
Arbetsrapport SGC A27

Vätgas i framtidens energisystem

En förstudie om möjligheter till
industriell utveckling i Sverige

©Svenskt Gastekniskt Center - Januari 2001

Jan Johanson, Ecomitech AB

"Ja, mina vänner, jag tror att vatten en dag blir arvänt som bränsle. En dag kommer fartygens och loko motorns ångpannor att drivas med väte och syre i stället för med kol."
Ingenjören i Den hemlighetsfulla ön av Jules Verne (1874)

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. Vissa rapporter inklusive denna finns tillgänglig på SGC:s hemsida www.sgc.se.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

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, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energi AB och Helsingborg Energi AB.

Följande parter har gjort det möjligt att genomföra detta utvecklingsprojekt:

Statens Energimyndighet

Elforsk AB

Sydgas AB

AGA AB

Birka Energi AB

Göteborgs Energi AB

Helsingborgs Energi AB

Lunds Energi AB

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB

Johan Rietz

Sammanfattning

Vätets kemiska egenskaper gör det mycket lämpligt att använda som energibärare. De senaste åren har stora framsteg gjorts i utvecklingen av bränsleceller men mycket utvecklingsarbete återstår innan kommersiella tillämpningar kan lanseras, inte minst när det gäller lagring och hantering av vätgas i samhällsstrukturen.

Denna förstudie syftar till att ta fram ett förslag till inriktning på ett svenskt industriellt utvecklingsprogram för vätgas, innefattande framställning och lagring av vätgas samt användning av vätgas som energigas. Utvecklingsprojekt avseende bränslecellsteknik lämnas utanför förstudien då detta område studeras i flera andra sammanhang.

Förstudien har omfattat en kartläggning av tänkbara utvecklingsområden och ett antal tänkbara industriella intressenter har kontaktats. Kartläggningen har resulterat i ett mindre antal konkreta utvecklingsprojekt

Förstudien utmynnar i förslag om några konkreta utvecklingsprojekt, några specifika förstudier för att utröna förutsättningar för ytterligare projekt, samt om utökad svensk medverkan i det internationella samarbetet inklusive ett förslag om ett svenskt initiativ till internationell teknikupphandling. Utvecklingsprojekten föreslås samlas i olika program.

I förslagen betonas vikten av en helhetssyn på de vätgasbaserade energisystemen. För att säkerställa denna helhetssyn föreslås att ett nationellt utvecklingsråd för vätebaserade energisystem bildas, bestående av företrädare för svenska myndigheter, forskningsinstitutioner och industrin samt konsumentföreträdare.

Förord

Syftet med denna förstudie var - när den initierades våren 1999 - att få fram underlag till ett industriellt utvecklingsprogram för väte som energigas. Detta avsågs motsvara och komplettera det program som SGC sedan flera år arbetar med när det gäller övriga energigaser. Som underlags fanns en tänkt struktur omfattande produktion och lagring av vätgas samt olika tillämpningar. Avsikten var att denna skulle kompletteras och preciseras i dialog med olika intressenter.

Vätgas anses av många vara en betydelsefull, framtida energibärare. På vägen dit finns en mängd tekniska frågor såväl som standarder och beteendefrågor som vi måste finna lämpliga lösningar på. Ett centralt motiv för att nu ta fram en utvecklingsplan är att förbättra möjligheterna att med små steg kunna närma sig framtiden - att hitta avgränsade områden där vätgas kan börja användas som energibärare.

Under förstudiens gång har ett stort antal uppslag kommit fram, men få har väckt något reellt industriellt gensvar. En orsak till detta är att en fungerande energikedja måste byggas upp och dess beståndsdelar är idag dåligt utvecklade.

Det har ibland också varit svårt att få fram information om pågående projekt och studier. Orsakerna till detta är säkert flera, bl a en uppsplittrad organisation där få personer har en överblick över hela energikedjan och att projekten inte har industriella ambitioner och att därmed motiven för att lämna information till denna förstudie inte har varit uppenbara.

Förstudien har dragit ut på tiden och delvis blivit en del i en process där intresset och möjligheterna sakta ökats. Det nya utvecklingsprogram som SGC arbetar med fr o m 2000 innefattar också vätgas. Tidsutdräkten har också inneburit att genomförda inventeringar blivit obsoleta, varför dessa delar har tonats ner i slutredigeringen av rapporten. Genom andra insatser, inom bl a Energimyndigheten, kommer en mer omfattande kartläggning att genomföras och en översyn pågår dessutom av de olika forskningsprogrammen.

Förstudien avsågs i sin deskriptiva del vara mycket begränsad och utgå från Elforsk rapport 98:19, Väte - Framtidens energibärare. För att underlätta läsningen finns dock kortare avsnitt om vätets egenskaper och verksamhet i Sverige. I förstudien har rapporten från Elforsk dessutom kompletterats med en kort redovisning av större internationella utvecklingsprojekt, vilka bedöms kunna få stor betydelse för den framtida utvecklingen.

Innehållsförteckning

1. Inledning	5
2. Vätgas som energibärare	7
3. Internationella aktiviteter	10
4. Verksamhet i Sverige	12
5. Tänkbara utvecklingsområden	14
6. Sammanfattande bedömning	18
7. Förslag	20

Bilagor

1. IEA, Annex 13
2. Bränslecellsprojekt inom EU
3. Standardiseringsarbete
4. Referenser

1 Inledning

"We are at the peak of the oil age but the beginning of the hydrogen age. Anything else is an interim solution. The transition will be very messy, and will take many technological paths but the future will be hydrogen fuel cells."

Hermann Kuipers, Royal Dutch Shell

Med ökade krav på miljöanpassade energisystem har intresset för vätgas som energibärare ökat världen över. Samtidigt har några tekniska genombrott skett, framförallt när det gäller konstruktion av bränsleceller. Vätgasbaserade energisystem framstår därmed inte längre blott som en vision utan kan komma att bli verklighet inom en överskådlig framtid.

Hur ett energisystem med väte som energibärare kommer att utformas är dock långt ifrån självklart - inte ens att energibäraren kommer att vara vätgas eller flytande väte. Något annat väterikt ämne, helst i flytande form, kan visa sig vara en ännu bättre energibärare. Främst diskuteras metanol, men även ammoniak har förespråkare.

En mängd delsystem återstår att utforma och förbättra. För att kunna medverka i den industriella utveckling, som nu med stor säkerhet kan förutsägas kommer att ske, bör svensk industri engagera sig inom ett eller flera teknikområden. Det är därför värdefullt om vätgasbaserade energisystem också prövas och demonstreras på hemmaplan.

Med denna förstudie har vi försökt kartlägga de utvecklingsområden, som inom de närmaste åren skulle kunna vara tänkbara för ett svenskt industriellt engagemang.

1.1 Förstudien syfte och avgränsning

Målet med förstudien anges i projektbeskrivningen vara "att presentera en väl förankrad och underbyggd inriktning på ett utvecklingsprogram för H₂ (hydrogen), föreslå organisation, identifiera intressenter samt upprätta förteckning över pågående FoU och förslag på aktuella utvecklingsprojekt."

I ett utkast till utvecklingsprogram från SGC anges syftet med utvecklingsinsatserna vara att sätta Sverige på den internationella "vätekartan" genom etablering av forskningsverksamhet och produktutveckling med svenska industriintressen som bas, innebärande lansering av industriella produkter inom 5 år.

De områden som främst avses att behandlas i förstudien är framställning och lagring av vätgas samt olika områden där vätgas kan komma att användas som energibärare. Utvecklingsprojekt avseende bränslecellsteknik lämnas dock utanför förstudien då detta område studeras i flera andra sammanhang.

1.2 Bakgrund till förstudien

Vätgas används sedan länge för ett antal specifika ändamål, förutom att gasen är ett energirikt bränsle. Under 1970-talet - efter den första stora energikrisen - stegrades intresset för vätgas som energibärare och en utökad användning i Sverige förutspåddes, bl a i en IEA-rapport år 1980¹. Oljepriset fortsatte dock inte att stiga under 1980-talet och prognoserna reviderades. Undersökningar i Sverige visar att användningen av vätgas är ungefär lika stor år 1996 som år 1984, ca 130 000 ton, motsvarande drygt 4 TWh.

Vätgas som energigas kan ersätta eller blandas med andra gaser i en rad tillämpningar och bidra till att höja verkningsgraden och/eller minska miljöpåverkan. Nackdelarna med vätgas är främst säkerhetsaspekten och kostnaderna.

Allt fler företrädare för världens större energiföretag och bilindustrier har de senaste åren uttalat sin uppfattning om att vätgas kommer att bli en viktig energibärare i ett framtida, uthålligt energisystem. När och hur ett skifte kommer att ske är däremot oklart. Internationellt läggs dock redan stora resurser på att utveckla främst bränsleceller men även på tekniker för produktion, transport och lagring av vätgas och andra väterika föreningar.

1.3 Förstudiens genomförande

Förstudien har genomförts på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) och finansierats med bidrag från en grupp näringslivsintressenter samt från Energimyndigheten. Studien har utförts av Jan Johanson, Ecomitech AB.

Den lägesbeskrivning som ges i Elforsk rapport från hösten 1998² har utgjort grund för förstudien. Där finns en utförlig redovisning av teknikområdet och av pågående FoU-projekt både nationellt och internationellt. En översiktlig beskrivning av väte som energibärare och en aktualisering av de internationella aktiviteter har dock inrymts i denna studie, kapitel 2-3.

Under 1999 genomfördes en inventering av i Sverige pågående projekt och kända utvecklingsplaner. Dessutom har ett antal förslag till utvecklingsområden tagits fram och presenterats för tänkbara intressenter; energileverantörer, FoU-organisationer samt företag som kan komma att användas/beröras av vätgas som energibärare.

Samråd med förstudiens finansiärer och några andra intressenter har skett dels löpande under arbetet dels vid ett möte i november. Synpunkter på ett utkast till slutrapport har också inhämtats från finansiärerna. Underhand har några av de projekt som behandlas i förstudien kunnat föras in i SGCs förslag till utvecklingsprogram för åren 2000-2002.

1.4 Förstudiens resultat

Inom ramen för arbetet med förstudien har ett antal förslag/idéer till utvecklingsprojekt tagits fram. Dessa redovisas i kapitel 5, men för flertalet bedöms för närvarande inte förutsättningar finnas för att omsätta dessa i industriella projekt. I kapitel 7 redovisas förslag till ett antal projekt, som inom de närmaste åren bedöms ha möjligheter att kunna formuleras till konkreta utvecklingsprojekt, samt förslag till förstudier i ytterligare några fall.

Under arbetet har kontakt tagits med en rad företag med aktivt eller potentiellt intresse för vätgasteknik och en förteckning på kontaktpersoner har överlämnats till uppdragsgivarna.

Under den tid som förstudien har pågått har intresset för teknikområdet ökat markant - troligen oberoende av studien. De förslag till utvecklingsprojekt som förstudien utmynnar i är fortsatt relevanta, men förutsättningarna för dessa och eventuellt andra projekt har ökat.

Behovet av en effektiv internationell informationsspridning och samverkan understryks och förslag läggs om arrangerandet av industriellt inriktade seminarier och om bildandet av ett nationellt utvecklingsråd, som innefattar kompletta energisystem.

2 Vätgas som energibärare

"The most desirable energy source is hydrogen. Methanol is the second-best fuel-cell energy source and gasoline is the least desirable, but the most readily available."

Neil W Ressler, Ford Motor Co³

2.1 Vätets egenskaper

Väte är det vanligaste grundämnet i universum. På jorden förekommer det sällan i fri form utan ingår i olika föreningar, främst vatten och olika kolväten. Vid normal temperatur och tryck är väte en mycket energirik gas som är ungefär 15 gånger lättare än luft. Energiinnehållet är ca 120 MJ/kg vilket kan jämföras med drygt 40 MJ/kg för bensin, ca 20 MJ/kg för metanol och knappt 50 MJ/kg för metangas. Väte övergår till flytande form vid en temperatur på cirka -253 grader C.

2.2 Utvecklingstendenser

Sett i ett långsiktigt perspektiv har utvecklingen gått mot att använda bränslen med allt lägre halt av kol och högre halt av väte. Detta illustreras i vidstående diagram.⁴ På den vertikala axeln anges antalet kolatomer och på den horisontella kvoten mellan antalet väte- och kolatomer. Den högra skalan anger kokpunkten för respektive ämne i grader Kelvin.

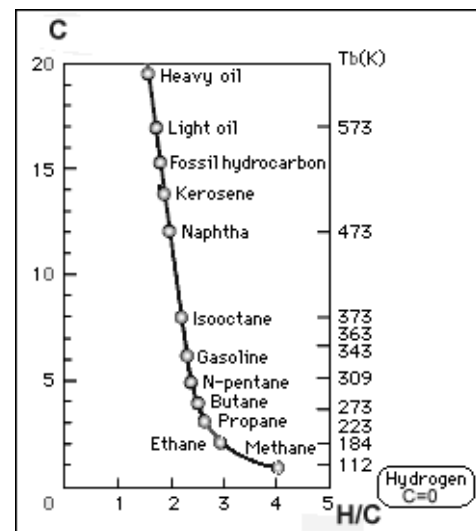
Drivkrafterna i denna utveckling är teknikutveckling, miljö- och hälsoaspekter samt att tillgången på flera av energikällorna är begränsad.

Med en lägre kolhalt i använda bränslen följer minskade utsläpp av koldioxid. Det önskemålet har fått allt större uppmärksamhet de senaste åren, bl a genom de internationella klimatförhandlingarna. Det isländska initiativet (se avsnitt 3.3), att skapa ett första exempel på "Hydrogen Economy", är t ex en direkt följd av Kyoto-överenskommelsen om minskningen av koldioxidutsläppen.

Utvecklingen av bränsleceller kommer troligen att innebära att utvecklingen mot bränslen innehållande en högre andel väte påskyndas. Vissa typer av bränsleceller förutsätter t ex mycket ren vätgas som bränsle för att fungera.

Kraven på minskningar av luftföroreningar, som har drivits hårdast i Kalifornien, har också påskyndat utvecklingen mot mer väterika bränslen. Kraven i Kalifornien på nollemissionsfordon ställdes mot bakgrund av bedömningar om batteriteknikens utveckling. Dessa har inte infriats och nu räknar många aktörer med att bilar med bränsleceller kommer att bli den väg dessa krav kan uppnås.

Vidare innebär avregleringen av elmarknader möjligheter för nya leverantörer och för introduktion av nya sätt att producera elektricitet. Inte minst i USA räknar man med ett kraftigt ökat intresse för lokal produktion av el (och värme/kyla) - att konsumenterna vill skaffa alternativa leverantörer eller göra sig oberoende av energibolagen. Bränsleceller ger en teknisk möjlighet att kunna etablera en alternativ elförsörjning. I första steget kan detta



genomförs på platser som har tillgång till gas i någon form, vilket är vanligt i stora delar av USA och på den europeiska kontinenten.

I denna utveckling kan nya aktörer komma att uppträda på energimarknaden. Den som har levererat elektrisk ström via ett stort nät kan i framtiden också tänkas tillhandahålla (sälja eller hyra ut) utrustning för lokal produktion. Alternativt tillhandahålls den av gasleverantören eller av en tredje part.

Det återstår troligen minst 5-10 år innan bränsleceller kommer att få en bred användning och under den tiden måste också de övriga delarna av det framtida energisystemet utvecklas. Att idag göra investeringar inom området ställer alltså också krav på tillgång till långsiktigt riskkapital.

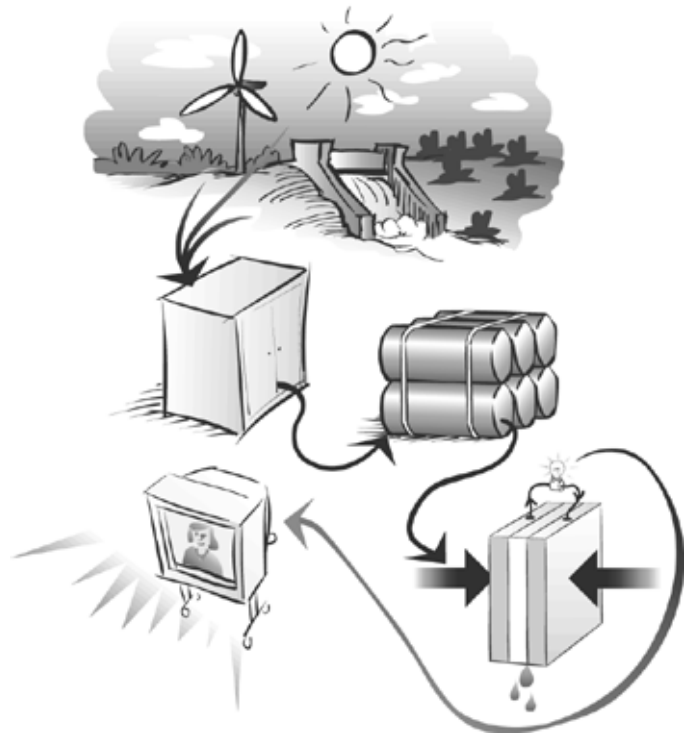
2.3 Teknikområdet

Ett vätgasbaserat energisystem innefattar

- framställning av en energibärare, d v s omvandling av någon "energikälla" till vätgas eller någon annan väterik förening,
- lagring/distribution av energibäraren
- nyttiggörandet av energin inom olika tillämpningar.

Vidstående teckning illustrerar en tänkbar uppbyggnad av ett energisystem, baserat på förnybara energikällor med vätgas som energilager. Andra lösningar är tänkbara och redovisas i förstudien.

Förstudien omfattar vätgas som energigas, vilket innebär att en rad användningsområden för vätgas lämnas utanför. Avgränsningen är dock inte helt entydig och möjligheterna att använda vätgas som reduktionsgas och som svetsgas redovisas kortfattat i förstudien.



2.4 Val av energibärare

Frågan om vilket bränsle som kommer att användas för bränsleceller ägnas för närvarande stor uppmärksamhet, framförallt när det gäller fordonssektorn. Flertalet typer av bränsleceller arbetar med vätgas som bränsle, men gasen kan framställas i anslutning till bränslecellen - genom reformering av kolväten.

Det finns flera tänkbara alternativ som energibärare; metanol, ammoniak, metangas, bensin etc. Skälen till att inte välja vätgas, trots att det är det naturliga bränslet för de flesta typer av bränsleceller, är att vätgas måste framställas, att infrastruktur för distribution saknas, att någon tillräckligt bra teknik för lagring ännu inte utvecklats samt att många känner ängslan inför att hantera denna explosiva gas.

1998 tillkännagav de tyska biltillverkarna och några energi/olje-bolag att de tillsammans avsåg att utarbeta en energistrategi för transportsektorn. Syftet angavs bl a vara:

"securing and extending German industrial technological leadership in the area of alternative propulsion and energy technology".

En halvtidsrapport från gruppen, som antagit namnet Transport Energy Strategy, TES, presenterades i januari 2000. Den anger tre olika bränslen; naturgas, metanol och vätgas. Någon slutrapport har ännu inte presenterats, men under året har även den tyska förbundsregeringen engagerat sig i arbetet och har åtagit sig att föra upp strategigruppens arbete på en europeisk nivå.⁵

Under de närmaste fyra åren kommer ett demonstrationsprojekt med ett 50-tal bränslecellsfordon att genomföras i Kalifornien (se avsnitt 3.3). Ett av de centrala syftena med detta är att utvärdera olika energibärare. Valet står här i huvudsak mellan vätgas, metanol och bensin.

USAs energidepartement presenterade i början av år 2000 en promemoria om vilka insatser som bör vidtas för att åstadkomma ett vätgasbaserat energisystem: "Blueprint for Hydrogen Fuel Infrastructure Development"⁶ Den är resultatet av en workshop i oktober 1999 och ett syfte anges vara att redovisa:

"What has to be done, beginning today, to implement a hydrogen fuel infrastructure so that when hydrogen vehicles become market-ready in 3-5 years, the infrastructure needed for on-board direct use of hydrogen will be available?"

När det gäller stationära installationer av bränsleceller är metangas i form av naturgas idag det dominerande bränslet och kan förväntas vara så även i fortsättningen. Metangasen reformeras oftast, men det finns också bränsleceller där metangas kan matas direkt in i cellen. På platser där vätgas kommer att finnas tillgängligt kan naturligtvis den användas. Det torde bli aktuellt bl a på platser där vätgas kan produceras med hjälp av förnybara energikällor.

Utvecklingen när det gäller portabla tillämpningar tycks huvudsakligen vara inriktad på att kunna använda metanol direkt i bränslecellen. Troligen kommer den tendensen att stå sig om metanol kommer att användas som fordonsbränsle. Introduceras däremot vätgas för fordonsmarknaden kommer antagligen även teknik för att hantera vätgas i små lagringsenheter att vara intressant.

3 Internationella aktiviteter

"The promotion of fuel cell networks and the establishment of a European area for research and innovation will help meet the global challenge of sustainable development and prepare the best way forward for energy provision for future generations."

Philippe Busquin, EUs forskningskommissionär

I detta avsnitt redovisas översiktligt de utvecklingsinsatser som görs i internationell samverkan. Nationellt pågår dessutom omfattande utvecklingsarbeten framförallt i USA, Kanada, Japan och Tyskland. Stora satsningar genomförs för närvarande när det gäller bränsleceller, framförallt inom bilindustrin.

3.1 IEA - Internationell Energy Agency

Vätgasteknik behandlas i ett antal av de ca 40 arbetsområden, "Implementing Agreements" (I/A), som finns inom IEA-samarbetet. IEA är en OECD-organisation för samarbete inom energiområdet som har skapat ett "Energy Technology and R&D Collaboration Programme" med ett antal arbetsområden.

Vart och ett av dessa I/A har en Executive Committee, med en representant från varje deltagande land. Sverige representeras oftast av en handläggare från Energimyndigheten. Följande grupper arbetar med frågor inom detta område. För mer information om pågående arbeten hänvisas till presentation på Internet eller kontakt med Energimyndigheten.

Inom gruppen "Fossil Fuels":

- Greenhouse Gases R&D Programme
 - Publicerade nyligen en rapport om vätgas, Hydrogen - Today and Tomorrow

Inom gruppen Energy End-Use:

- Advanced Fuel Cells
- Advanced Motor Fuels
- Energy Storage
- Hybrid and Electric Vehicles
 - Förslag finns om nytt Annex: Fuel Cell Vehicles

Inom gruppen Renewable Energy:

- Production and Utilization of Hydrogen med Annex (arbetsgrupper) för:
 - Storage in Metal Hydrides and Carbon (Annex 12)
 - Design & Optimization of Integrated Systems (Annex 13, se bilaga 2)
 - Photoelectrochemical Hydrogen Production (Annex 14)
 - Photobiological Hydrogen Production (Annex 15)
 - Hydrogen Use in Processes (Annex 16)
 - Hydrogen from Carbon Containing Materials (Annex 17)

3.2 Andra internationella organisationer

På senare år har EU givit betydande stöd till ett antal projekt - främst avseende bränsleceller - och inom det 5e ramprogrammet beräknas en kraftig expansion. Enligt en i maj 2000 publicerad broschyr⁷ har EUs stöd omfattat 54 miljoner € under det 4e ramprogrammet (1994-98) och i första omgången inom det 5e ramprogrammet har stöd om 28 miljoner € beslutats för 10 projekt inom området bränsleceller. En andra ansökningsomgång inom energiområdet, som gick ut den 2 maj 2000, var till stor del inriktad på detta teknikområde och EU-kommissionen eftersträvar att samordna detta utvecklingsarbete med nationella satsningar.

Inom projektet European Integrated Hydrogen Project, EIHP (som har delfinansierats av EU) har ett antal industriföretag samarbetat för att ta fram gemensamma standarder och säkerhetsregler. Projektet är nu på väg att avslutas. Från svensk sida har Volvo deltagit i arbetet.

Ett internationellt standardiseringsarbete är igång. Hittills har Sverige främst deltagit genom EIHP men kommer framöver att engagera sig i större utsträckning, se bilaga 3.

1.3 Industriella utvecklingsprogram

Ett stort antal företag är idag engagerade i utvecklingsarbete med bränsleceller och tillhörande teknik. Utvecklingsarbetet har i många fall betydande stöd från offentliga instanser. Några större industriella samarbetsprogram redovisas kortfattat nedan.

Japan arbetar efter ett omfattande program WE-NET⁸ (World Energy Network) för utveckling av en infrastruktur för vätgasbaserad energi, omfattande tre faser fram till år 2028. Programmet, som presenteras närmare i Elforsk Rapport 98:19, är initierat av Japans handels- och industriministerium (MITI).

I den tyska delstaten Bayern drivs sedan flera år en rad utvecklingsprojekt, sedan 1996 under samlingsnamnet WIBA, Wasserstoff-Initiative Bayern.

De flesta stora biltillverkarna (i USA, Japan och Europa) har de senaste åren formerat sig i olika allianser för utvecklingen av bränsleceller.⁹

Island tillkännagav i början av år 1999 att man vill bli ett pilotprojekt för "The Hydrogen Economy" - att basera all fordonsdrift inom landet på vätgas. Ett utvecklingsbolag bildades där DaimlerChrysler, Shell och Norsk Hydro ingår. Första steget omfattar bränslecellsbussar och därefter kommer personbilar och fiskeflottan.

Någon månad senare offentliggjordes ett samarbetsprogram för att under fyra år demonstrera bränslecellsdrivna bilar och bussar i Kalifornien, California Fuel Cell Partnership. Det är öppet för bilindustrier och energibolag och kommer att omfatta minst 50 fordon.

I Frankrike skapades 1999 ett bränslecellsnätverk (Fuel cell Technological Research and Innovation Network) med syfte att stimulera samverkan mellan samhällsinstitutioner och franska företag, stödja industriell utveckling och förbereda marknadsintroduktionen av denna teknologi.^A Fram till juni 2000 hade 23 projekt startats där den franska staten bidrar med en tredjedel av finansieringen.

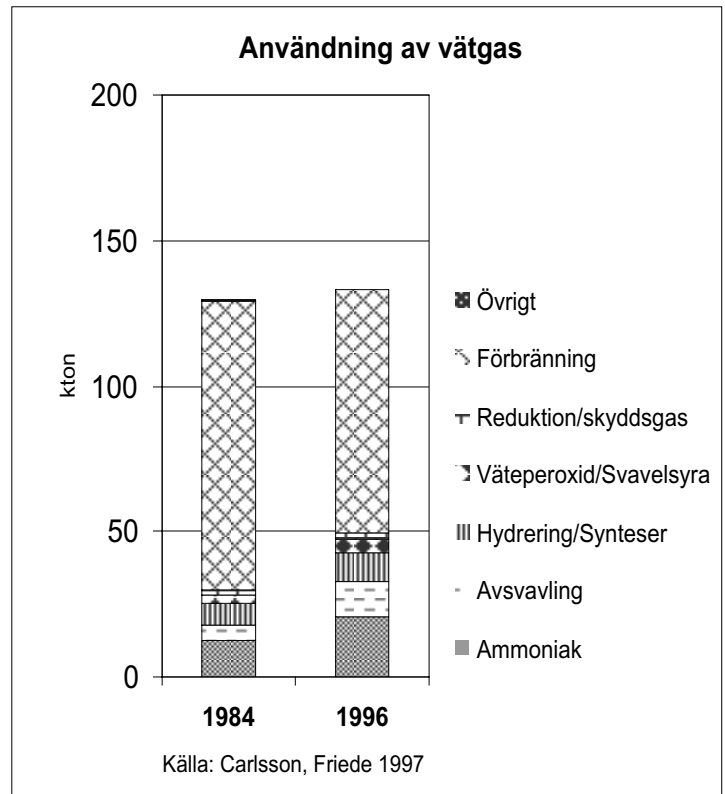
^A The purpose of the network is to work for the development of commercially viable fuel cell technologies for fixed, mobile and portable applications. Its objectives are to identify the technological obstacles, to lead the scientific and technical communities, to develop a core of expertise, to promote and diffuse the advances made in research, to bring together public sector and private sector initiatives and to establish a long-term research basis for the development of these technologies. (http://www.cea.fr/ang/actu/html/60_1.htm)

4 Verksamhet i Sverige

4.1 Dagens användning av vätgas

Användningen av vätgas i Sverige har undersökts vid två tidpunkter, 1984 (Wallander)¹⁰ och 1996 (Carlsson/Friede)¹¹. Den totala användningen är ungefär lika stor dessa år, ca 130 kton. Förbränningen av vätgas har minskat medan användningen för andra ändamål har ökat, kvantitativt mest betydelsefullt när det gäller avsvavling av oljeprodukter (+140%) och framställning av ammoniak (+67%). Användning av vätgas för energiändamål uppgår till ca 85 kton, mestadels förbränns den för värmeproduktion.

I figuren jämförs användningen av vätgas i Sverige dessa år.

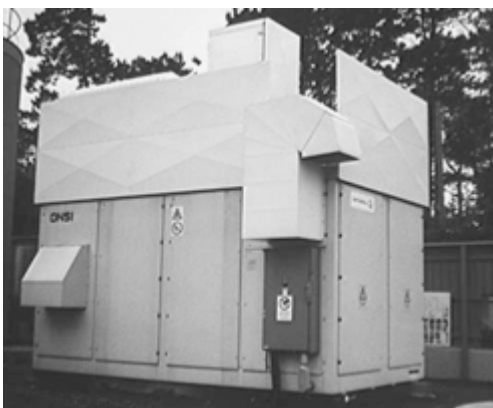


Vätgas i tryckkärl (200 bar) kan levereras från gasdistributörens depåer, men detta sker i mycket begränsade mängder. I kartläggningen 1984 konstateras att "mer än 90 % av den producerade vätgasen används inom det egna fabriksområdet".

Laboratoriets behov av vätgas tillgodoses i allt högre utsträckning genom lokal framställning i form av elektrolys. Flytande väte har aldrig levererats inom Sverige.

4.2 Vätgasteknik inom energiområdet

Förbränning av vätgas sker alltså idag på flera ställen - huvudsakligen för att använda uppkomna överskott. I ett projekt i Norberg har utvecklats teknik för att skära och löda i metaller varvid vätgas och syrgas framställs genom elektrolys.



På 1980-talet konverterades en personbil till vätgasdrift och ett liknande projekt genomfördes för närvarande i Norberg. Propåer om att använda denna teknik i bussar på olika ställen i Sverige har hittills stannat vid propåer.

Några stationära bränsleceller, importerade från USA respektive Japan är eller har varit i drift i Sverige - bilden visar en fosforsyracell på 250 kW som står i Varberg och ägs av Vattenfall. Bränslet är naturgas, som reformeras till vätgas.

Utöver detta finns industriell verksamhet som berör väteområdet, t ex inom Volvo Aero, som gör

raketmotorer, vilka drivs med flytande väte, samt några företag som utvecklar produkter inom "branschen". T ex tillverkar Opcon Autorotor kompressorer till bränsleceller och samarbetar i ett utvecklingsprojekt med företagen Kompositprodukter och NFO Drives. Andra företag som har verksamhet inom området är Höganäs (metallhydrider) och Avesta Sheffield (komponenter i bränsleceller).

4.3 Pågående forskning i Sverige

Forskning som berör vätgas bedrivs vid några av de svenska universiteterna, främst avseende bränsleceller och framtida möjligheter till framställning av vätgas. Utöver detta har de senaste åren ett antal mindre systemstudier genomförts.

Framställning av vätgas

- Artificiell Fotosyntes, konsortium omfattande Lund, Stockholm och Uppsala (se bild)
- Fotoelektrokemiska solceller, Uppsala
- Från solinstrålning m h a cyanobakterier, Uppsala
- Ur organiskt material m h a bakterier, Linköping
- Ur alkoholer, KTH
- Separering ur gaser m h a katalytiska membran, Linköping

Lagring av vätgas

- Metaller, vätgasupptag, KTH
- Metallhydrider, Stockholm
- Storskalig lagring i bergrum, Chalmers

Användning av vätgas

Svensk forskning om bränsleceller har pågått alltsedan 1960-talet på olika typer av celler. Idag bedrivs forskning vid flertalet tekniska högskolor och huvudparten har samlats inom tre program; två med Energimyndigheten som huvudfinansiär, administrerade av Elforsk, Högskoleprogrammet respektive det Tillämpade programmet. Det tredje programmet, Jungner Center, omfattar även batteriteknik och har Mistra som huvudfinansiär.

Nyligen genomförda studier

- Hydrogen or methanol in the transportation sector. Chalmers 2000, Christian Azar m fl
- Hydrogen Storage Alternatives - a technological and economic assessment. Joakim Pettersson, Ove Hjortsberg Volvo TU, KFB meddelande 1999:27
- Technical and Economic Assessment of Hydrogen and Methanol Powered Fuel Cell Electric Vehicles, Chalmers 1999, Patrick Jung
- Strategic Alliances for the Development of Fuel Cell Vehicles, Göteborgs Universitet, KFB 1998:37, Kanehira Maruo

5 Tänkbara utvecklingsprojekt

"Make no mistake about it, we are on the path to commercialization of fuel cells."

Byron McCormick, co-director of GM's Global Alternative Propulsion Center

Tänkbara utvecklingsområden har inventerats och kontakt har tagits med tänkbara intressenter för att pröva förutsättningar för att formera industriella utvecklingsprojekt.

I förstudien har också studerats om förutsättningarna för utvecklingen av en svensk vätgasmarknad har förändrats den senaste tiden eller om det finns skäl att räkna med att de kan ändras de närmaste åren? För att utvecklingsinsatser när det gäller produktion och lagring av vätgas ska få stimulans av en hemmamarknad krävs att ett eller flera användningsområden tillkommer.

Kan ökade miljökrav, Kyoto-avtalet och en nära förestående introduktion av bränsleceller ge tillräckliga incitament eller kan avregleringen av elmarknaden stimulera införandet av andra energitekniker? Tre drivkrafter bedöms som särskilt betydelsefulla:

- Miljöaspekten värderas allt högre bland konsumenter - högre energipris kan förväntas accepteras
- Den internationella tekniska utvecklingen - fler produkter för vätgas
- Ökad uppmärksamhet för tekniken

Är dessa krafter tillräckliga för att kompensera den högre kostnaden för vätgas och för att övervinna den osäkerhet som idag finns om hur vätgas kan hanteras?

Nedan redovisas en rad tänkbara tillämpningar och utvecklingsområden mycket kortfattat. Flertalet av dessa har prövats inom förstudien i kontakt med företrädare för branschen eller andra sakkunniga. I avsnitt 7.2 redovisas de projekt där det bedöms som realistiskt att formera ett industriellt utvecklingsprojekt.

5.1 Framställning av vätgas

Att kunna framställa vätgas till ett konkurrenskraftigt pris är naturligtvis en nyckelfråga för att kunna övergå till en "vätgasekonomi". I Sverige torde det idag finnas ett visst överskott genom att vätgas, som eldas upp efter att ha framställts i industriella processer, skulle kunna användas på annat sätt. Det förutsätter dock att den kan göras tillgänglig till en rimlig kostnad. Om den framställda mängden vätgas skall ökas finns på kort sikt två alternativ - ur fossila bränslen eller genom elektrolys av vatten.

På medellång sikt kan det vara möjligt att utveckla kostnadseffektiva metoder att utvinna vätgas ur biomassa (avfall, alkoholer, eller direkt ur trä). Forskning pågår dessutom för att från solenergin direkt kunna generera vätgas. De senare ännu inte mogna för industriellt engagemang. Tänkbara utvecklingsområden är:

- Reformering av naturgas
- Elektrolys av vatten
- Ur biomassa/alkoholer

5.2 Energilagring

Möjligheten att lagra energi är en av de stora fördelarna med vätgas, men här finns också en av de största tekniska utmaningarna då behovet av en ökad lagringstäthet är stort, framförallt för fordonsdrift. Med nu tillgängliga tekniker är det svårt att nå upp till önskvärda körsträckor - framförallt när jämförelse görs med flytande bränslen.

I Sverige bedrivs forskning framförallt när det gäller metallhydrider men industriellt har utvecklingsarbetet varit inriktat på att få fram batterier.

Tänkbara teknikområden är:

- Storskalig lagring, t ex i bergrum
- Tryckkärl; högre tryck och/eller lägre vikt
- Flytande väte
- Metallhydrid (se bild) med högre lagringstäthet
- Lagring i andra metall- och kolmaterial
- (Metanol som energibärare/mellanlager)



5.3 Distributionssystem

Vätgas kan transporteras antingen i pipelines eller i någon form av tryckkärl. Den praktiska erfarenheten av att hantera vätgas i publika miljöer är dock begränsad i Sverige varför demonstrationsprojekt skulle vara värdefullt. Jämförelsevis kan noteras att det krävdes en del "innovationer" för att lösa distributionen av biogas till tankställen inom Stockholms stad.

Ytterligare ett skäl till att genomföra utvecklingsprojekt inom detta område är att vinna erfarenheter för standard- och säkerhetsfrågor.

Ett alternativt sätt att distribuera energin, som kan vara intressant för Sverige, är att utnyttja elnätet och framställa vätgas genom elektrolys nära konsumtionsplatsen, t ex på nuvarande bensinstationer. Dessa skulle också kunna sälja behållare med vätgas till mobiltelefoner, arbetsredskap etc och kanske även till utombordsmotorer och liknande utrustning. Tänkbara utvecklingsområden är:

- Pipeline - möjligheten till inblandning i metangasnet har studerats i Danmark¹²
- Transport av flytande väte (har ännu inte prövats i Sverige)
- Tryckkärl, främst hantering och överföringstekniker
- Fast form (metallhydrid mm), utbytessystem eller lokal påfyllning
- Tankstationer för såväl komprimerad som flytande

5.4 Tillämpningar

Om några år kommer troligen bränsleceller att börja marknadsföras kommersiellt, men det torde dröja minst 5 år innan de kommer att säljas i något större antal i Sverige. Under de närmaste åren kan några andra tillämpningar av vätgas som energibärare bli aktuella liksom några demonstrationssystem med bränsleceller. Härmed kan ett mindre antal lokala system skapas där vätgas hanteras.

5.4.1 Bränsleceller

Ett antal demonstrationsprojekt med bränslecellsdrivna fordon pågår och planeras runt om i världen, bl a i Kalifornien och på Island. När det gäller stationära bränsleceller avses provinstallationer genomföras under de närmaste åren - både för större enheter och för enskilda hus. (Bilden visar en testversion av en "villa-bränslecell" från bolaget HPower.) Ytterligare projekt beräknas tillkomma med finansiellt stöd från EUs 5e ramprogram. För svensk industri bör det vara intressant att söka ta tillvara de forskningsresultat som kommer fram och att medverka i internationella projekt.



5.4.2 Förbränningsmotorer

Vätgas kan användas som bränsle i förbränningsmotorer. Till skillnad från konventionella bränslen uppkommer då inga emissioner av kolväten eller koloxider, däremot tenderar motorns verkningsgrad att minska och mängden kväveoxider att öka. Det senare gäller även vid inblandning av vätgas i metangas, se avsnitt 5.4.3.

Följande tillämpningar kan vara intressanta för vätgasdrift:

- Arbetsredskap, allt från skylift till lövblåsare
- Gräsklippare
- Utombordare
- Ismaskiner
- Truckar
- Rälsbussar
- Flygplan (förutsättningarna utreds f n med medverkan från FFA och stöd från EU)

Vätgas i förbränningsmotorer har demonstrerats i ett antal projekt världen runt med bilar och bussar, men dessa har inte lett fram till någon fortsatt industriell satsning - med undantag för BMW, som utvecklat bilar som kan använda omväxlande bensin och vätgas. Några bilar är i trafik på Münchens flygplats och användes vid världsutställningen i Hannover i år. BMWs utvecklingslinje kan få stor betydelse för utbyggnaden av en infrastruktur för vätgas - man planerar för att tankningsmöjligheter skall finnas i alla större städer i Tyskland år 2005.¹³

I Los Angeles har ett flerårigt demonstrationsprojekt - Clean Air Now - genomförts där vätgas genererats från solceller och använts som bränsle i några Jeepar. Erfarenheterna tas med till ett projekt i Coachella Valley där en tankningsstation sätts upp - primärt för det lokala bussbolaget.

Bussar som drivs med vätgas i en förbränningsmotor har demonstrerats, främst i Tyskland (bl a i trafik på Münchens flygplats).



I Hamburg inleddes 1999 ett demonstrationsprojekt med en tankningsstation (se bilden) och 6 skåpbilar som drivs med vätgas. Samma förbränningsteknik (Constant Volume Injection) används som i Clean Air Now-projektet. I Norberg pågår konvertering av en pickup och i Danmark planerar man att konvertera en mindre personbil.

Även om bränsleceller med all sannolikhet kommer att bli den huvudsakliga utvecklingsvägen kan det tänkas att vätgas som bränsle i förbränningsmotorer kan vara en intressant teknik för vissa typer av fordon. Det kan gälla fordon som idag drivs med gasol eller andra gaser, bensindrivna arbetsredskap, t ex skylifts eller större truckar där batterier inte ger tillräckliga prestanda samt mindre fordon eller större arbetsredskap, t ex gräsklippare eller lövblåsare. Tekniken skulle också kunna användas i större fordon där effektbehovet är så stort att bränsleceller kommer att ställa sig mycket dyrt men fordonet har god lastkapacitet relativt erforderlig energimängd, t ex rälsbussar.

5.4.3 Vätgasinblandningar

Vätgas kan också blandas in i metangas/naturgas och detta har använts i några projekt i USA under 1990-talet. Ett skäl att göra detta har varit att förbättra förbränningen och minska emissionerna - ett annat är att tillföra förnybar energi till ett naturgassystem.

Hythane, som är ett varumärke registrerat av Hydrogen Components Inc, utgörs av en blandning av naturgas och vätgas (5-10%) och har använts för drift av bussar i USA och Kanada. Jämförande emissionsanalyser med en inblandning med 15 % vätgas har gjorts i USA¹⁴. I Montreal användes hythane för drift av två bussar åren 1995-96, som en del av projektet Euro-Québec Hydro-Hydrogen Pilot Project. Enligt uppgift från HCI uppnåddes då en reduktion av NOx-utsläppen med 43% vid en inblandning av 7% vätgas.

För Sveriges del kan det vara speciellt intressant att kombinera vätgas med biogas - där det f n pågår en omfattande utbyggnad av produktionskapaciteten. Framförallt för tyngre fordon skulle hythane kunna vara ett miljömässigt attraktivt alternativ. Längre körsträcka skulle kunna uppnås till en lägre kostnad än med bränsleceller.

Genom stadsgasnäten finns stor erfarenhet av inblandning av vätgas i andra gaser även i Sverige - t ex innehåller Stockholms stadsgas ca 50% vätgas. Befintliga gasnät kan användas för distribution av vätgas och det kan få stor betydelse när nya tillämpningar för vätgas finns tillgängliga. Utvecklingen av kostnadseffektiva tekniker för separering av vätgas ur blandade gaser är därför intressant.

5.4.4 Andra tillämpningar

Vätgas kan också användas som svetsgas. Ett demonstrations- och utbildningsprojekt drivs för närvarande i Norberg och mycket goda resultat har uppnåtts framförallt vid skärning och lödning. Som gaskälla används en elektrolysör och både vätgasen och syrgasen används. Något kommersiellt genomslag har tekniken dock inte fått. En bidragande orsak till detta kan vara att det inte finns någon större erfarenhet av att hantera vätgas inom mekanisk industri.

Att använda vätgas som reduktionsgas vid framställning av stål är en intressant tillämpning som skulle kunna bidra till en kraftig minskning av utsläppen av koldioxid.

6 Sammanfattande bedömning

"There is almost unanimity that hydrogen will be the fuel of the future"

Roger Cracknell, Shell Global Solutions. ¹⁵

De fossilbränslebaserade energisystemen kommer på sikt att ersättas av andra energikällor och annan teknik. Mer väterika energibärare kommer sannolikt att få ökad användning vid sidan av elektrisk ström. När och med vilken hastighet som denna omställning kommer att ske är däremot osäkert och också vilka energibärare som kommer att användas. Många anser att vätgas är den bästa lösningen, men kanske kommer det att bli en övergångslösning med t ex metanol - en övergång som kan pågå i allt mellan 20 och 200 år.

Givetvis kommer inte övergången att ske momentant, som högertrafikomläggningen, utan successivt med början för vissa tillämpningar och troligen inom några geografiskt avgränsade områden. Vätgasbaserad energiteknik fungerar också väl i lokala energisystem, vilket kommer att underlätta introduktionen. Utifrån dessa pilotprojekt etc dras erfarenheter och där dessa är goda sprids tekniken/systemet vidare.

Redovisningen i denna rapport ger förhoppningsvis viss ledning för en bedömning om vilka områden som kan förväntas komma att ligga i tåten för denna omställning. För svensk industriell utveckling är det väsentligt att identifiera dessa - både för att försöka medverka i utvecklingen och för att undvika att investera i teknik som står inför en snar avveckling.

Drivkrafterna för omställningen är, bortsett från att de fossila bränslena är ändliga resurser och så småningom måste ersättas, i huvudsak två: Miljöhänsyn, främst att minska utsläppen av koldioxid, samt den förbättring av energieffektiviteten som bränsleceller ger möjlighet till. Motkrafterna är främst priset på bränslecellerna och att bättre och mer användarvänlig teknik behövs för hanteringen av vätgas som energibärare.

Vätgas kommer inom överskådlig tid att vara dyrare än andra energislag eftersom det måste framställas m h a elektrisk ström eller ur kolväten (detta gäller även för t ex metanol). För att en marknad för produkter som använder vätgas som bränsle skall kunna etableras måste antingen energieffektiviteten vara högre eller miljöeffekterna tas med i priset för alternativen. Dessa faktorer beräknas snart kunna uppfyllas av bränsleceller för en rad tillämpningar, men priset på dessa är fortfarande för högt.

Ett byte av energibärare kräver dock att alla led i kedjan (framställning, lagring/ distribution) fungerar. Det försvårar en övergång men innebär också att det finns goda affärsmöjligheter inom en rad teknikområden. Osäkerheten om vilken energibärare som kommer att användas försvårar dock utvecklingen inom dessa områden. Kunskap om konstruktion av tankningsstationer för vätgas (se bilden) blir t ex av mindre värde om metanol väljs som bilbränsle.

Många anser att vätgas är en bättre energibärare än metanol (se t ex ingressen för kapitel 2), inte minst miljömässigt. En övergång från bensin till vätgas är dock troligen svårare att genomföra än att byta till metanol och innebär ett behov av fler tekniska förbättringar (= fler industriella möjligheter), men också behov av att kunna pröva tekniken och vänja konsumenterna. Om miljöskälen väger tungt för vätgas finns alltså stor anledning för samhället att understödja utveckling av "användarvänlig" teknik för hantering av vätgas.

Takten i omställningen bedöms alltså främst komma att påverkas av när kommersiellt intressanta bränsleceller kommer att lanseras. Å andra sidan behöver infrastrukturen finnas

på plats då för att bränslecellerna ska kunna säljas. Detta innebär ett behov av en väl genomtänkt, global strategi, tillgång till långsiktigt investeringskapital och att riskerna för felinvesteringar kan begränsas.

Denna troliga framtida omställning av energisystemen kan jämföras med tidigare utbyggnad av vattenkraft och kärnkraftsteknik. Introduktionen av dessa tekniker genomfördes i Sverige och i flertalet andra länder med hjälp av ett betydande statligt engagemang. Idag betonas dock marknadsaspekterna inom energiområdet både i Sverige och globalt.

Några stora internationella bil- och energiföretag har hittills visat sig vara intresserade av att leda utvecklingen. DaimlerChrysler räknar t ex med att investera ungefär 1 miljard US\$ i bränslecellsteknik fram till år 2004 - då man planerar att inleda serietillverkning av en personbil.¹⁶ Det är möjligt att konkurrensen förmår dessa företag att också investera i erforderlig infrastruktur (jämför uttalandet från BMW, avsnitt 5.4.2). Det är dock viktigt att samhällets önskemål (på bl a effektivitet och miljöhänsyn) finns med i bedömningen, t ex genom att framtida nivåer på miljöavgifter kan tas med i kalkylerna), jämför Urs Muntwylers kommentar, se fotnot avsnitt 7.3.

EU-kommissionen tycks vara intresserade av att aktivt medverka i detta utvecklingsarbete (se avsnitt 7.1) och den tyske transportministern angav i maj 2000 att ett beslut om val av energibärare för fordon kommer att tas inom några månader.¹⁷

Sverige kan tänkas göra en nationell bedömning att vätgas inte kommer att få någon större roll som energibärare och basera sin energipolitik inklusive klimatåtgärder på att använda andra energibärare, t ex etanol. En sådan strategi kan dock innebära problem om vätgas internationellt väljs som energibärare för fordon. Svenska bilköpare kan då få svårt att hitta moderna bilar anpassade för svenska bränslen och svensk bilindustri tappar hemmamarknaden som drivkraft i utvecklingsarbetet när det gäller framdrivning och miljöeffekter.

För svensk industri finns naturligtvis anledning att aktivt medverka i den internationella tekniska utvecklingen oavsett vilka energikällor och -bärare som planeras komma att användas i Sverige.

Vätgas är också användbart som energibärare i en rad tillämpningar utöver i bränsleceller. Detta har studerats i förstudien, men vi har inte hittat något större kommersiellt intresse för att nu ta fram sådana produkter. Det bekräftar den internationella utvecklingen där inte heller några nischmarknader har uppstått. Detta innebär inte att det inte kan finnas ett antal intressanta tillämpningar - när väl vätgas finns tillgängligt i samhället. Bilden visar ett förslag till utformning av ett passagerarflygplan där bränslet är väte, lagrat i flytande form.



7 Förslag till åtgärder

"Hydrogen is the only energy carrier that will be able to satisfy the need for a lasting reduction in carbon dioxide emissions despite a steady increase in the number of motor vehicles on the roads,"

Dr Erhard Schubert, Co-director of GM-Opel's Global Alternative Propulsion Centre.

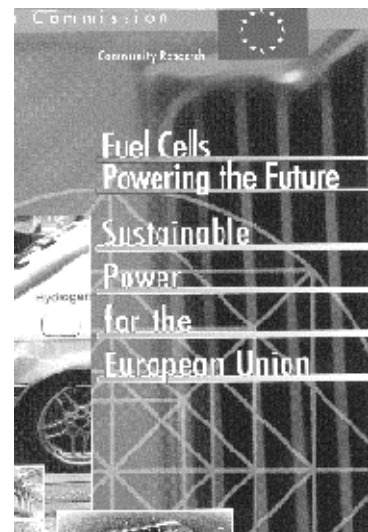
7.1 Generella synpunkter

Kommersiella produkter som använder vätgas som bränsle kommer med stor säkerhet att lanseras inom fem år. Däremot är det oklart vilka tillämpningar som kommer att leda utvecklingen och när i processkedjan som vätgasen kommer att framställas. Denna osäkerhet måste vägas in i kalkylerna vid investeringar i teknik som hanterar energibäraren vätgas. Samhälleligt stöd till utvecklingsprojekt kan ses som en kompensation för denna osäkerhet. Här finns också ett starkt skäl för Sverige och för EU att engagera sig när det gäller valet av framtida energibärare och i standardiseringsfrågorna.

Införandet av energisystem baserade på vätgas eller någon annan ny energibärare kommer med all säkerhet att ske successivt och troligen inledas med geografiskt avgränsade tillämpningar, t ex lokala bussar eller fordon inom ett industriområde. För att vinna såväl tekniska som användarmässiga erfarenheter är det viktigt att demonstrations- och utvecklingsprojekt även genomförs i Sverige.

Möjligheterna att genomföra utvecklingsprojekt i internationellt samarbete bör bevakas och tas tillvara. Det gäller bland annat EUs 5e ramprogram, men även t ex standardiseringsarbetet. Svenska intressenter bör också medverka i den typ av aktiviteter som redovisas i promemorian som USAs energidepartement presenterade våren 2000, t ex genom att delta i arbetet inom Annex 13 inom IEA Hydrogen I/A; Integrated Systems.

EU-kommissionen har i maj 2000 (i broschyren Fuel Cells Powering the Future, se bild) också uttalat att en stabil kommersiell miljö för utvecklingen måste skapas och att man kommer att arbeta för ett ökat informationsutbyte och samarbete i dessa frågor genom att skapa ett europeiskt bränslecellsforum ("A European Fuel Cell Forum").



7.2 Förslag till utvecklingsprojekt

En övergång till vätgasbaserade energisystem kräver en rad tekniska och beteendemässiga förändringar i samhället och en förutsättning för en introduktion i större skala är att hela energikedjan kan hanteras på ett effektivt och säkert sätt. Helheten består dock av delar och i denna förstudie har vi försökt hitta enskilda delar där det föreligger ett industriellt utvecklingsintresse i närtid.

Framförallt har vi sökt efter tillämpningar eftersom vi anser att en marknad för framställning, lagring och distribution inte kommer att utvecklas förrän det finns kommersiellt tänkbara tillämpningar. Eftersökningen har dock givit ett ganska magert resultat.

Under slutfasen av förstudiearbetet har flera projektidéer beträffande tillämpningar kunnat konkretiseras. Kan finansieringen av dessa ordnas finns möjligheter att inom 3-4 år kunna demonstrera vätgasbaserade energisystem i Sverige.

Nedan redovisas de teknikområden som föreslås tas med i ett industriellt utvecklingsprogram.

7.2.1 Småskalig framställning av vätgas ur metangas

En metod för att utvinna vätgas ur naturgas i en mindre katalytisk reaktor som utnyttjar principerna för en värmeväxlare har föreslagits av Katator AB. Med denna teknik räknar man med att kunna minska storleken på utrustningen avsevärt vilket också ger lägre kostnader.

Tanken är att designa reaktorn som en plattvärmväxlare där värmeavgivning sker på ena sidan av plattorna och reformeringsreaktionen sker på andra sidan av dessa. Plattorna kan direkt beläggas med aktiv fas varigenom systemet blir snabbt (god termisk koppling). Vätgasen kan separeras från övriga gaskomponenter genom membranteknik, vilket ger en mycket kompakt konstruktion.

Ett fortsatt arbete har föreslagits omfatta:

1. Förstudie för att designa en lämplig reaktor och processen. Härigenom möjliggörs tekniska och ekonomiska beräkningar för olika driftfall och anläggningsstorlekar. Förstudien måste också innehålla inledande aktivitetsförsök för dimensionering av katalysatorn
2. Design/konstruktion av en pilot-reformer med kringssystem, några m³ vätgas per timme
3. Uppskalning av systemet till kommersiella storlekar samt utprovning av demoanläggning.

7.2.2 Vätgasdrivna fordon

Konkreta planer på tre utvecklingsprojekt avseende vätgasdrivna fordon på svensk mark har under våren 2000 arbetats. Dessa ligger helt i linje med den inriktning som förstudien preliminärt har föreslagit. Kan dessa projekt genomföras - finansieringen är för närvarande inte klar för något av dem - innebär det betydligt bättre förutsättningar för den svenska introduktionen av energisystem med vätgas som energibärare och för den svenska industriella utvecklingen inom området.

Projekten avser:

- En bränslecellsdriven hybridbuss i Malmö
- Tre bränslecellsdrivna bussar i Stockholm (del av DaimlerChryslers projekt avseende de första serietillverkade bränslecells-bussarna, se bild), EU-bidrag har sökts.
- En vätgasdriven rälsbuss (i första steget med förbränningsmotor) i Värmland. EU-bidrag har sökts.



I de båda första projekten finns behov av tankstation och leverans av vätgas. I det senare finns vätgas lokalt tillgängligt i en industri. Dessa projekt innebär troligen inte någon mer omfattande industriell utvecklingsinsats i Sverige, men innebär att tekniken kommer att demonstreras och utvärderas av svenska myndigheter, passagerare och entreprenörer.

7.2.3 Tankstationer för vätgas

Det troligen bästa sättet att åskådliggöra att och hur vätgas kan hanteras är att sätta upp en offentlig tankstation för vätgasdrivna fordon. I Europa har detta gjorts under 1999 på två ställen i Tyskland och också på världsutställningen i Hannover.

Tänkbara intressenter i ett sådant projekt är gasleverantörer, leverantörer av teknik för tankning av fordon samt myndigheter och organisationer engagerade i säkerhets- och standardiseringsarbete.

För de fordon som nämns i föregående avsnitt är det frågan om trycksatt vätgas. Möjligen kan det också finnas intresse från bl a BMW att kunna erbjuda tankning med flytande väte i Sverige. (Fotot visar en tankrobot). De stora avstånden och det höga miljömedvetandet i Sverige innebär bör innebära goda marknadsförutsättningar för en högpresterande bil med mycket låga emissioner. Om bilar med trycksatt vätgas i förbränningsmotorer kan erbjudas finns möjlighet att använda eventuella tankstationer till bussar även till dessa.



7.2.4 Hythane som bränsle för bussar

I Sverige finns ett stort antal bussar som drivs med metangas, både på västkusten med naturgas och på orter där biogas framställs. Flera nya anläggningar för framställning av biogas är under uppförande/planering. Denna biogas kan användas för uppvärmning, för drift av personbilar eller av tyngre fordon. Störst miljömässig effekt erhålles om biogasen används för tyngre fordon.

Om uppgifterna att hythane kan förbättra förbränningen stämmer skulle ett införande av Hythane i Sverige kunna ge en bättre miljö i tätorterna samtidigt som mängden tillgängligt bränsle på orter med biogas skulle öka. Dessutom skulle det ge en vana att hantera vätgas och öka efterfrågan på vätgas och stimulera utvecklingsinsatser inom detta område.

Tänkbara intressenter i detta projekt är en eller flera trafik huvudmän, bussentreprenörer, kommuner samt motortekniska verkstäder.

7.2.5 Teknikupphandling avseende stationära bränsleceller

Ett projekt har inletts syftande till att genomföra en teknikupphandling avseende mindre, stationära bränsleceller med Stockholms stad som huvudintressent och med statliga medel från det lokala investeringsprogrammet för ekologisk hållbarhet. Detta projekt kan beräknas få spridningseffekter till andra teknikområden, t ex framställning och lagring av väterika bränslen.

7.2.6 Teknikupphandling avseende vätgaslagring

Sverige har goda erfarenheter av teknikupphandling, både nationellt och i internationell samverkan. När det gäller övergång till vätgasbaserade energisystem pekar de flesta på att en bättre teknik för lagring behöver tas fram - framförallt för mobila tillämpningar. Därför föreslås att Sverige tar initiativ till en internationell teknikupphandling för lagring av vätgas.

Upphandlingen skulle ange ett mål på lagringstäthet som t ex med 30 % överstiger det som idag uppnås med flytande väte. I tiden kan projektet följa den plan som finns i PMn från DoE (se 3.3) och innehållsligt bör ett samarbete etableras med de studier om integrerade system som görs inom IEA, se avsnitt 3.1.1.

Till att delta som kunder i teknikupphandlingen skulle inbjudas tillverkare av alltifrån bussar till mobiltelefoner.

7.2.7 Förslag till fördjupade studier

Utöver ovanstående utvecklingsprojekt finns anledning att närmare utreda vätgasens möjligheter och förutsättningarna i följande avseenden:

- Vätgas som reduktionsgas
- Kostnadseffektiva metoder för separering av vätgas ur blandgas (t ex stadsgas)
- Utvärdering av svetsteknik; kostnader och miljöeffekter
- Sensorer för vätgas; en marknadsundersökning

7.3 Förslag till organisation för utvecklingsarbetet

Utvecklingen mot att använda vätgas som energibärare omfattar en rad tekniska områden och tillämpningar. Det är därför angeläget att ett nära informationsutbyte etableras inom hela utvecklingsområdet. Dess omfattning kan illustreras med nedanstående matris, där valet av teknik i de olika fälten inte har fyllts i eftersom det i nästan samtliga fall finns flera tänkbara alternativ.

Tekniksteg med väte som energibärare i olika tillämpningar

	Tunga fordon	Personbilar	Stationära tillämpningar	Portabel utrustning
Bränsle				
Distribution				
Lagring				
Bränslekonvertering				
Energiomvandling				
EI- och drivteknik				

Med bränslekonvertering avses t ex reformering av metanol.

Med energiomvandling avses typ av bränslecell alternativt förbränningsmotor

Med el- och drivteknik menas strömmvandlare, hybridteknik etc

För ett genomförande av ett vätebaserat energisystem krävs enligt matrisens uppställning en vertikal integration - det räcker inte att t ex utveckla bränslecellsfordon. Dessutom bör möjligheterna till en horisontell integration prövas - att t ex använda samma bränsle för flera tillämpningar.

Teknikskiftet påverkar inte bara energiindustrin utan kommer också att leda till en rad nya produkter både för hanteringen av energibäraren, för nyttiggörandet av den elektriska energin och för kringutrustning. Det är därför väsentligt att kunskap om vätgasteknikens innehåll och möjligheter sprids i breda industriella kretsar. Några seminarier för industriella företrädare föreslås därför arrangeras där hela teknikområdet presenteras. Speciellt intressanta målgrupper är underleverantörer inom bilindustrin, materialteknik och den elektriska industrin.

Mot bakgrund av den stora betydelse som utvecklingen av vätgasbaserade energisystem har för den globala miljön bör utvecklingsarbetet ges en samhällelig inriktning. Miljömässigt uppnås den största effekten om de nya energisystemen baseras på vätgas som energibärare och energin utvinns ur förnybara källor. Möjligheterna att bygga upp lokala energisystem, eller system som till stor del baseras på lokala energikällor, ökar dessutom om de kan använda vätgas som energibärare. Det finns därför starka skäl för ett samhällsengagemang i utvecklingsarbetet, vilket också framförs som ett skäl för förslaget om IEAs fortsatta engagemang inom området.^B Det bör vidare eftersträvas att denna samhälleliga inriktning blir gemensam för i vart fall den Europeiska Unionen.

^B One view is that industry will now take care of further fuel cell development, and that Government involvement is no longer required. However, I believe that there is a Government role in ensuring that fuel cell technology is as environmentally friendly as it can possibly be. For example, there are proposals to use either gasoline or methanol as fuel for the reformer, or to use pure hydrogen. The greenhouse gas and other emissions from these 3 technologies are very different, and governments may be interested in encouraging the most environmentally friendly and energy efficient approach.

(Urs Muntwyler, ordförande i IEA I/A; Hybrid and Electric Vehicles i en kommentar till förslaget till ett nytt Annex om Fuel Cell Vehicles.)

De konkreta industriella utvecklingsprojekten föreslås samlas i olika program, antingen horisontellt eller vertikalt orienterad, enligt ovan redovisade matris. Dessa program kan senare eventuellt omvandlas till Industriella Utvecklingscentra (IUC).

För att säkerställa en god överblick över hela teknikområdet föreslås att ett nationellt utvecklingsråd för ett vätebaserade energisystem bildas, bestående av företrädare för svenska myndigheter, forskningsinstitutioner och industrin samt konsumentföreträdare. Rådet föreslås få i uppgift att säkerställa en god tillgång på kunskap om den internationella utvecklingen inom området, stimulera till ett ömsesidigt erfarenhetsutbyte samt tillse att erforderliga föreskrifter och standarder utarbetas liksom att information om energibärandens egenskaper i god tid når konsumenterna.

Ett sätt som rådet kan arbeta är att ordna industriellt inriktade seminarier där den senaste internationella utvecklingen inom området presenteras. Rådet föreslås inte själv fördela stöd till utvecklingsprojekt, men bör nära samarbeta med de offentliga finansiella aktörerna inom området, statliga myndigheter och forskningsfinansierande stiftelser.

Rådet ges rätt och skyldighet att lägga förslag till infrastrukturella studier och investeringar för att säkerställa goda möjligheter för Sverige att ta tillvara den nya tekniken. Rådet bör också hålla nära kontakt med och understödja EU-kommissionens intentioner om European Fuel Cell Forum och verka för att detta vidgas till att innefatta kompletta energisystem.

Bilaga 1

Mål för Annex 13:

Inom IEA Implementing Agreement on the Production and Utilization of Hydrogen

Design and Optimization of Integrated Systems

Källa: <http://www.eren.doe.gov/hydrogen/tasks/task13.html>

The objective of the IEA Hydrogen Agreement's Annex 13, "Design and Optimization of Integrated Systems", is to provide a means to increase energy independence, improve domestic economies, and reduce greenhouse gas and other harmful emissions from stationary and mobile sources. This will provide a basis for comparison of systems with respect to efficiency, environmental impact, capital and operating costs, and other measures of importance.

International teams have been established by the IEA to develop strategies for three integrated systems. Based on these strategies, model development activities will be scheduled so that critical component and cost models are given priority. The three integrated system teams are:

- 1. Remote Power Systems:** These systems are targeted for remote villages and communities. Sizes range from 50 kW to 20 MW. The systems of interest are: wind/diesel; wind/hydrogen/fuel cell; wind/battery/hydrogen/fuel cell; PV/battery/hydrogen/fuel cell; and diesel. The U.S. is the Team Leader, with Canada, Norway, and Spain as team members.
- 2. Home/Residential Systems:** These systems are targeted at homes and communities, and critical power systems such as banks, hospitals, financial systems, and sensitive equipment. Sizes range from 1 kW to 5 MW. The systems of interest are electrolyzer/fuel cell and natural gas reformer/fuel cell for power, fuel, and heat. The electricity required by the electrolyzer will be provided by renewable systems or from the grid (local generation mix). The Netherlands is the Team Leader, with the U.S., Norway, Spain, Japan, Canada, and Lithuania as team members.
- 3. Transportation Applications:** These systems are targeted at providing hydrogen to a fuel cell vehicle, whether generated on-board from other liquid fuels, or stored on-board as hydrogen. The systems of interest are off-board natural gas reforming at the refueling station, off-board electrolysis, on-board reforming of gasoline or methanol, battery/gasoline ICE hybrids, and gasoline/ICE. The Team Leader is the U.S., with Canada, Netherlands, and Spain as team members.

Bilaga 2

Utvecklingsprojekt inom EUs femte ramprogram

Nedan förtecknas de projekt avseende bränsleceller som har fått bidrag efter den första ansökningsomgången inom EUs femte ramprogram. Koordinerande organisation anges, liksom, inom parenteser, svensk medverkan.

Källa: European Fuel Cell Projects 1995-2000, European Commission, EUR 19368

1. FUERO - Fuel Cell Systems and Components General Research for Vehicle Applications
Institut für Kraftfahrwesen (IKA), (Volvo)
2. On-Board Gasoline Processor for Fuel Cell Vehicle Application
Johnson Matthey, (Volvo)
3. Fuel Cell Bus for Berlin, Copenhagen, Lisbon
Berlin Senate
4. A ~20 kWe Multi-Functional Solid Oxid Fuel Cell Stack (MF-SOFC)
Rolls-Royce
5. Decentralized Power Generation Plants based on Planar SOFC Technology, Proof of Concept
Alstom
6. Demonstration of a Mwe Class Power System Using High Temperature Fuel Cells (SOFC) Combined With Micro-Turbine Generators
Electricité de France
7. Holistic Integration of MCFC technology towards a most EFFECTIVE systems compound using biogas as a renewable source of energy.
Profactor Produktionsforschungs GmbH
8. "Series 500" MCFC clean power and heat cogeneration compact plant - "First-of-a-kind"
Ansaldo Recherche
9. PEMFC innovative remote energy system for telecom
Alcatel

Bilaga 3

Sid 1(2)

Standardiseringsarbete

Oktober 2000

ISO /TC 197 Hydrogen technologies**Bakgrund**

På internationell nivå pågår sedan flera år arbete inom ISO (International Organisation for Standardisation) som syftar till att utveckla standarder för väteteknik. Den internationella kommittén ISO/TC 197 Hydrogen Technologies har till uppgift att utveckla enhetliga internationella standarder för system för produktion, lagring, transport och användning av vätgas. I detta täcks produktkvalitet, hantering, komponenter, infrastruktur samt säkerhet för väte in. Hittills har två standarder fastställts och ett tiotal är under utarbetande.

Från svensk sida ansvarar SMS, Svensk Material- & Mekanstandard, för arbetet. Under året har aktiviteterna i den svenska kommittén SMS 9302 Väteteknik, som är en spegelkommitté till ISO/TC 197, ökat i stor utsträckning. I den svenska kommittén deltar ett antal experter från olika företag och myndigheter. Genom att delta i arbetet finns möjlighet att påverka både det internationella samt det svenska standardiseringsarbetet för väteteknik.

Fastställda standarder

ISO 13984:1999 Liquid hydrogen - Land vehicle fuelling system interface
ISO 14687:1999 Hydrogen fuel - Product specification.

ISO 13984 beskriver krav vad gäller egenskaperna hos och utformningen av påfyllnings- och fördelningssystem för flytande väte i vägfordon, i syfte att reducera risken för brand och explosion vid själva påfyllningen.

ISO 14687 specificerar kvalitetskraven på väte som används som bränsle. Syftet är att därigenom säkerställa enhetlighet på de väteprodukter som framställs för att användas som bränsle i fordon eller i andra applikationer.

Dokument under utveckling

ISO/DIS 13985 Liquid hydrogen - Land vehicle fuel tanks.
ISO/WD 13986 Tank containers for multimodal transportation of liquid hydrogen.
ISO/DPAS 15594 Airport hydrogen fuelling facility.
ISO/WD 15866 Gaseous hydrogen blends and hydrogen fuel - Service stations.
ISO/CD 15869 Gaseous hydrogen and hydrogen blends - Land vehicle fuel tanks.
ISO/WD 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems.
ISO/WD 17268 Gaseous hydrogen - Land vehicle fuelling connectors.

Bilaga 3

Sid 2 (2)

ISO/DIS 13985 specificerar kraven på påfyllningsbara tankar för flytande väte som används som bränsle i fordon avsedda för vägtransport. Vidare fastställer dokumentet kraven på de testmetoder som skall utföras för att säkra skydd mot förluster i egenskaper vid brand och explosion. Standarden är avsedd att användas tillsammans med ISO 13984:1999.

ISO/WD 13986 specificerar egenskaperna hos portabla tankcontainrar avsedda att transportera flytande väte på väg, järnväg, till sjöss samt vid mellanlagring. Även testmetoder för att underlätta internationell handel samt för att fastställa att en tillräcklig hög säkerhet garanteras för allmänheten samt för de som handhar tankarna beskrivs.

ISO/DPAS 15594 beskriver de huvudsakliga tekniska kraven, möjligheterna samt begränsningarna för ett framtida användande av väte som bränsle i flygplan. Beskrivningen görs både med avseende på själva flygplanet samt infrastruktur och logistik på flygplatsen.

ISO/WD 15866 beskriver egenskaperna hos påfyllningsstationer som tillhandahåller gasformigt väte samt väteblandningar som används som bränsle i vägfordon. Dokumentet är tillämpligt på design, konstruktion, installation samt drift av stationerna.

ISO/CD 15869 specificerar minimikraven på påfyllningsbara gastankar i vägfordon avsedda för lagring av vätgas och vätgasblandningar för användning som bränsle i fordonet. Standarden omfattar alla tankar av stål, aluminium samt icke-metalliska material förutom tankar i rostfritt stål samt sammansvetsade tankar.

ISO/WD 15916 definierar de egenskaper hos väte som är relevanta ur säkerhetssynpunkt. Dessutom beskriver dokumentet vad som bör beaktas vid användning av väte i såväl gas- som flytande form samt i kemiska föreningar. 15916 är det första dokumentet som hanterar säkerhetsaspekter för väte.

ISO/WD 17268 behandlar bränslekopplingar och behållare för vätgas som ska användas som bränsle. Syftet med standarden är att man mot den ska kunna testa och certifiera nyproducerade bränslekopplingar och behållare för vätgasbränsle. 17268 är avsedd att användas tillsammans med 15866 och 15869.

Inom ISO/TC 197 finns utrymme för att aktivt delta i de olika arbetsgrupperna som utvecklar ovanstående standarder, liksom det finns stora möjligheter att starta nya arbetsgrupper inom väteteknikområdet.

Bilaga 4

Referenser:

- ¹ Göran Carleson: Assessment of Potential Future Markets for the Production of Hydrogen from Water. IEA/Studsvik (1980)
- ² Ola Gröndalen, Väte - Framtidens energibärare. Elforsk rapport 98:19
- ³ Den 24 februari 2000 vid Biosphere 2, enligt referat i Arizona Daily Star
- ⁴ Källa: Tokio Ota: Hydrogen Energy
- ⁵ Joreg Fabri m fl: TES -An Initiative for Tomorrow's Fuel (presenterat vid HYFORUM 2000)
- ⁶ http://www.eren.doe.gov/hydrogen/blue_print_form.html
- ⁷ Fuel Cells Powering the Future -- Sustainable Power for the European Union, EUR 19367
- ⁸ <http://www.ena.or.jp/WE-NET/>
- ⁹ Kanehira Maruo, Strategic Alliances for the Development of Fuel Cell Vehicles
- ¹⁰ Bo Wallander: Vätgas i industrin. Efn/LET 1984:25
- ¹¹ Per Carlsson, Torbjörn Friede: Produktion och användning av vätgas i Sverige 1996. Sydkraft Konsult (1997)
- ¹² Brint som energibärare, Dansk Gasteknisk Center, 1999
- ¹³ Burkhard Goeschel, BMWs forskningschef, 2000-05-11
- ¹⁴ City and County of Denver, Technical Comparison Between Hythane, CNG and Gasoline Fueled Vehicles, Project Report
- ¹⁵ Referat i Excite News från en bränslecells-konferens i London, februari 2000.
- ¹⁶ DaimlerChrysler pressmeddelande 2000-06-20
- ¹⁷ Reinhard Klimmt i Kölnische Rundschau den 3 maj, refererat av HyWeb Gazette



SE-205 09 MALMÖ TEL 040-24 43 10 FAX 040-24 43 14
Hemsida www.sgc.se epost info@sgc.se
