att reformera naturgas. Det är en relativt miljövänlig teknik det bildas dock CO₂ i processen. En annan klassisk teknik som är vanlig är att utgå från kol vilket var vanligt i stadsgasverk, stadsgasen bestod till stor del av vätgas.

Den mest miljövänliga teknik som finns kommersiellt tillgänglig idag för att framställa vätgas är elektrolys av vatten. Om den el som används för elektrolysen kommer från en förnybar källa exempelvis sol-, vind-, vatten- eller vågkraft, så är de skadliga emissionerna i hela kedjan i princip försumbara.

4.3 Brinttankstationen i Malmö

Brintstationen i Malmö ägs av E.ON Sverige AB. Den uppfördes av dåvarande Sydkraft och invigdes den 11 september 2003. Stationen är dimensionerad för att dagligen kunna producera och tanka 40 kg vätgas. Det kan till exempel användas för,

- 2 vätgasbussar 20 kg / 350 bar per buss
- 25 hythane bussar 8% H₂ 200 bar
- 10 vätgasbilar 4 kg / 350 bar per bil

Dispensern vid stationen kan leverera fyra olika bränslen,

- Vätgas 200 bar
- Vätgas 350 bar
- H₂ /CNG 8% H₂ (Hythane)
- H₂ /CNG 20% H₂ (Hythane)

Brintstationen i Malmö är uppförd på ett äldre gasverksområde. Det underlättade bygglovs- och andra tillståndsärenden. Anläggningen godkändes och besiktigades av SRV (Statens Räddningsverk). Elektrolysören och vätgaslagret är placerade inom ett inhägnat industriområde. Dispensern, tankanläggningen är placerad i en publik tankstation för olika bränslen; där det även är möjligt att ladda elbilar och tanka naturgas- och biogasfordon.

Tekniska data för elektrolysören

- kapacitet 36 Nm³H₂/h
- Energiförbrukning elektrolysör: 4,2 kWh/Nm³H₂
- Energiförbrukning totalt: 5,5 kWh/ Nm³H₂
- Vattenförbrukning: 36 l/h
- Vätgastryck från elektrolysören H₂: 10 bar
- Effektbehov: 210 kW
- Effektområde (load area): 25 – 100 %

Vätgaslagret har kapaciteten 4 m³ och lagringstrycket 395 bar.

I huvudsak har två stadsbussar dagligen tankat Hythane med 8 % inblandning, i vissa fall upp till 25 % inblandning av vätgas i naturgasen. Vid 8 % inblandning behövdes inga modifieringar göras av bussen och juridiskt anses gasblandningen fortfarande vara naturgas, vid den högre inblandningen så måste

en modifiering av motorns kontrollsystem göras, det görs dock enkelt via en PC.

Detta projekt har genomförts i samarbete med Malmö Stad, Energimyndigheten, Lunds Tekniska Högskola m.fl. resultaten från körningarna var mycket goda och visade på väsentligt lägre bränsleförbrukning och minskning av emissioner CO och HC samt CO₂ beroende på den ökade verkningsgraden. NOx emissionerna var svårare att minska; det fungerade i laboratoriemiljö men vid mätningar på väg gick det inte att visa minskningar av NOx-emissioner.

Malmö Stad har önskemål om att utöka verksamheten och använda Hythane i ett större antal bussar. Det betyder i så fall investeringar i fler brintanläggningar. Bussleverantörerna har ännu inte godkänt en utvidgning av projektet och alla finansieringsfrågor är inte klara.

Idag används tankstationen främst för att tanka en Toyota Prius vätgasbil som används av E.ON Gas.

Driftserfarenheterna från elektrolysören och lagret är mycket goda, inga större problem har rapporterats. Dispensern som har levererats av FTI i Kanada har dock orsakat en del problem bland annat för tankning av Hythane, blandningen har varierat kraftigt och det har även varit en del mekaniska problem. FTI finns inte längre kvar som företag och det är därför svårt att få service på anläggningen.



Den vänstra bilden visar dispensern för brint och hythane. Den högra bilden visar tankning av en stadsbuss med Hythane.



Elektrolysören och vätgaslagret som är placerade inom ett inhägnat industriområde ca 200 m från tankningsanläggningen



Till höger syns vätgaslagret avklätt det består av tuber från Dynatech, Kanada. Det är flera vätgasbilar som har varit på tillfälliga besök vid tankstationen, den vänstra bilden visar en Opel bränslecellsbil.

4.4 Ekonomi

4.4.1 Investeringskostnader för brinntankningsanläggningar

Malmöanläggningen och Stockholmsanläggningen såväl som de liknande anläggningar i CUTE-projektet köptes som komponentleveranser inklusive uppstart, utbildning och funktionsgarantier. Mark- och byggnadsarbeten på plats ingick inte. Kostnaden för leverans av en anläggning var 2002-2003 i storleksordningen 700 000 – 800 000 USD.

En anläggning baserad på reformering av naturgas kan vara något billigare i investering. Den lägsta investeringskostnaden har en tankanläggning som får vätgasen levererad med lastbil till en tankstation.

Det kan vara ett intressant alternativ om det är ett tillfälligt projekt eller om det finns en industri i närheten som kan leverera överskottsgas till ett lågt pris.

4.4.2 Driftskostnader

De rörliga driftskostnaderna är främst beroende av elpriset. Underhållskostnaderna har varit relativt låga för tankanläggningen i Malmö. I de nämnda anläggningarna har syftet främst varit demonstration av tekniken. De har därför inte varit optimerade för låga driftskostnader vilket gör att uppföljningen av driftskostnaderna inte gjorts med större exakthet.

En anläggning baserad på reformering av naturgas kan ha lägre driftskostnader men för storleken 2-3 brintbussar så är kostnaderna i samma storleksordning. Driftskostnaderna beror till största delen på de lokala elkostnaderna. För en större anläggning så ökar i regel kostnadsfördelarna med en naturgasbaserad anläggning.

4.5 Framtida teknisk utveckling

Antalet brintprojekt har ökat kraftigt de senaste åren, speciellt i USA och Japan. Det gör att anläggningarna i större utsträckning har standardiserats av tillverkarna. Det gör att driftsäkerheten har ökat och service och tillgång till reservdelar har förbättrats.

I Europa har nyligen EUs FCH JTI (Fuel Cell and Hydrogen Joint Technology Initiative) startats. Det betyder att EU-projekten kommer att fokusera väsentligt mer på demonstrationsprojekt och mindre på långsiktig forskning jämfört med tidigare. Detta kommer att skapa en ökad efterfrågan på brintstationer i Europa och eventuellt även minska kostnaderna för dessa.