



**Vestlandsforskning**

Boks 163, 6851 Sogndal

Tlf. 57 67 61 50

Internett: [www.vestforsk.no](http://www.vestforsk.no)

**VF-notat 11/06**

# **Ikke-teknologiske barrierer for hydrogen som energibærere i transport.**

**Hva kan vi lære av CUTE, ECTOS og  
HySociety?**

**Av**

**Otto Andersen**

# VF notat

<b>Notat tittel:</b> Hydrogen som energibærer i transport. Hva kan vi lære av CUTE, ECTOS og HySociety?	<b>Notat nr:</b> 11/06
	<b>Dato:</b> 2006
	<b>Gradering:</b> Åpen
<b>Prosjekttittel:</b> Providing hydrogen for transport in Norway: A social learning approach HyNor – Hydrogenveien i Norge	<b>Tal sider:</b> 37
<b>Forskarar:</b> Otto Andersen	<b>Prosjektansvarleg:</b> Erling Holden
<b>Oppdragsgjevar:</b> Norges Forskningsråd HyNor	<b>Emneord:</b> hydrogen, transport, barrierer
<b>Samandrag:</b> Notatet gir en sammenfatning av hva vi kan lære om implementering av hydrogenenergi i transport, med utgangspunkt i de tre EU-prosjektene CUTE, ECTOS og HySociety	
<b>Andre publikasjoner frå prosjektet:</b> Andersen, O. (2003): <i>Bruk av hydrogen i transport. Teknologiske barrierer ved brenselceller</i> . Vf-rapport 1/2003. Vestlandsforskning, Sogndal. Andersen, O. (2004): <i>Økonomiske faktorer og forhold ved anvendelse av hydrogen i transport</i> . Vf-notat 10/2004. Vestlandsforskning, Sogndal. Andersen, O. (2005): <i>Ikke-teknologiske barrierer for hydrogen som energibærer i transport</i> . Vf-notat 3/2005. Vestlandsforskning, Sogndal.	
<b>ISBN nr:</b> <b>ISSN:</b> 0804-8835	<b>Pris :</b> Kr 100,-

# Forord

Dette er en kunnskapsrapport om ikke-teknologiske barrierer for hydrogen som energibærer i transport. Arbeidet er en oppsummering av kunnskap knyttet til de tre EU-prosjektene Clean Urban Transport for Europe (CUTE), Ecological City Transport System (ECTOS) og HySociety.

Otto Andersen har stått for gjennomføringen av arbeidet og utarbeidelsen av notatet.

Erling Holden har vært faglig hovedansvarlig for arbeidet.

Vestlandsforskning  
Sogndal, juni 2006  
Erling Holden

# Innhold

1.	Hva gjøres i dette notatet? .....	5
2.	Innledende om barrierer for hydrogen i transport .....	5
3.	CUTE - prosjektet .....	5
3.1.	Innledning.....	5
3.2.	Infrastruktur.....	6
3.3.	Topografi og klima.....	7
3.4.	Bussene.....	7
3.5.	CUTE-prosjektets delaktiviteter (work packages).....	7
3.6.	Aktøroversikt CUTE-prosjektet .....	9
4.	ECTOS- prosjektet .....	13
4.1.	Kort oversikt over prosjektet.....	13
4.2.	Den politiske bakgrunnen for ECTOS .....	13
4.2.1.	De historiske steg .....	14
4.2.2.	Barrierer .....	15
4.3.	Den teknologiske historien til ECTOS.....	16
4.3.1.	Hvordan startet det hele?.....	16
4.3.2.	Problemer som oppsto i de tidlige fasene av ECTOS-prosjektet.....	17
4.3.3.	Teknologiutvikling i dag .....	18
4.3.4.	Framtidige teknologiske steg .....	19
4.3.5.	Andre teknologiske aktører .....	19
4.4.	Den kommersielle historien om ECTOS.....	20
4.4.1.	Icelandic New Energy .....	20
4.4.2.	Skeljungur Ltd.....	21
4.4.3.	Strætó bs (Greater Reykjavik Transport) .....	21
4.4.4.	Andre kommersielle aktører.....	22
4.5.	Liste over aktører ECTOS-prosjektet.....	22
5.	Tverrgående problemstillinger i CUTE og ECTOS .....	23
5.1.	Ressurstilknyttede miljøkonsekvenser .....	23
5.2.	Manglende publikumsaksept.....	24
5.3.	Sosioøkonomiske miljøstudier .....	25
5.4.	Høye kostnader.....	25
6.	HySociety .....	28
6.1.	Innledning.....	28
6.2.	Koder, standarder og reguleringer.....	29
6.3.	Usikkerhet om miljøfordelene.....	29
6.4.	Holdninger til hydrogen og brenselceller.....	29
6.5.	Aktøroversikt HySociety.....	30
7.	Videre arbeid .....	31
8.	Referanser.....	32
9.	Kontaktpersoner og personlige meddelelser .....	33
	Vedlegg 1 .....	34

## 1. Hva gjøres i dette notatet?

Notatet presenterer resultatene fra en analyse av kunnskap om implementering av hydrogen knyttet til de tre EU-prosjektene Clean Urban Transport for Europe (CUTE), Ecological City Transport System (ECTOS) og HySociety. Det gis i tillegg en oversikt over hvilke aktører som er involvert de tre prosjektene. Kontaktinformasjon for de enkelte aktørene er inkludert for å gjøre det lettere å følge videre opp de ulike aspektene ved prosjektene.

Datamaterialet er i hovedsak innhentet ved litteraturgjennomgang og Internet-søk, supplert med telefonsamtaler med ulike informanter. Deler av materialet om ECTOS er basert på forfatterens intervjuer med sentrale aktører på Island.

## 2. Innledende om barrierer for hydrogen i transport

”International Partnership for the Hydrogen Economy” (IPHE) ble etablert i 2003. 15 land og Europakommisjonen deltar i dette partnerskapet. IPHE fokuserer på fellesinteresser og hindringer knyttet til en hydrogenøkonomi, innen områdene forskning, utvikling og demonstrasjonsprosjekter, hydrogen politikk og reguleringer, og kommersialisering av hydrogenbaserte energiteknologier.

IPHE sin komité for implementering og kontaktbygging har utarbeidet et såkalt ”scoping paper” for å sikre bedre betingelser for forskningsprogrammer, identifisere prioriteter og potensielle barrierer som må overkommes for utviklingen av hydrogenteknologier. En viktig del av dette dokumentet omfatter ikke-teknologiske barrierer knyttet til hydrogenimplementering (Moisan, 2004). I dokumentet blir det fremhevet at samfunnsmessige aspekter må inkluderes på et tidlig stadium i forskning og utvikling knyttet til en overgang til hydrogenøkonomi. Især understrekes to tema:

- Analyse av interessenters handlinger (”stakeholder behaviour”) og strategi mot hydrogenenergi-teknologier for å forstå og handle i forhold til potensielle ”allierte” og ”opponenter”
- Analyse av betingelser for aksept hovedsakelig gjennom faktiske utprøvinger. På denne måte bør sosiologisk analyse ledsage alle demonstrasjonsprosjekter og rapporteres.

Dette bidrar til at det er viktig å få mer kunnskap om barrierene tilknyttet hydrogenimplementering. Vårt arbeid inngår således i en større etablering av et rammeverk for studier av slike ikke-teknologiske barrierer. Vi har tidligere sammenstillet de viktigste ikke-teknologiske barrierene generelt knyttet til hydrogenimplementering (Andersen, 2005). Nå vil vi ta for oss spesielt de tre EU-prosjektene CUTE, ECTOS og HySociety.

## 3. CUTE - prosjektet

### 3.1. Innledning

Prosjektet Clean Urban Transport for Europe (CUTE) har vært et omfattende prosjekt med formål å fremme brenselcelleteknologi og hydrogendrift i busser, og derved bidra til realisering av kollektivtransportsystem, inkludert infrastruktur, basert på hydrogen. Da prosjektet startet opp 24.11.2001 ble det lagt opp til å få erfaring med mer enn 250.000 driftstimer for brenselcelledrift i 27 busser i 9 byer i en driftsperiode på to år.

DaimlerChrysler sendte i 18. oktober 2005 ut en pressemelding om at brenselcellebussene siden de begynte å kjøre i 2003 totalt hadde hatt 70.000 driftstimer (DaimlerChrysler, 2005). I tillegg og med at prosjektet skal avsluttes 23.06.2006, vil man være langt fra å oppnå målet om 250.000.

Totalkostnader er 52 mill EURO, hvor EU bidrar med 18 mill EURO. Prosjektet omfatter 28 prosjektpartnere, hvorav to er norske (Norsk Hydro og Statkraft).

### 3.2. *Infrastruktur*

CUTE-prosjektet ble planlagt med tanke på at en rekke ulike systemer for hydrogeninfrastruktur skulle prøves ut. Dette var en av grunnene til at det ble valgt mange forskjellige typer produksjon og distribusjon av hydrogen. I *Tabell 1* vises en planlagt oversikt over dette.

**Tabell 1 Forsøksbyer, planlagt energikilde og hydrogen infrastruktur**

By	Energikilde	Hydrogen infrastruktur
Amsterdam	Grønn el.	Elektrolyse
Barcelona	Solenergi + el. fra nettet	Elektrolyse
Hamburg	El. fra nettet + grønn el.	Elektrolyse
Stockholm	Vannkraft	Elektrolyse
Porto	Naturgass	Dampreforming
Stuttgart	Naturgass	Dampreforming
London	Råolje	Tilkjørt LH <sub>2</sub> fra raffineri
Madrid	Råolje + naturgass	Tilkjørt hydrogen fra raffineri + dampreforming
Luxembourg	Uavklart	Tilkjørt hydrogen

Som det framgår av *Tabell 1* var planen at både fornybare og fossile energikilder skulle bli benyttet til hydrogenproduksjonen i forsøks-byene.

Utplassert elektrolysesystem skulle benyttes i Barcelona, Hamburg, Amsterdam og Stockholm. I Barcelona ville elektrisiteten dels komme fra solcellepaneler i tillegg til fra hovednettet. En del av solcellepanelene skulle bli installert på verkstedslokale/ fyllstasjonen, slik at en (delvis) fornybar prosess for hydrogenproduksjon kunne bli demonstrert. Større problemer knyttet til grafittematerialet i elektrolysesystemene har også forsinket prosjektet i form av perioder med stans i hydrogenproduksjonen.

I Hamburg er fyllstasjonen og hydrogenproduksjonen lokalisert i Hamburg Hochbahns bus depot i Hamburg Hummelsbüttel. Elektrisiteten til vannelektrolysen kommer fra hovednettet og blir supplert med sertifisert grønn elektrisitet (hovedsakelig vindkraft). Elektrolysen produserer hydrogen som komprimeres og lagres under 450 bar trykk.

Forsøkene i Amsterdam er basert på hydrogenproduksjonen fra utplassert elektrolysesystem hvor grønn elektrisitet, basert på kjøp av grønne sertifikater, er hoved-energi-kilde.

Stockholm har basert sin hydrogenproduksjon på et utplassert elektrolysesystem drevet av miljømerket elektrisitet (vannkraft). Elektrolyseenheten er plassert i tilknytning til bussgarasjene som benyttes. Det ble opprinnelig planlagt å bruke metan fra biomasse for hydrogenproduksjon, men det ble vurdert å være for store kostnader knyttet til denne løsningen, slik at miljømerket elektrisitet fra vannkraft ble valgt istedenfor.

Dampreforming av på stedet ("on-site") ble planlagt i Stuttgart og Porto. I Stuttgart ble dette gjennomført, men i Porto ble det imidlertid endring i planene og det ble isteden valgt å tilkjøre hydrogengass med tankbil fra sentralisert produksjonsanlegg.

Tilkjøring av hydrogengass med tankbil fra sentralt produksjonsanlegg ble valgt i Madrid, supplert med on-site dampreforming av naturgass. Fyllestasjonen for hydrogen i Madrid var den første i CUTE-prosjektet som ble tatt i drift, i mai 2003.

Tilkjørt hydrogen produsert ved raffinering av olje/gass er primærløsning for forsøkene i London. Hydrogen blir lagret i flytende form og overført til gassform ved fyllestasjonen i Hornchurch som åpnet først i mai 2005 (BP, 2005). Problemene var store, med manglende publikumsaksept for den opprinnelige lokaliseringen av fyllestasjonen, som førte til alvorlige forsinkelser. Disse problemene for forsøkene i London er beskrevet mer utfyllende i avsnitt 5.2.

Til forsøkene i Luxembourg ble det opprinnelig foreslått å benytte metanol som utgangsmateriale for hydrogenproduksjonen, men det ble vurdert å være for dyrt med en slik løsning. Tilkjøring av hydrogass fra sentralisert elektrolyseanlegg ble derfor valgt.

### **3.3. Topografi og klima**

Å få prøvd ut bussene under ulike ytre forhold som topografi og klima var en av grunnene til utvelgelsen av forsøksbyene. Rutene i Luxembourg, Stuttgart og Porto setter svært store krav til bussene p.g.a. krevende topografi, med mange bratte bakker, mens i Hamburg skje testingen på svært flate ruter. Kjøringen i Porto, Madrid og Barcelona er en test på brenselcellebussenes egenskaper i varmt klima, mens Stockholm gir erfaringer med kjøring i kaldt klima.

### **3.4. Bussene**

Den første prototypen av Mercedes-Benz Citaro brenselcellebussene ble prøvekjørt i Vancouver 14. november, 2001. Ytterligere prøvekjøring av bussene som brukes i prosjektene CUTE, ECTOS og STEP<sup>1</sup> ble gjennomført i Mannheim, hvor bussene produseres. Den første Citaro-bussen til demonstrasjonsforsøkene ble levert i forbindelse med 55th UITP World Congress i Madrid 4-9. mai, 2003.

Brenselcellene i bussene er utviklet og produsert av DaimlerChrysler's datterselskap Xcellsis. Et av de mest markerte problemene med bussene har vært den lave totaleffektiviteten for bussenes energiutnyttelse. Sammenliknet med en diesalbuss som har en effektivitet på ca 6 kWh/km gir hydrogenbussene bare 4 kWh/km (Vattenfall, 2005). I tillegg har omformerer i noen av bussene sviktet, samt at det har vært rapportert om alvorlige lekkasjer fra brenselcellen (Ibid.).

### **3.5. CUTE-prosjektets delaktiviteter (work packages)**

Aktivitetene i CUTE -prosjektet er fordelt på en rekke arbeidspakker med ulike tema. De er:  
WP1: Elektrolysebasert H<sub>2</sub> produksjon

---

<sup>1</sup> Sustainable Transport Energy (STEP) er et hydrogenbussprosjekt i Perth, Australia

- WP2: Fossilt brensel –basert H<sub>2</sub> produksjon
- WP3: Fyllestasjoner og garasjer
- WP4: NEFLEET<sup>2</sup> -drift under ulike klimatiske forhold
- WP5: NEFLEET -drift under ulike topografiske forhold
- WP6: NEFLEET -drift under ulike trafikkforhold
- WP7: Kvalitet og Sikkerhet
- WP8: Opplæring
- WP9: Miljømessige, tekniske og økonomiske undersøkelser (surveys)

Nors Hydro er ansvarlig for delgruppen som arbeider med WP7- Kvalitet og Sikkerhet. I tillegg sitter det 17 andre CUTE-partnere i denne delgruppen. Arbeidet består i kartlegging av metoder og erfaringer om bussdesign, bussdrift, prosjektering og bygging av tankingsanlegg, samt driften av tankingsanlegg (Hansen, 2002). Arbeidet med kvalitet og sikkerhet har bestått i å følge opp erfaringene i CUTE-byenes planlegging og forsøksdrift, for å kunne lage bedre løsninger for neste generasjon hydrogenbuss og hydrogenforsyning. En annen målsetning har vært å bidra til harmonisering av lover og regler innen sertifisering og bruk av hydrogen i transportsektoren. Før de første bussene ble satt i drift ble det utarbeidet en metodikk for hvordan arbeidet med kvalitet og sikkerhet kan ivaretas i planlegging, bygging og drift av infrastruktur. Etter planen skulle det ferdigstilles en rapport fra dette arbeidet i mai 2003 (Hansen, pers meddel.).

Michael Faltenbacher (faltenbacher@ikp2.uni-stuttgart.de) ved Dept. of Life Cycle Engineering, University of Stuttgart har vært leder for WP9 ”Miljømessige, tekniske og økonomiske undersøkelser”. Data fra busskjøringen (”bruksfasen” - Fase 2) av prosjektet ble innsamlet via 2 tilnærminger:

a) Bruk av et sentralt data spørreskjema i samarbeid med 3 transportselskaper. Spørreskjemaet blir brukt til å samle inn operasjonelle data for hver by, med innarbeiding av de ulike driftsforholdene (”boundary conditions”).

b) Datainnsamling under spesielle testkjøringer hvor en brenselcellebuss og en diesel/ CNG buss kjøres side ved side ("nose to tail") under sammenlignbare forhold for å få mest mulig pålitelige data.

#### *Godkjenning av hydrogenbuss*

I CUTE-prosjektet sikret bussprodusenten (DaimlerChrysler) seg at de fikk tillatelse til å operere busser som drives med hydrogen. I Frankrike har det imidlertid vært vesentligere større barrierer i tilknytning til å oppnå slik godkjenning for å kjøre med hydrogendrevne kjøretøy (Hansen, pers meddel.).

DaimlerChrysler har oppgitt at bussene i CUTE-prosjektet er godkjent med basis i German ABE (Allgemeine Betriebserlaubnis), som tilsvarer det som i Norge betegnes som generell typegodkjenning (Beck, pers meddel.). I designfasen av bussene samarbeidet utviklingsteamet ved DaimlerChrysler med German TUV (som har liknende funksjon som Det Norske Veritas). ABE – godkjenningen ble lagt til grunn for myndighetenes godkjenning av teknisk identiske busser i alle CUTE-byene. Det er ifølge DaimlerChrysler ikke blitt rapportert om vesentlige problemer knyttet til å oppnå slik godkjenning (ibid.).

---

<sup>2</sup> “New Electric Vehicle fleet”, samlebetegnelse for Mercedes-Benz Citaro brenselcellebussene som brukes i CUTE , ECTOS , STEP (Perth, Australia) og Beijing .



### 3.6. Aktøroversikt CUTE-prosjektet<sup>3</sup>

- **Koordinator**

Hovedansvarlig for CUTE-prosjektet er det tyske busselskapet **EvoBus\*** ([www.evobus.com](http://www.evobus.com)), som ble startet i 1995 som følge av sammenslåingen av bussdelen av Mercedes-Benz og bussprodusenten Setra. Kontaktperson er: Bengt Hamsten, Hanns-Martin-Schleyer-Str. 21-57 - HPC B22, 68301 Mannheim, Tel: +49-731-1812828, Faks: +49-731-1812914, [bengt.hamsten@evobus.com](mailto:bengt.hamsten@evobus.com)

- **Amsterdam**

Forsøkene i Amsterdam er ledet av kollektivtransportselskapet **Gemeentevervoerbedrijf Amsterdam\* (GVB)** ([www.gvb.nl](http://www.gvb.nl)) som transporterer ca 1 mill passasjerer daglig i Amsterdam og omkringliggende byer. Kontaktperson i GVB er: Andre Testa, Prins Hendrikkade 108/114 – 2131, 1000 CC Amsterdam, Tel: +31-20-4606223, Faks: +31-20-4605957, [kriekm@gvb.nl](mailto:kriekm@gvb.nl)

**Milieudienst Amsterdam\*** (Environmental & Building Department of the City of Amsterdam) ([www.milieudienst.amsterdam.nl](http://www.milieudienst.amsterdam.nl)) bidrar med rådgiving om lov- og regelverk på miljøområdet. Kontaktperson er: Jan Cleij, Weesperplein 4 – 922, 1000 AX Amsterdam, Tel: +31-20-5513822, Faks: +31-20-624636, [gasmit@mda.amsterdam.nl](mailto:gasmit@mda.amsterdam.nl)

**Shell Hydrogen\* B.V.** ([www2.shell.com](http://www2.shell.com)), som er en underavdeling av Royal Dutch/Shell, er med for å utvikle energiløsninger basert på hydrogen og brenselceller. Kontaktperson i Shell Hydrogen er: Henricus Michels, Badhuisweg, 3, PO Box 162, 1030 BN Amsterdam.

**Nuon** ([www.nuon.com](http://www.nuon.com)) er en strømleverandør for 2.7 mill. personer, og leverer elektrisitet basert på fornybare energikilder til hydrogenproduksjonen i CUTE-prosjektet.

**Hoek Loos** ([www.hoekloos.nl](http://www.hoekloos.nl)) er leverandør og distributør av hydrogengass. Selskapet er en del av det globale selskapet **Linde Group** ([www.linde.com](http://www.linde.com)). Linde var med i byggingen av hydrogenproduksjonsanlegget og fyllestasjonen på GVB's bussdepot.

- **Barcelona**

Bussene i Barcelona kjøres av kollektivtransportselskapet **Transports Metropolitans de Barcelona S.A.\* (TMB)** ([www.tmb.net](http://www.tmb.net)), som har 500 mill. reisende per år, hvorav 40 % er med buss. TMB dekker et område med 4,3 mill. innbyggere. Kontaktperson i TMB er: Emilio Lopez Bailon, c/60 No 21-23 Sectora Pol. In. Zona Franca, 08040 Barcelona, Tel: +34-93-2987000, Faks: +34-93-2987222, [elopezbailon@tmb.net](mailto:elopezbailon@tmb.net)

**British Petroleum\* (BP)** ([www.bp.com](http://www.bp.com)) er ansvarlig for leveransene av hydrogen samt for fyllestasjonen.

- **Hamburg**

Forsøkskjøringen i Hamburg foregår i regi av kollektivtransportselskapet **Hamburger Hochbahn Aktiengesellschaft\* (HHA)** ([www.hochbahn.com](http://www.hochbahn.com)). HHA har 360 millioner reisende per år med metro og bus. Kontaktperson i HHA er: Günter Elste, Steinstrasse 20,

---

<sup>3</sup> Aktører merket med en asterisk (\*) er fullverdige partnere i prosjekt-konsortiet.

22083 Hamburg, Tel: +49-403-2884661, Faks: +49-403-2884662, [k.hoeffler@hamburg-consult.de](mailto:k.hoeffler@hamburg-consult.de), [smeyn@hochbahn.co](mailto:smeyn@hochbahn.co)

**Hamburgische Elektrizitätswerke AG\* (HEW)** (<http://www.hew.de>), som er en del av Tysklands tredje største energi-selskap "Vattenfall Europe" og leverer strøm til 900.000 husholdninger i Hamburg sørger for elektrisitetsforsyningen til hydrogenproduksjonen. Kontaktperson i HEW er: Hans-Joachim Reh, Überseering 12, 22297, Hamburg.

**Deutsche BP** (<http://www.bpdeutschland.de>) er ansvarlig for leveransene av hydrogen i Hamburg.

- **Stockholm**

Forsøkskjøringen i Stockholm foregår i regi av **Storstockholms Lokaltrafik AB\* (SL)** ([www.sl.se](http://www.sl.se)). Kontaktperson i SL er: Lars Nordstrand, Arenav 27, 12080 Stockholm.

**Busslink AB\*** ([www.busslink.com](http://www.busslink.com)), som kjører 65 % av bussrutene i Stockholm, inkludert alle 250 etanol-bussene, kjører bussene i prosjektet. Kontaktperson i Busslink er: Per Wikstroem, Technical Director, P. Boks 6482, 11382 Stockholm, Tel: +46-85-1902060, Faks: +46-85-1902009, [Per.Wikstrom@Busslink.Com](mailto:Per.Wikstrom@Busslink.Com)

Ansvarlig myndighet for miljømessige aspekter ved forsøkene er **Stockholms stad\*** ([www.stockholm.se](http://www.stockholm.se)). Kontaktperson<sup>4</sup> i Stockholms stad er: Antaine M.Ose, Environment and Health Protection Administration, Rosenlundsgatan 60, Box 38024, 100 64 Stockholm, Tel: +46-66-9156400, Faks: +46-66-9156199. Bjørn Hugosson i Miljöförvaltningen er administrativ prosjektleder for CUTE-prosjektet i Stockholm. Tel. +46 8 508 940

**Birka Energi**, som er en del av **Fortum Corporation** ([www.fortum.se](http://www.fortum.se)) produserer hydrogenet og leverer det til fyllestasjonen i forsøkene i Stockholm.

- **Porto**

**Sociedade De Transportes Colectivos Do Porto, SA\* (STCP)** ([www.stcp.pt](http://www.stcp.pt)). STCP har 600 busser og transporterer årlig ca. 230 millioner personer. Kontaktperson i STCP er: Manuel Oliveira Marques, Av. Fernão de Magalhães, 1862-13, 4350 – 150 Porto, Portugal.

**BP\*** skulle være ansvarlig for produksjonen av hydrogen ved dampreformingeringen av naturgass. Dette ble det ikke noe av, men BPs er ansvarlig for tilkjøringen av hydrogen til fyllestasjonen, så vel som driften av fyllestasjonen.

- **Stuttgart**

---

<sup>4</sup> Informasjon fra Olof Ohlson, Project ManagerFortum Support AB ([olof.ohlson@fortum.com](mailto:olof.ohlson@fortum.com)) 09.04.2003: CUTE-prosjektet går som planerat d.v.s. i oktober skall hydrogenstationen vara på plats och bussarn levereras. Hittills har endast problem av administrativ art skapat vissa problem, men inte värre än att de kunnat lösas efter hand. De problem som kan ses som speciella för vår del är att tillstånsprocessen enligt gällande regelverk inte varit självklar. Reglerna har tillkommit innan hydrogen förutsatts kunna vara ett bränsle för fordon. Ett specifikt problem är att ett visst stadsplanearbete för bostäder pågått för det område inom vilket hydrogenanläggningen skall uppföras. Denna "kollision" synes nu kunna lösas i samförstånd med planmyndigheten.

**Stuttgarter Strassenbahn AG\* (SSB)** ([www.ssb-ag.de](http://www.ssb-ag.de)) kjører hydrogenbussene på eksisterende ruter. SSB er det største kollektivtransportselskapet i Stuttgart, og en av de største lokale persontransporttilbydere i Tyskland, med 500.000 passasjerer per dag. Kontaktperson i SSB er: Wolfgang Arnold, Schockenriedstrasse 50, 70565 Stuttgart.

**SWITCH Transit Consult GmbH** ([www.switch.de](http://www.switch.de)) er et konsulentselskap underlagt SSB. De bidrar med system-, drifts-, og infrastrukturplanlegging samt økonomiske vurderinger.

**Energie Baden-Württemberg AG (EnBW)** ([www.enbw.com](http://www.enbw.com)) leverer drivstoffet til bussene og har også bidratt finansielt i anskaffelsen av bussene, gjennom Baden-Württemberg Energy Research Foundation. Kontaktperson i EnBW er Dirk Ommeln, Energie Baden-Württemberg AG, Durlacher Allee 93, 76131 Karlsruhe. Tel: +49 (0) 7 21/63-123 20, Faks: +49 (0) 7 21/63-126 72, [d.ommeln@enbw.com](mailto:d.ommeln@enbw.com).

**BP\*** skal gi bistand på sikkerhetsspørsmål knyttet til byggingen og driften av dampreformeringsanlegget og fyllestasjonen.

- **London**

**London Buses Services Limited\* (London Buses)** ([www.tfl.gov.uk/buses/](http://www.tfl.gov.uk/buses/)), som utgjør bussdelen av Transport for London (TfL), kjører hydrogenbussene i London. Kontaktperson i London Buses er: Alan Brindle, 172 Buckingham Palace Road, London SW1W9TN.

Bussoperatøren **First Group Plc\*** (<http://www.firstgroup.com/>), som kjører på kontrakt ca 20 % av rutene til London Buses, deltar også i prosjektet. Kontaktperson i First Group Plc er: Garry Raven, 32 A Weymouth street, London W1N3FA.

**BP International Plc\*** står for leveransene av hydrogen og fyllestasjonene til forsøkene i London. Kontaktperson i BP International Plc er: Chris Mottershead, Britannic House, 1 Finsbury Circus, London EC2M 7BA, Tel: +44-1932-764421, Faks: +44-1932-762905, [Mottercj@Bp.Com](mailto:Mottercj@Bp.Com)

- **Madrid**

Kollektivtransportselskapet **Empresa Municipal De Transportes de Madrid\* (EMT)**, som har ca. 1800 busser og transporterte 544 millioner personer i 2001, kjører hydrogenbussene.. Kontaktperson i EMT er: Tomas Burgaleta, C/Alcantara 24, 28006 Madrid, Tel: +34-91-4068802, Faks: +34-66-7725079.

**Gas Natural** ([www.gasnatural.com](http://www.gasnatural.com)) leverer naturgassen til hydrogenproduksjonen ved dampreforming. Oljeselskapet **Repsol YPF** ([www.repsol-ypf.com](http://www.repsol-ypf.com)) og gasselskapet **Air Liquide** ([www.airliquide.com](http://www.airliquide.com)) produserer og distribuerer hydrogenet fra det sentrale produksjonsanlegget.

- **Luxembourg**

Brenselcellebussene som brukes i Luxembourg ble innkjøpt av det nasjonale bussforbundet **Fédération Luxembourgeoise Des Exploitants D'autobus Et D'autocars Asbl\* (FLEAA)**. Kontaktperson i FLEAA er: Jos Sales, Bld. Konrad Adenauer 31 – 482, 2014 Luxembourg, Tel: +352-65-1165437, Faks: +352-65-1165444, [Jos\\_Sales@Sales-Lentz.Lu](mailto:Jos_Sales@Sales-Lentz.Lu)

Bussene inngår i rutene som drives av busselskapet **Autobus De La Ville De Luxembourg\*** (AVL). Kontakt-person i AVL er: Mr. Nico Pundel, 63, rue de Bouillon, L-1248 Luxembourg, Tel.: +352 47 96 37 45, Faks: +352 29 68 08, [npundel@vdl.lu](mailto:npundel@vdl.lu)

**Air Liquide\*** ([www.airliquide.com](http://www.airliquide.com)) leverer drivstoffet og driver fyllstasjonen i forsøkene i Luxembourg.

Den sentrale statsforvaltningen i Luxembourg er også aktører i prosjektet. Både **Ministère de l'Economia** og **Ministère des Transports** er involvert i tilretteleggingen for planlegging og gjennomføring av forsøkene.

- **Andre aktører tilknyttet CUTE-prosjektet**

Energiselskapet **Sydkraft AG\*** ([www.sydkraft.se](http://www.sydkraft.se)), som inngår i den tyske **E.ON-gruppen**, er også med i CUTE-konsortiet. Kontaktperson i Sydkraft er: Professor Lars Sjunnesson, Carl Gustavsv 1, 205 09 Malmö, Tel: +46-40-255600, Faks: +46-40-6115184, [Lars.Sjunneson@Sydkraft.Se](mailto:Lars.Sjunneson@Sydkraft.Se).

**DaimlerChrysler AG\*** (<http://daimlerchrysler.com/>) har levert alle bussene i prosjektet. Kontaktperson er: Herbert Lohwasser, Mercedesstr. 137, 70546 Stuttgart.

**Ballard Power Systems** ([www.ballard.com](http://www.ballard.com)) har produsert brenselcellene som benyttes i bussene.

**Universität Stuttgart\*** (<http://www.ikpgabi.uni-stuttgart.de>) er leder for studiene som utføres i tilknytning til demonstrasjonsforsøkene. Dett inkluderer LCA av energi-produksjonsprosessene i prosjektet. Kontaktperson er: Joachim Schwarze, Keplerstrasse 7, Postfach 106037, 70174 Stuttgart.

**PE Product Engineering GmbH\*** ([www.pe-europe.com](http://www.pe-europe.com)) bidrar i LCA-studiene og de tekniske/økonomiske infrastrukturnalysene. Kontaktperson er: Jens Hesselbach, Kirchheimerstr. 76, 73265 Dettingen/Teck, Germany.

**Polis Iasbl\* (European Cities and Regions Networking for New Transport solutions)** ([www.polis-online.org](http://www.polis-online.org)) bidrar med teknologiformidling og lobbyvirksomhet i forhold til lokale myndigheter, . Kontaktperson: Mike Harding, Rond-Point Schuman 6 - 8th Floor, 1040 Brussels, Tel: +44-1179-223281, Faks: +44-1179-036709, [Mike\\_Harding@Bristol-City.Gov.Uk](mailto:Mike_Harding@Bristol-City.Gov.Uk)

**Norsk Hydro ASA\***. Kontaktperson: Bjørn Arne Sund, Bygdøy Alle 2, 0240 Oslo, Tel: +47-224333536, Faks: +47-22433160. Datterselskapet **Norsk Hydro Electrolysers AS (NHEL)** (<http://www.hydroelectrolysers.com>) leverte vannelektrolysesystemet til forsøkene i Hamburg og Reykjavik. Kontaktperson NHEL: Andres Cloumann, Notodden Næringspark, P. Boks 44, N-3671 Notodden, Tel: +47-35093999.

**Instituto Superior Technico\***. Kontaktperson: Diamantino Durao, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisbon, Portugal, Tel: +351-21-8411737/2, Faks: +351-21-8475545, [Maria@Navier.Ist.Utl.Pt](mailto:Maria@Navier.Ist.Utl.Pt).

**Statkraft SF\*** (<http://www.statkraft.no>). I samarbeid med Sydkraft AG er Statskraft med i CUTE for å få kunnskap om hydrogen som energibærer i et fremtidig energisamfunn. Dette inkluderer produksjon, lagring, transport og anvendelse av hydrogen med tilhørende teknologiers fremtidige muligheter. Kontaktperson: Jon Brandsar, Veritasveien 26, PO Box 494, 1323 Høvik, Tel: +47-67577000, Faks: +47-67577001, [Jon.Brandsar@Statkraft.No](mailto:Jon.Brandsar@Statkraft.No).

**MVV Verkehr AG\*** (<http://www.mvv.de>). Kontaktperson: Gerhard Becker, Moehlstr. 27, 68165 Mannheim, Germany, Tel: +49-621-465282, Faks: +49-621-465262, [G.Becker@Mvv.De](mailto:G.Becker@Mvv.De)

**PLANET Planungsgruppe Energie Und Technik\*** ([www.planungsgemeinschaft.de](http://www.planungsgemeinschaft.de)). Kontaktperson: Dr Robert Steinberger-Wilckens, Donnerschweerstr. 89/91, 26123 Oldenburg, Germany, Tel: +49-44-185051, Faks: +49-44-188057, [Planet.Oldenburg@T-Online.De](mailto:Planet.Oldenburg@T-Online.De)

## 4. ECTOS- prosjektet

### 4.1. Kort oversikt over prosjektet

Demonstrasjonsprosjektet i Reykjavik kalles Ecological City Transport System (ECTOS). Prosjektet startet opp i 2000 og omfattet, som i hver av CUTE- byene, prøvedrift i to år med tre identiske DaimlerChrysler Citaro brenselcellebusser. Prosjektet omfattet i tillegg studier av effekter på samfunnsliv og næringsvirksomhet (Vedlegg 1). ECTOS inngår i Islands plan om å bli et samfunn uavhengig av fossil energi innen 2030. En sluttkonferanse for prosjektet ble avholdt 27-28. april 2005 i Reykjavik.

I forsøket blir hydrogen produsert på stedet ("on site") ved hjelp av vannelektrolyse. Elektrisiteten som driver elektrolysen er produsert i turbiner drevet med vannkraft og geotermisk energi (vulkansk damp).

Fyllestasjonen ble levert som en komplett modul med både produksjon, kompresjon og lagring av hydrogengassen. Den åpnet i april 2003.

I det kalde klimaet ble det vurdert som nødvendig at bussene blir parkert i oppvarmet garasje.

### 4.2. Den politiske bakgrunnen for ECTOS

For å forstå de politiske forholdene for implementering av hydrogenenergi på Island, er det viktig å ta en titt på endringene i landets energibruk de siste 50 år. Industri- og handelsdepartementet på Island gjør en oppdeling av energibruken i 5 tydelige faser (Pétursson & Bjarnarson, 2004).

- Første fase – fram til siste halvdel av 60-tallet
  - Elektrifisering av landet var en hovedoppgave (i hovedsak med vannkraft)
  - Utnyttelse av de mest tilgjengelige geotermiske kildene
- Andre fase – etter 1965
  - Etablering av kraftkrevende industri
- Tredje fase – etter 1973/74

- Erstatning av fossil olje med fornybare energiresurser (vannkraft og geotermisk), især for boligoppvarming
- Fjerde fase – etter 1995
  - Ytterligere økning i kraftkrevende industri
- Femte fase – etter 2000
  - Arbeide henimot en bærekraftig hydrogen-økonomi

Den femte fasen innebar at politikk ble utviklet og rettet mer inn mot fornybar energi, hvor hydrogen stod sentralt. Denne politikken har resultert i at i dag har Island verdens høyeste fornybare andel (72 %) av den primære energibruken. Den øvrige energibruken utgjøres av importerte fossile oljeprodukter, hvorav ca. halvparten brukes av fiskebåter og den andre halvparten veibasert transport (i hovedsak privatbiler). Elektrisitetsproduksjonen på Island i dag er helt karbon-fri, mens fossile brenslere også har blitt fjernet fra boligoppvarming og blitt erstattet med geotermisk energi.

Energiforbruket på Island per innbygger er imidlertid i dag av verdens høyeste. Dette har sin bakgrunn i kaldt klima, men mer av mer betydning den sterke økningen i kraftkrevende industri i landet de siste 40 år. Island har verdens høyeste installerte aluminiumproduksjonskapasitet per innbygger, over 900 kg per person. Denne kraftkrevende industrien er imidlertid forsynt med elektrisitet kun fra fornybare kilder.

Potensialet for videre elektrisitetsproduksjon fra de to kildene vannkraft og jordvarme er stort på Island. I dag er ca 23 % av det totale vannkraftpotensialet utnyttet. Dette er basert på utnyttelse av det som i dag betraktes som økonomisk egnet og miljømessig forsvarlig. Tilsvarende utnyttelsesgrad for geotermisk energi er såpass lav som 7 %.

#### **4.2.1. De historiske steg**

De historiske stegene fram til Islands hydrogensatsing kan spores tilbake omtrent 30 år til forskningen utført av professor Bragi Arnarson ved Reykjavíks universitet. Et viktig steg var et møte i 1990 mellom universitetet og ulike tyske industriselskaper som inkluderte Hamburgische Electricitäts-Werke AG (HEW). Dette møtet var et resultat av mange års forskning på hydrogenenergi på Island, som andre land begynte å legge merke til.

I 1997 nedsatte Industri- og handelsdepartementet på Island en komité for nasjonal drivstoffproduksjon. Komiteen ble ledet av Hjalmar Arnason, medlem av det islandske parlament. Det ble laget retningslinjer for en politikk med tydelige forpliktelser på utforming av en nasjonal hydrogenstrategi. Dette framgår klart i den innledende erklæring signert i 1998 av statsministeren, industriministeren og miljøministeren:

*“Iceland is endowed with vast resources of renewable energy, both hydro and geothermal, in comparison to its small population. These resources are of great importance to Iceland’s society and its economy. Electricity consumption in the country is supplied by these resources and efforts have been made to increase their share in the energy mix, with the result that they have almost completely replaced oil for space heating and in industries and other fields where it is feasible and economically viable. The effectiveness of this energy policy is amply demonstrated by the fact that renewable energy sources account for about 67 % of the primary energy consumption in Iceland – a higher share than in any other country.*

*Future development of the domestic energy resources is on the Icelandic Government’s agenda. The aim is to harness these in order to diversify the economy and lay the foundation for higher living standards and prosperity in the future. One of the possibilities under consideration is in the*

*production of alternative fuels such as hydrogen. That could replace oil in the transportation sector, i.e. for cars, airplanes and fishing and transport vessels. In addition to diversifying the economy, such use would contribute significantly to reducing the emission of greenhouse gases. The Ministry of Industry, on behalf of the Government, has appointed a committee to explore the possibilities of replacing oil by alternative fuels and if viable, to promote the use of such fuels in the country. The committee is also to facilitate cooperation among the interested parties of the purpose. The committee is chaired by Mr. Hjalmar Arnason, a member of the legislative assembly. The committee enjoys general support from Government and the Ministries.”*  
(Pétursson & Bjarnarson, 2004)

1998 var også det året forhandlingene startet mellom islandske representanter og større industrikonsern inkludert Daimler Chrysler, Norsk Hydro og Shell. Ingimundur Sigfusson, tidligere islandsk ambassadør i Japan, hadde en viktig rolle i disse forhandlingene. Europakommisjonen ble også tatt med i forhandlingene, for å få støtte til det som etter hvert skulle bli ECTOS-prosjektet. Forhandlingene resulterte i statlige myndigheters støtte til etableringen av selskapet Icelandic New Energy<sup>5</sup>, som skulle lede ECTOS-prosjektet. Støtten var et resultat av regjeringens politikk som erklærte at:

*“It is the Government’s policy to promote the increased utilization of renewable energy resources in harmony with the environment. One possible approach towards this goal is production of environmentally friendly fuels for powering vehicles and fishing vessels. Hydrogen is an example of such a fuel. The establishment of a company owned by Icelandic parties and several international corporate leaders in the field of hydrogen fuel technology could open up new opportunities in this field. The Government of Iceland welcomes the establishment of this company by these parties and considers that the choice of location for this project is an acknowledgement of Iceland’s distinctive status and long-term potential. The initiative taken by the parties involved in this project deserves to be applauded and respected. “*  
(Ibid.)

Det er verdt å merke seg den langsiktige politiske hydrogensatsingen på Island som et samfunn basert på en etablert hydrogenøkonomi innen 2030-40, uanhengig av import av fossil energi. Dette var en av hovedgrunnene til at Island ble et av landene som var med å starte ”International Partnership for the Hydrogen Economy” (IPHE), som ble etablert i august 2003. Island var et av to land som ble invitert til å dele lederskapet i implementerings ”liasjon” komiteen i IPHE. Thorsteinn Sigfusson var Islands representant, som sammen med Tyskland hadde denne lederfunksjonen.

#### **4.2.2. Barrierer**

Det var en betydelig skepsis til implementering av hydrogenenergi på Island i den tidlige fasen fram til realiseringen av ECTOS prosjektet. Dette gjaldt ikke minst blant det offentlige og myndighetene. Det var også en mangel på langsiktige forpliktelser. En vanlig holdning blant politikere i den perioden var:

*”Vel, jeg er bare valgt for 4 år; Jeg er ikke interessert i hva som eventuelt kan gjøres etter 30 år”*  
(Pétursson, 2004)

Men, når store selskaper som Norsk Hydro, Daimler Chrysler og Shell kom til Island og uttrykte interesse for å gjøre forretninger der, endret tonen seg til:

---

<sup>5</sup> Beskrevet senere i kapitlet “Den kommersielle historien om ECTOS”

*”Når disse store selskapene kommer hit til Island, så må de mene noe med det. De kommer ikke bare for å drikke kaffe og prate”*  
(Ibid.)

### **4.3. Den teknologiske historien til ECTOS**

#### **4.3.1. Hvordan startet det hele?**

Den teknologiske historien om ECTOS er tett knyttet til forskningsstrategien ved University of Iceland, og arbeidene til Bragi Arnarson og Thorsteinn Sigfusson ved denne institusjonen. Etter avslutning av sine kjemistudier i Tyskland i 1961 kom Bragi Arnarson tilbake til Island. I løpet av de neste 15 år studerte han grunnvannsystemene, med hovedvekt på geotermiske systemer på Island. Resultatet av arbeidet var at det ble etablert god oversikt over omfanget av geotermiske energikilder i landet. Med basis i denne kunnskapen ble det klart at jordvarme er en energikilde med et svært stort uhøstet potensial. På den tiden, i 70-årene, importerte Island 40 % av energikonsumet i form av fossil energi. Den nye kunnskapen om det store geotermiske potensialet utløste en interesse i å undersøke mulighetene for å produsere en egen energibærer som kunne erstatte importert bensin og diesel. Mange typer drivstoff ble vurdert: syntetisk bensin, metanol, til og med ammoniakk. Ammoniakk hadde tidligere blitt brukt som drivstoff i naturgassmotorer, med begrenset suksess. Hydrogen var imidlertid den muligheten som ble viet mest oppmerksomhet, og etter den relativt raske utviklingen i brenselcelleteknologier i de tidlige 1990-åra, har University of Iceland fokusert sin forskning på dette drivstoffet.

Den teknologiske kompetansen og energibildet på Island hadde blitt kjent internasjonalt. Året 1997 ble en viktig milepæl i landets strategiske arbeid med hydrogen. I det året kontaktet DiamlerBenz-Ballard, nå DiamlerChrysler, den islandske ambassadøren i Tyskland og spurte ham om hydrogenforskerne ved University of Iceland hadde lyst til å komme til Tyskland og møte med industriselskapet. Bakgrunnen for invitasjonen var at selskapet ønsket å få informasjon om politikernes og den islandske regjeringens strategiske hydrogenplaner. Den islandske ambassadøren og Bragi Arnarson hadde møte med selskapet i Stuttgart, og presenterte planene om å konvertere Island til et land med en hydrogenøkonomi i 5 faser<sup>6</sup>. Responsen fra den øverste leder for brenselcelleaktiviteten i DaimlerChrysler var:

*“Well I think we should not discuss more today, we should start to find some basis for cooperation, because you are already producing the fuel”.*  
(Arnarson, 2004)

University of Iceland hadde produsert hydrogen i laboratorieskala i over 50 år. DaimlerChrysler hadde prototypene av kjøretøy med brenselceller og ville ha dem prøvet ut. Dette var slik forhandlingene begynte. Under de videre diskusjonene ville Shell og Norsk

---

<sup>6</sup> De fem stegene i overgangen til en hydrogenøkonomi er (Árnarson, 2003):

Fase 1: Demonstrasjonsprosjekt med hydrogendrevne brenselcellebusser i Reykjavik

Fase 2: Gradvis erstatning av Reykjavik bybussflåte og muligens andre bussflåter med hydrogendrevne brenselcellebusser

Fase 3: Introduksjon av hydrogendrevne brenselcellebiler for privattransport

Fase 4: Demonstrasjonsprosjekt med hydrogendrevne brenselcelle-fiskebåter

Fase 5: Gradvis erstatning av hele fiskeflåten med hydrogendrevne brenselcelle-fiskebåter

Noen ganger er en 6. fase også med (Árnarson et. al, 2001):

Fase 6: Eksport av hydrogen fra Island til det europeiske kontinent



Hydro også være med, og forhandlingene ledet fram til etableringen av Icelandic New Energy.

En annen islandsk teknologisk institusjon som er nært knyttet til ECTOS er Technical Institute of Iceland (IceTec). IceTec er en av grunnleggerne av VistOrka, som er sammenslutningen av sentrale hydrogeninteressenter på Island. IceTec har utført oppgaver knyttet til miljømessige studier i ECTOS, spesifikt gjennom LCA-analyser (Well-to-Wheel) og effekter på luftkvalitet. IceTec arbeider sammen med University of Stuttgart og VINNOVA i Sverige på dette. Arbeidet har også resultert i samarbeide med Norsk Institutt for luftforskning (NILU) om kilder for partikler i luftforurensning.

Det faktum at ECTOS på mange måter er å betrakte for forprosjektet til CUTE har resultert i problemer verdt å merke seg for IceTec (Skúladóttir, 2004). En del studier, som opprinnelig ikke var planlagt for ECTOS, ble nødvendige fra arbeidene i CUTE. I noen av arbeidspakkene i CUTE ble det nødvendig å inkludere resultater fra ECTOS. Avtaler ble gjort om å utvide ECTOS til å inkludere innsamling av ekstra informasjon og data for bruk i CUTE, siden IceTec gjorde dette arbeidet allerede. Å få innhentet denne ekstra informasjonen viste seg å være vanskeligere enn antatt ved inngåelse av avtalene. Det faktum at deler av dette datamaterialet ikke var lett tilgjengelig, eller ikke var tilgjengelig i det hele tatt, ble en overraskelse for IceTec. Det førte til ekstra arbeid og kostnader for dette instituttet.

#### **4.3.2. Problemer som oppsto i de tidlige fasene av ECTOS-prosjektet**

Når fyllestasjonen for hydrogen i Reykjavik åpnet var det en forsinkelse på 9 måneder for levering av hydrogenbussene. Fra april til oktober 2003 var fyllestasjonen således benyttet av en eneste bil, en Mercedes-Benz Transporter, som var på lån fra DaimlerChrysler, hovedsakelig for åpningsseremonien for fyllestasjonen. Når de to første bussene ankom, viste det seg at det var problemer med kompatibiliteten mellom bussene og hydrogendispenseren på fyllestasjonen. Koordineringen av spesifikasjonene for bus og dispenser mht. gasstrykk hadde ikke vært god nok, noe som gjorde det umulig å fylle hydrogen på bussene. Pumpene måtte bygges om, noe som førte til ytterligere to måneders forsinkelse i prosjektet.

Vedlikeholdsanlegget / verkstedet for hydrogenbussene var også beheftet med vesentlige problemer. Egnen beliggenhet, samt å finne folk som kunne gi opplæring, utgjorde betydelige barrierer i prosjektet. Vedlikeholdet av brenselcellebussene er svært arbeidskrevende. En person fra DaimlerChrysler arbeider på fulltid med vedlikehold av de tre bussene. I tillegg kommer en person fra Ballard og inspisierer brenselcellestakkene ved jevne tidsintervaller.

Viktig kunnskap har blitt ervervet gjennom testkjøringen av hydrogenbussene i Reykjavik, spesielt knyttet til følsomheten til de elektroniske komponentene i bussene. Det er blitt erfart at de elektroniske systemkomponentene er svært følsomme overfor salt, som er vanlig i vanndråper i sjøsprut som kommer med nordlige vinder fra havet og inn i gatene i Reykjavik. Dette betraktes som en av faktorene som bidrar til hyppige problemer med regulariteten til hydrogenbussene.

Et annet problem som dukket opp den første vinteren var at de glatte gatene i Reykjavik gjorde det nødvendig med bruk av vinterdekk på hydrogenbussene. Dette var ingen enkel sak, siden det ikke var mulig å benytte slike vinterdekk som de vanlige busser bruker. Hydrogenbussene er mye tyngre enn normale busser. De krever derfor spesialdekk, som ikke

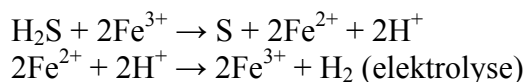
fantas på Island på den tiden. Dekkene måtte importeres, noe som førte til at hydrogenbussene ble tatt ut av kjøring i to uker.

Forsikring av hydrogenbussene viste seg å være en alvorlig barriere i prosjektet. Årsaken er at disse bussene er prototyper og i tillegg svært dyre i anskaffelse. Forsikringsselskapene var derfor svært lite villige til å forsikre dem.

### 4.3.3. *Teknologiutvikling i dag*

ECTOS-prosjektet er trolig det mest kjente hydrogenprosjektet på Island. Prosjektet inngår imidlertid i en bredere strategi for teknologiutvikling ved University of Iceland. Hydrogenforskningen ved denne institusjonen har i de senere år vært konsentrert om utnyttelse av geotermisk damp for mer lønnsom produksjon av hydrogen. Et område som blir sett på er *direkte utnyttning av molekylært hydrogen* i geotermisk damp. En betydelig mengde hydrogen er faktisk til stede i gassene som avgis fra den vulkanske berggrunnen på Island. Fra enkelthull boret på Nord-Island er det målt så mye som 50 tonn per år. Dette er faktisk omtrent den samme mengde som kan produseres i løpet av et år ved hydrogenstasjonen i Reykjavik. Dette blir betraktet som lovende, siden tilsvarende mengder er målt ved de flere av de andre borehullene.

Ved University of Iceland arbeides det i tillegg med å *utnytte hydrogen fra vulkansk hydrogensulfid*. I tillegg til molekylært hydrogen, slipper borehullene ut store mengder hydrogensulfid. Hvis dette utnyttes i tillegg, kan et enkelt borehull potensielt gi nok hydrogen til å forsyne i alt 25 hydrogendrevne personbiler med årlig kjørelengde på 15 000 km. Hydrogen i hydrogensulfid er i tillegg ganske løst bundet sammenliknet med mange andre enkle forbindelser. Faktisk, for å spalte hydrogensulfid opp i hydrogen og svovel trengs det mindre enn 1/10 -del av mengden energi som kreves for å spalte vann opp i hydrogen og oksygen. Når man betrakter energikravene, synes det således å være økonomisk grunnlag for å ekstrahere hydrogen fra hydrogen sulfid. Prosessen som for tiden blir undersøkt nærmere for produksjon av hydrogen fra vulkanisk hydrogensulfid er basert på det faktum at når jernklorid løses i saltsyre, kan treverdige jern ( $\text{Fe}^{3+}$ ), når det reduseres til toverdige ( $\text{Fe}^{2+}$ ), oksidere sulfid til svovel. Når  $\text{Fe}^{2+}$  og saltsyre elektrolyseres, blir  $\text{Fe}^{3+}$  dannet ved anoden og hydrogen ved katoden. Tostegsprosessen kan beskrives ved de kjemiske reaksjonslikningene:



Likevektskonstanten for den første reaksjonen er  $10^{20}$ , så reaksjonen er svært gunstig.

Det drives også for tiden forskning på *høy-temperatur dampelektrolyse* ved University of Iceland. Denne forskningen har sin basis i utnyttelse av den svært billige og lett tilgjengelige varmekilden geotermisk damp, med temperatur omkring 250 °C. Dampen blir videre oppvarmet til 800-1000 °C for å senke den elektriske energimengden som er nødvendig for elektrolysen av vann til hydrogen og oksygen. Tidlige studier har pekt på at produksjon av hydrogen ved elektrolyse på denne måten muliggjør en 20% reduksjon sammenliknet med ved vanlig vannelektrolyse.

Ytterligere en annen tilnærming for hydrogen produksjon fra geotermisk energi som blir vurdert fortjenes å bli nevnt. Hovedmengden geotermisk energi på Island er ikke i form av geotermisk damp egnet til å drive turbiner for å produsere elektrisitet, men faktisk *varmt vann*

under 100°C. Nøkkelen til å utnytte varmeenergien i vann ved slik temperatur finnes i faststoff-fysikk. Med membraner laget av visse halvledende materialer vil oppvarming på den ene siden og avkjøling på den andre, produsere en varmestrøm gjennom membranen. Når varmestrømmen går gjennom det halvledende materialet, blir den delvis omdannet til elektrisitet. Det pågår i dag forskning på oppskalering av denne termodynamiske hydrogenproduksjonen, fra laboratorieskala til kommersiell produksjonsskala.

#### **4.3.4. Framtidige teknologiske steg**

Framtidig implementering av hydrogen i landbasert transport på Island vil kreve, i tillegg til den eksisterende fyllestasjonen i Reykjavik, ytterligere fem fyllestasjoner for å dekke hovedvegen rundt hele landet. I tillegg vil minst 15-16 fyllestasjoner totalt være nødvendig for å komplettere implementeringen og gi mulighet for å kjøre på alle vegene i landet.

For å gjøre Island selvforsynt med drivstoff utgjør imidlertid den store nasjonale *fiskeflåten* den viktigste utfordringen. Ca. halvparten av landets totale drivstofforbruk går til å drive fiskeflåten. Den største barrieren for hydrogenimplementering her er lagring ombord i båtene. Hoveddelen av fiskeflåten består av store havgående trålere, som ofte er ute så lenge som 6 uker av gangen. De må således ha med seg store mengder drivstoff. Trykksatt hydrogengass, som er egnet lagringsform for hydrogen i biler og busser, er ikke aktuelt for store fiskefartøy. Flytende hydrogen er en mulighet, men det er dyrt pga. stor energibruk i nedkjølingen. Flytende hydrogen er mer enn dobbelt så dyrt som hydrogengass.

Ved University of Iceland pågår det forskning knyttet til lagring av hydrogen i lette metallhydrater, for eksempel magnesiumhydrater. Teoretisk er det mulig på denne måten å lagre nok hydrogen i fiskefartøyene, men denne teknologien er trolig ikke kommersiell før flere tiår fram i tid. En overgang til hydrogenbruk i fiskeflåten i de nærmeste tiår vil derfor bli basert på lagring om bord av hydrogen bundet i metanol. Så kan metanolen spaltes opp i hydrogen og CO<sub>2</sub> om bord. Men da må følgende spørsmål stilles: Hvordan kan Island produsere metanol? For en slik produksjon er det nødvendig med en karbonkilde. Hydrogenet kan komme fra elektrolyse av vann eller fra vulkaniske gasser. Når University of Iceland begynte å se seg om etter mulige karbonkilder ble oppmerksomheten rettet mot antropogene utslipp, fra landets metallindustri. Dette gjelder i første rekke aluminiums- og ferrosilisiumverk. Utslippene er en blanding av karbonmonoksid, karbondioksid og metan. Hvis disse gassene kunne fanges opp, kunne de renses og la de inngå i en prosess hvor de reagerer med hydrogen. Teknisk sett synes dette å være mulig. Fra å utnytte disse gassene på en slik måte er det estimert at det kan produseres nok metanol til å erstatte 95 % av det fossile drivstoffet som i dag totalt forbrukes av den islandske fiskeflåten. Det er videre blitt beregnet at denne erstatningen vil redusere de totale CO<sub>2</sub>-utslippene fra de to sektorene fiskeri og metallindustri med om lag 50 %.

#### **4.3.5. Andre teknologiske aktører**

Den velutviklede geotermiske ekspertisen på Island er eksportert og diffundert bl.a. gjennom United Nations University Geothermal Training Programme, som er blitt holdt på Island siden 1979. Dette programmet gir assistanse til utviklingsland gjennom seks måneders kurs om utnyttelse av geotermisk energi. Disse kursene ble gjennomført av 318 studenter i årene 1979-2004 (Orkustofnun, 2004). Studieprogrammet gis av Orkustofnun, som er den islandske energimyndigheten.

## **4.4. Den kommersielle historien om ECTOS**

### **4.4.1. Icelandic New Energy**

I den kommersielle historien om ECTOS spilles en sentral rolle av Icelandic New Energy (INE - Ny Orka). Når de store industriselskapene DaimlerChrysler, Norsk Hydro og Shell hørte om den islandske regjeringens strategi for å omforme landets energiøkonomi til en hydrogenøkonomi, ble de interessert i samarbeid. Årsaken til dette var at dette var første gang et lands myndigheter gikk klart ut med en offensiv hydrogenstrategi, om hydrogen som framtidens viktigste energibærer. Samarbeidet startet om å utvikle et hydrogenprosjekt, hvor DaimlerChrysler, Norsk Hydro og Shell skulle arbeide sammen med islandske aktører. Opprinnelig var det ikke en del av planen å etablere INE som et selskap. Men det visste seg snart at det var svært problematisk å ikke ha noen til å koordinere arbeidet. I en senere fase av prosjektetableringen ble det derfor bestemt å danne Icelandic New Energy som skulle ha som hovedoppgave å koordinere ECTOS-prosjektet. Selskapet ble etablert i 1999. Jon Bjørn Skulason ble ansatt som daglig leder med nøkkeloppgaven å forberede et hydrogenprosjekt på Island. Senere, når ECTOS startet i 2001, ble han prosjektets koordinator.

INE eies av fire selskap: Det islandske holdingselskapet VistOrka eier 1/3 del. VistOrka hf er en sammenslåing av New Business Venture Fund, Reykjavik Energy, The National Power Company, University of Iceland, The Technological Institute of Iceland, The Icelandic Fertilizer Plant, Sudurnes Regional Heating Corporations, og Icelandic Development Capital Area. Resten av INE eies av de tre multinasjonale selskapene DaimlerChrysler, Norsk Hydro and Shell. Da INE ble startet var målet at selskapet skulle fungere som en "tilgjengeliggjører av teknologi". Det var ikke noen målsetning i begynnelsen om at selskapet skulle være kommersielt. Selskapet ble gitt en sum penger ved starten, for å drive selskapet, og for å koordinere forberedelsen av ECTOS-prosjektet. Senere ble det laget et spesifikt budsjett for arbeidet til INE i ECTOS. Den kommersielle verdien av selskapet ville bli vurdert etter hvert som ting skred fram. Men i løpet av ECTOS –prosjektet har målet til INE endret seg til et mer utpreget kommersielt selskap som tjener penger på konsulentvirksomhet og prosjektstyring knyttet til andre hydrogenaktiviteter i tillegg til ECTOS.

Ettersom INE er koordinator for ECTOS har kostnadene i dette prosjektet hatt stor betydning for det kommersielle aspektet av INE. Hydrogenfyllestasjonen er 57 % eid av INE. Driften av stasjonen har blitt dyrere enn forventet. Hele ECTOS-prosjektet har blitt dyrere enn forventet ved prosjektets oppstart. Kostnadene for hele prosjektet ble klart underestimert (Skulason, 2004). Partnerne måtte belastes de ekstra kostnadene som var nødvendige for å utføre de mange oppgavene i prosjektet.

I de tidlige faser av ECTOS møtte prosjektet store barrierer i form av byråkrati, toll, og avgifter, som måtte overvinnes for å drive prosjektet framover. Mye av arbeidet i årene 2001 og 2002 gikk ut på å få tak i og gi informasjon til representanter for de ulike regulerende aktører, inkludert skatte- og tollmyndigheter. Disse personene ble invitert til møter hvor DaimlerChrysler, Shell og Norsk Hydro forklarte detaljene om hva slags typer kjøretøy, komponenter og hydrogenproduksjonssystem som skulle komme til Island. Det ble også forklart hvordan del-systemene og komponentene skulle settes sammen. Til slutt ble planene godkjent av representantene for de ulike myndighetene. Men allikevel opplevde INE at når bussene og utstyret ankom var det fremdeles problemer knyttet til det samme (byråkrati, toll og avgifter).

#### **4.4.2. Skeljungur Ltd**

Skeljungur Ltd., som er Shell distributør på Island, eier 43 % av hydrogenfyllestasjonen i Reykjavik. Selskapet har ansvar for den daglige driften av stasjonen. Å finne en egnet plassering for stasjonen viste seg å være et stort problem for selskapet. Den opprinnelige strategien til Skeljungur for deltakelsen i ECTOS-prosjektet var å bygge en “environmental progressive Service Station of the Future” (Gudmundsdottir, 2003). Stasjonen skulle selge flere typer drivstoff, hvorav hydrogen skulle være et av tilbudene. Reykjavik Kommune gikk imidlertid ikke med på å sette av grunn til denne type anvendelse. Det var en langvaring konflikt mellom Skeljungur og kommunen om dette, som endte med at Skeljungur måtte legge planene bort. En ny strategi ble lansert om å benytte en eksisterende Shell bensinstasjon i Vesturlandsvegur øst for Reykjavik sentrum. Det viste seg at det ble en langtekkelig og problematisk prosess å skaffe nødvendige tillatelser, lisenser og godkjenninger for å drive en hydrogenfyllestasjon på dette stedet. En endring av byens reguleringsplan var nødvendig. Dette krevde offentlig høring, som medførte betydelige forsinkelser i prosjektet. Disse kravene hadde ikke blitt tatt hensyn til i planleggingen av prosjektet, og kom dermed overraskende på Skeljungur og INE. De er ganske åpenbart at de ikke tok godt nok med i betraktningen myndighetskravene som det var nødvendig å forholde seg til ved planlegging av en hydrogenfyllestasjon. Et eksempel er sikkerhetskravene. Disse viste seg å være mye mer omfattende enn det ble forutsatt i tidlige faser av planleggingen. Stasjonen måtte for eksempel tåle å bli truffet av en brennende lastebil. Byggetillatelser ble ikke gitt før brannmyndighetene godtok planene. Det ble også forsinkelser pga. nødvendigheten av å tilfredsstille kravene om sikkerhets avstander nedsatt av National Fire Protection Agency (NFPA) i deres 50A reguleringer. Tiden som Skeljungur brukte på å oppnå de nødvendige tillatelser og godkjenninger ville trolig kunne vært redusert dersom de representanter for de godkjennende myndigheter hadde vært tatt med på råd i prosessen tidligere. Dette kunne ha gjort dem mer motivert til å gi godkjenninger på et tidligere stadium (Ibid.).

Fordi hydrogenfyllestasjonen nå var vesentlig forsinket i forhold til den opprinnelige framdriftsplanen, var det når byggingen startet 18. februar 2003 et høyt press på å få den ferdig innen den planlagte åpningen 24. april samme år. Åpningsdatoen hadde blitt bestemt mye tidligere i prosjektet. Det høye presset førte til høye kostnader, som trolig medførte at de totale kostnadene for fyllestasjonen ble atskillig høyere enn hvis byggeprosjektet hadde blitt gjennomført på normalt vis (Ibid.).

#### **4.4.3. Strætó bs (Greater Reykjavik Transport)**

Hydrogenbussene inngår i bussvirksomheten til Strætó bs. For dette busselskapet har ECTOS-prosjektet potensiell verdi i markedsføringen av selskapet, men det har vært langt ifra å være en kommersiell suksess (Eiríksson, 2004). Det er flere grunner til dette. Først og fremst, som en følge av de hyppige driftsproblemene med hydrogenbussene, måtte busselskapet sette inn en person på fulltid med ansvar for å få hydrogenbussene til verkstedet, og sette inn dieselbusser som erstatning i rutene. Dette medførte økte kostnader for busselskapet, kostnader som bare delvis ble dekket gjennom ECTOS-prosjektets budsjett.

Opprinnelig var planen slik at når de tre hydrogenbussene skulle settes inn i busselskapets rutenett, ville dette gjøre det mulig å ta tre dieselbusser ut av drift. Dette ble imidlertid ikke mulig, pga de store driftsproblemene med hydrogenbussene. Derfor har det ikke blitt noe vesentlig sparing av de andre bussene, og busselskapet har hatt problemer med å opprettholde regulariteten i bussavgangene på de berørte rutene.

En annen faktor er kostnadene for drivstoffet. Kostnadene per kjørte kilometer for den mengde hydrogen som forbrukes av bussene er i gjennomsnitt 5 ganger høyere enn drivstoffkostnadene for dieselbussene på de samme rutene.

Det kombinerte anlegget for vedlikehold og verksted er også relativt dyrt å drive. En av faktorene som bidrar til dette er at hydrogenbussene holdes varme ved hjelp av elektrisitet om nettene. Dette er et krav som er nødvendig for at brenselcellesystemet skal fungere.

Alt i alt har kostnadene for bussoperatøren vært høyere enn det som ble antatt under planleggingen av prosjektet. Det har vært nødvendig for bussoperatøren å betale en vesentlig del av disse ekstra kostnadene. Dette har skapt en del misnøye i busselskapet, hvor det er blitt uttrykt at dette ikke var godt nok tenkt igjennom og oppnådd enighet om i prosjektets planlegging.

#### **4.4.4. Andre kommersielle aktører**

Det er i tillegg flere andre kommersielle aktører knyttet til ECTOS-prosjektet. De inkluderer DaimlerChrysler AG, som har levert de tre hydrogenbussene i prosjektet. For DaimlerChrysler inngår både CUTE og ECTOS i selskapets strategi for utprøving, testing og skaffe til veie erfaringsbasert kunnskap for å forbedre disse prototypene på hydrogendrevne brenselcellebusser.

Norsk Hydro Electrolyser AS har levert alt utstyret til hydrogenproduksjonsdelen av fyllestasjonen i Reykjavik. Systemet for hydrogenproduksjon, inkludert elektrolyser, kompressorer, lagrings- og dispensersystem, ble bygget og satt sammen i Norge og sendt til Island som en komplett enhet. Hydrogenstasjonen i Reykjavik utgjør et viktig element i strategien til Norsk Hydro Electrolyser AS om å beholde selskapets stilling som ”Verdens ledende i vannelektrolyse” ([www.electrolysers.com](http://www.electrolysers.com)).

Selskapet Varmaraf ehf. er et eksempel på et kommersielt selskap som er et direkte resultat av Islands satsing på hydrogenenergi. Selskapet ble etablert i året 2000 og lager den termoelektriske generatoren ”Thermator” som produserer elektrisitet fra varmt geotermisk vann, dvs. under 100 °C.

#### **4.5. Liste over aktører ECTOS-prosjektet**

Koordinator for ECTOS-prosjektet er **Icelandic New Energy\* (INE)** ([www.newenergy.is](http://www.newenergy.is)). Kontaktperson i INE er Jon Bjorn Skulason, Sidumula 13, P.O. Box 8192, IS128 Reykjavik, Tel: +354-588-03-10, Faks: +354-588-03-15, [skulason@newenergy.is](mailto:skulason@newenergy.is).

**DaimlerChrysler AG\*** (<http://daimlerchrysler.com/>) og **Evo-Bus GmbH\*** ([www.evobus.com](http://www.evobus.com)) har levert bussene til forsøket.

**Vinnova -Verket för innovationssystem\*** (<http://www.vinnova.se>) bidrar i LCA-studiene. Adresse: Klara Norra Kyrkogata 14, 111 22 Stockholm, Tel: 08-473-30-00, Faks: 08-473-30-05, [vinnova@vinnova.se](mailto:vinnova@vinnova.se).

**Norsk Hydro ASA\*** ([www.hydro.com](http://www.hydro.com)) og **Norsk Hydro Electrolysers AS** har levert elektrolysesystemet.

**Shell Hydrogen B.V.** \* ([www.shell.is](http://www.shell.is)) og **Shell Iceland**\* (Skeljungur) ([www.shell.is](http://www.shell.is)) har bygget og driver fyllestasjonen.

Brenselcellebussene inngår i de regulære rutene til busselskapet **Reykjavik Municipal Bus Company**\* (**STRAETO**) ([www.bus.is](http://www.bus.is)).

**University of Iceland**\* ([www.hi.is](http://www.hi.is)) gir utdanningstilbud, bl.a. sommerkurset ”Infrastructure of the Hydrogen Society” i samarbeid med Nordisk Forskerutdanningsakademi (Norfa), som er en del av Nordisk Ministerråd (Vedlegg 2). Adresse til Norfa er Holbergsgate 1 0166 Oslo, Tel: +47-23354540, Faks: +47-23354545, [norfa@norfa.no](mailto:norfa@norfa.no).

**The Technological Institute of Iceland**\* (<http://www.iti.is>) deltar i arbeidet med LCA av infrastruktur og brenselcellebussene. Kontaktperson: Bryndís Skúladóttir, Keldnaholti, 112 Reykjavik, Tel: +354-570-7100, Faks: +354-570-7111.

## 5. Tverrgående problemstillinger i CUTE og ECTOS

Selv om hydrogen som drivstoff ofte blir omtalt som en nullutslippsteknologi betyr ikke det at det ikke kan knyttes miljøkonsekvenser til en overgang til hydrogensamfunnet. Spesielt for produksjonen og distribusjonen av hydrogen kan miljøkonsekvenser vise seg å utgjøre vesentlige barrierer. Dette kan omfatte alle tre kategoriene miljøkonsekvenser; ressurstilknyttede, forurensningstilknyttede og arealtilknyttede.

### 5.1. Ressurstilknyttede miljøkonsekvenser

Er hydrogenproduksjonen basert på dampreforming av naturgass eller raffinering av mineralolje er framtidig knapphet på petroleumsbaserte energiressurser en begrensning for langsiktigheten av en hydrogenproduksjon basert på disse kjedene.

Også for hydrogenproduksjon basert på elektrolyse av vann kan det pekes på ressurstilknyttede miljøkonsekvenser. Høyt elektrisitetsbruk til å drive elektrolysen er spesielt problematisk hvis elektrisiteten er produsert fra ikke-fornybare energiressurser som kull, kjernekraft, fossil olje og naturgass. Framtidig knapphet på ikke-fornybare energiressurser utgjør således en barriere på sikt også for denne teknologien.

Distribusjonen av hydrogen kan også gi ressurstilknyttede miljøkonsekvenser, spesielt ved store sentraliserte systemer for hydrogenproduksjon. Transport av hydrogengass over lange avstander med tankbiler kan bidra til svært høyt WtW energibruk. Den store energibruken ved veibasert transport av hydrogen kan således betraktes som en barriere for hydrogenproduksjon i sentraliserte systemer. En strategi for å overvinne denne barrieren er isteden å utvikle desentraliserte systemer med kombinert hydrogenproduksjon og fyllestasjon, slik som det for eksempel gjøres i Reykjavik (*Figur 1*) og Stockholm (*Figur 2*).

*Figur 1 Kombinert hydrogenproduksjon og fyllestasjon i Reykjavik*



Figur 2 Kombinert hydrogenproduksjon (til venstre) og fyllstasjon (til høyre) i Stockholm



## 5.2. Manglende publikumsaksept

Manglende publikumsaksept har vært en av faktorene som har bidratt til problemene knyttet til fyllstasjonen for hydrogen i CUTE-prosjektet i London. Protester fra naboer i nærområdene til hydrogenfyllstasjonen gjorde at prosjektet ble betydelig forsinket. Den langvarige prosessen mot godkjenning startet i 2001 og pågikk helt fram til byggestart for november 2004. Prosessen er beskrevet av Boyd (2004). Her går det fram at motstanden mot plasseringen av fyllstasjonen ikke ble tatt godt nok hensyn til i planprosessen. Klagene fra publikum omfattet:

- Arealet for planlagt fyllstasjon var grøntområde
- Skjemmende gjerder og belysning
- Frykt for ulykker. Hydrogenstasjonen ble i lokalavisene assosiert med Hindenburg og hydrogenbomber

Forsinkelsen i godkjenning av lokaliseringen førte til at en midlertidig fyllstasjon måtte tas i bruk for å starte busskjøringen i januar 2004. En av hovedlærdommene fra London-prosjektet er at manglende publikumsaksept hos lokalbefolkningen er en svært viktig barriere for etablering av hydrogenfyllstasjoner. Kun lokaliseringer hvor naboene er udelte positive bør



vrderes. Er det allikevel slik at positiv aksept ikke er tilstede må dette arbeides med gjennom en møysommelig prosess som inkluderer folkemøter og informasjonskampanjer.

Investeringskostnadene for bussene i CUTE og ECTOS er også svært høye, og ligger på 10-11 millioner NOK for hver av bussene.

I CUTE og ECTOS blir det utviklet en metodologi for organisering av kvalitets- og sikkerhetsarbeid med hydrogen infrastruktur. Norsk Hydro leder dette arbeidet. Metodologien blir utviklet med basis i erfaringer fra CUTE og ECTOS, kombinert med generell industriell kunnskap om sikkerhet knyttet til hydrogeninfrastruktur (Hansen, 2002).

### **5.3. Sosioøkonomiske miljøstudier**

ECTOS og CUTE gjennomfører undersøkelser av typen *sosioøkonomiske miljøstudier*. Dette arbeidet ledes av University of Stuttgart (Technical Institute of Iceland er utførende på Island). Dette er en del av en LCA studie, samt en evaluering av hydrogenbussenes innvirkning på byenes miljø. Miljøparametre som luftforurensing i form av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, CO, O<sub>3</sub> blir kartlagt, for å gi et grunnlag for senere å kunne si noe om hvordan hydrogenbussene påvirker luftkvaliteten (Skúladóttir & Þórdarson, 2003).

Som en viktig del av ECTOS-prosjektet har aksepten for hydrogen som drivstoff i bussene blitt undersøkt. Helt fra starten av prosjektet har aksepten vært ganske stor (Skulason, pers. meddel. 10.02.04). Innledningsvis ble det gjort en større undersøkelse hvor hele 93 % av de spurte hadde en positiv oppfatning av hydrogen som erstatning for fossilt drivstoff. Denne og videre undersøkelser av publikums oppfatning er blitt gjennomført ved telefonintervjuer, samt personlige intervjuer og spørreskjemaundersøkelser om bord i bussene og blant beboere langs bussrutene (INE, 2004a; 2004b).

### **5.4. Høye kostnader**

*University of Stuttgart studie*

Som en del av "Accompanying studies" i CUTE-prosjektet har University of Stuttgart i samarbeid med "Fuel Cell Centre of Competence and Innovation (FC<sup>3</sup>I) gjennomført en studie av hydrogen infrastruktur i et scenario for 2020 (Faltenbacher et al., 2003). Forutsetningene i scenariet for 2020 er at av totalt 334.000 personbiler skal 15 %, d.v.s. 50.100 biler, bli drevet av brenselceller. Gjennomsnittlig drivstofforbruket på brenselcellebilene er satt til 1 kg H<sub>2</sub>/100km, som innebærer et energiforbruk på 0,33 kWh/km. En årlig kjørelengde på 12.000 km er videre forutsatt. Dette medfører et årlig behov for 6.000 tonn hydrogen. Dette er forutsatt dekket ved at 80 % kommer fra utplassert dampreforming av naturgass, 10 % fra utplasserte elektrolysesystem og 10 % fra hydrogen tilkjørt med tankbil fra sentralt dampreformeringsanlegg.

Tidlige erfaringer med kjøringen i CUTE-prosjektet er at drivstofforbruket er svært varierende mellom de ulike byene som har begynt kjøringen (Miljöförvaltningen, pers. meddel.). Spesielt i byene i varmt klima (Madrid, begynt kjøring 05.05.2003 og Barcelona, begynt 22.09.2003) kreves det at air-conditioning benyttes store deler av dagen, og dette fører til uforutsett høyt drivstofforbruk.

Totalbudsjettet for hele CUTE -prosjektet er på ca. 450 millioner NOK (hvorav 35 % er EU-bidrag).

Stockolms andel av CUTE-prosjektet er på ca. 60 millioner SEK (= 54 millioner NOK). Av dette bidrar SL med 28 millioner SEK, Fortum med 8 millioner SEK og Miljöförvaltningen 1 millioner SEK. Opcon satser 0,4 millioner SEK. EU bidrar med 15 millioner SEK, VINNOVA og Energimyndigheten 4 millioner SEK hver.

Investeringskostnader for bussene i Stockholm ligger på 11 millioner SEK (= 10,0 millioner NOK) for hver av de tre bussene. Bussene ble satt i drift 13.11.03. Stockholm- anlegget er kombinert produksjon (elektrolyse), lagring og fylling. De totale investeringskostnadene på anlegget, som er levert av Fortum, er 10 millioner SEK. Dette har en kapasitet til å holde 3 busser gående i kontinuerlig drift. Det er ikke lagt inn kapasitet utover dette.

Investeringskostnader for et spesialutrustet verksted er 4 millioner SEK, mens drift og øvrige tilknyttede kostnader for prosjektet er på 12 millioner SEK. Egen beregning av driftskostnader for bussene basert på drivstofforbruket er gjort med utgangspunkt i pris på innkjøpt strøm til å drive elektrolysen. Denne beløper seg til 60 SEK per kjørte mil.

Elektrolyse/fyllestasjonen blir fjern-overvåket fra Canada hvor Stuart Energy Systems Corporation har overvåkningsansvaret.

Prosjektet i Reykjavik som går over 4 år hadde i november 2003 et totalbudsjett på 7 millioner EURO (= 57 millioner NOK). Uforutsette kostnader har gjort at dette nå er økt til ca 8 mill EURO.

Av totalbudsjettet utgjør investeringskostnader til bussene 1,3 millioner EURO (= 10,7 millioner NOK) for hver av de tre bussene som er kjøpt inn av Icelandic New Energy. Bussene skal kjøres i 2 år. Deretter er det ikke bestemt hva som skal gjøres med dem. Bussene ble satt inn i drift og erstattet dieselbusser på regulære ruter. Dette er også forskjellig fra CUTE-prosjektet, hvor bussene i hovedsak ble satt inn i rutenettet i tillegg til de regulære bussene. I CUTE-prosjektet økte man således i praksis frekvensen. Fra Icelandic New Energy uttrykkes det som mest sannsynlig at bussene kommer til å kjøres utover 2-års testperioden, men bare så lenge Brenselcelle- stakken fortsetter å virke. Det er per i dag ikke planer for hvordan det skal finansieres å få denne erstattet etter endt levetid. Busselskaper er ikke forberedt på å ta på seg slike utgifter (Icelandic New Energy, pers meddell 6.1.04).

DiamlerChrysler har levert bussene i Reykjavik med en vedlikeholdsgaranti på de viktigste komponentene. Dette innebærer at hvis for eksempel Brenselcellestakken slutter å fungere, vil DiamlerChrysler reparere/erstatte denne kostnadsfritt. Tilsvarende garanti er gitt for Dynatec-komponentene (H<sub>2</sub>-flaskene med tilbehør). Resten av vedlikeholdet er imidlertid fullt og helt busselskapets ansvar. Dette har ført til at kostnader for vedlikehold er blitt atskillig større enn forventet (Icelandic New Energy, pers meddell 6.1.04). Busselskapet har 2 personer som er ansatt på heltid for å utføre vedlikeholdet på de tre hydrogenbussene. I tillegg må bussjåførene utføre mye ekstra arbeid. Hydrogenbussene har i tillegg til dette hatt alvorlige problemer, som leverandøren ikke har dekket kostnadene for å rette opp. Bl.a. har en ventil på en av bussene gått i stykker, noe som har ført til at tilsvarende ventil måtte erstattes på alle tre bussene. Ventilene måtte tilsendes fra Canada, og dette innebar at bussene var ute av drift fem dager i strekk. Ventilene var ikke TUV-sertifisert, og derfor ble de ikke erstattet kostnadsfritt av DiamlerChrysler. En generell erfaring så langt har vært at det er vanskelig å få detaljert informasjon om de ulike busskomponentene, i den grad de ikke regnes som

hovedkomponenter med leverandørgaranti. Det har også vært uklarerheter knyttet til ansvarsfordelingen for utgiftene ved reparasjon av enkeltkomponenter, noe som er illustrert ved den manglende TUV-sertifisering på ventilene som måtte erstattes. Dette har bidratt til at kostnader knyttet til vedlikehold av hydrogenbussene utgjør en svært kompleks side av ECTOS prosjektet.

Investeringskostnader for hydrogenproduksjon/fyllestasjons-enheten var på totalt ca. 1,5 millioner EURO (= 12,3 millioner NOK). Fyllestasjonen er i utgangspunktet ubemannet, men dette er mer komplekst enn forventet. Stasjonen eies av Icelandic New Energy, men det er personell fra Shell Iceland som utfører vedlikeholdet og kostnadene for dette bæres av Shell. Det er ikke kjent hvor mye disse kostnadene utgjør, men det uttrykkes fra Icelandic New Energy at de er atskillig høyere enn opprinnelig antatt (Icelandic New Energy, pers meddell 6.1.04).

#### *Om vedlikehold av bussene i CUTE og ECTOS*

Bussene i CUTE og ECTOS skal kjøres i 2 år. Deretter er det ikke bestemt hva som skal gjøres med dem. Fra Icelandic New Energy uttrykkes det som mest sannsynlig at ECTOS-bussene kommer til å kjøres utover 2-års testperioden, men bare så lenge Brenselcelle-stakken fortsetter å virke. Det er ikke planer for hvordan det skal finansieres å få denne erstattet etter endt levetid. Busselskapet som kjører bussene er i hvert fall ikke forberedt på å ta på seg slike utgifter (Icelandic New Energy, pers meddell 6.1.04).

DiamlerChrysler har levert bussene med en vedlikeholdsgaranti på de viktigste komponentene. Dette innebærer at hvis for eksempel Brenselcellestakken slutter å fungere, vil DiamlerChrysler reparere/erstatte denne kostnadsfritt. Tilsvarende garanti er gitt for Dynatec-komponentene (H<sub>2</sub>-flaskene med tilbehør). Resten av vedlikeholdet er imidlertid fullt og helt busselskapenes ansvar. Dette har ført til at kostnader for vedlikehold er blitt atskillig større enn forventet i ECTOS og flere av CUTE-byene (Icelandic New Energy, pers meddell 6.1.04). Busselskapet som kjører ECTOS-bussene har 2 personer som er ansatt på heltid for å utføre vedlikeholdet på de tre hydrogenbussene. I tillegg må bussjåførene utføre mye ekstra arbeid. Hydrogenbussene i Reykjavik har i tillegg til dette hatt alvorlige problemer, som leverandøren ikke har dekket kostnadene for å rette opp. Bl.a. har en ventil på en av bussene gått i stykker, noe som har ført til at tilsvarende ventil måtte erstattes på alle tre bussene. Ventilene måtte tilsendes fra Canada, og dette innebar at bussene var ute av drift fem dager i strekk. Ventilene var ikke TUV-sertifisert, og derfor ble de ikke erstattet kostnadsfritt av DiamlerChrysler.

En generell erfaring så langt i ECTOS har vært at det er vanskelig å få detaljert informasjon om de ulike busskomponentene, i den grad de ikke regnes som hovedkomponenter med leverandørgaranti. Det har også vært uklarerheter knyttet til ansvarsfordelingen for utgiftene ved reparasjon av enkeltkomponenter, noe som er illustrert ved den manglende TUV-sertifisering på ventilene som måtte erstattes. Dette har bidratt til at kostnader knyttet til vedlikehold av hydrogenbussene utgjør en svært kompleks side av ECTOS prosjektet (Ibid.).

#### *Hydrogenforbruk i busser - CUTE*

Egen beregning av driftskostnader for CUTE-bussene i Stockholm basert på drivstofforbruket er gjort med utgangspunkt i pris på innkjøpt strøm til å drive elektrolysen. Denne beløper seg til 60 SEK per kjørte mil (Miljöförvaltningen, pers. meddel.). Tidligere indikasjoner på drivstofforbruket i CUTE-bussene var at spesielt for byene i varmt klima (Madrid og

Barcelona) kreves det at airconditioning benyttes store deler av dagen, og dette fører til uforutsett høyt drivstofforbruk.

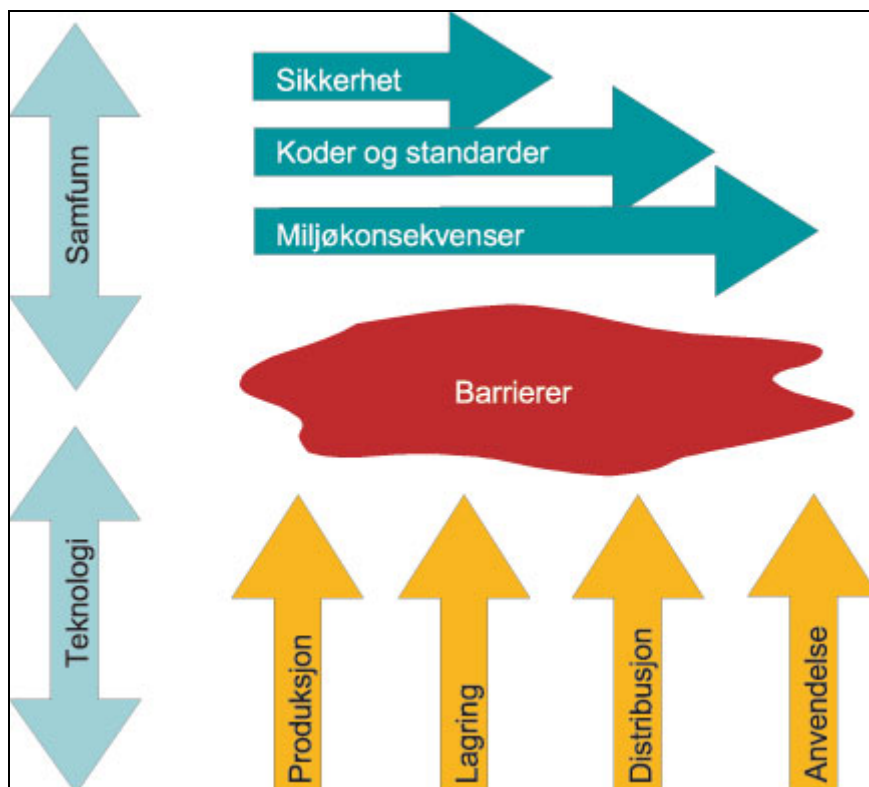
Senere er det imidlertid observert større fluktasjoner i bussenes drivstofforbruk i de ulike byene hvor forsøkene pågår (H2 World, 2004). Bl.a. i Stockholm ble det målt høyere forbruk i begynnelsen, så gradvis lavere mot et nivå nærmere gjennomsnittet for alle 9 byene. Dette innebærer at barrierer i form av høye kostnader knyttet til drivstofforbruket i hydrogenbussene må betraktes med usikkerhet foreløpig. Det uttrykkes en foreløpig uvisshet om årsakene til de varierende tallene på drivstofforbruk i disse forsøkene (Ibid.).

## 6. HySociety

### 6.1. Innledning

HySociety var et prosjekt ("Accompanying measure") under det 5. rammeprogrammet til EU. Prosjektet startet opp i februar 2003 og gikk ut januar 2005. Hensikten med prosjektet var å kartlegge ikke-teknologiske barrierer, vurdere teknologier, og foreslå nødvendige politiske virkemidler for å etablere en europeisk hydrogenøkonomi. Prosjektet bygget på gjennomgang av kunnskap om samfunnsmessige barrierer, teknologier og aspekter av sosial, økonomisk og miljømessig karakter. I tillegg til å analysere betingelser og barrierer, lå det også i prosjektet en ambisjon om å foreslå tiltak for å overvinne de identifiserte barrierene. Det ble utviklet en handlingsplan for å overvinne barrierene vist i *Figur 3*.

*Figur 3 HySociety: Prosjektets hoved-elementer skissert*



Kilde: Jean-Marie Bemtgen, EU-kommisjonen). Nedlastbar fra:  
[http://www.sintef.no/content/page1\\_\\_\\_6382.aspx](http://www.sintef.no/content/page1___6382.aspx)

HySociety omfattet følgende ikke-teknologiske barrierer:

- Koder og standarder knyttet til implementering av infrastruktur
- Sikkerhet
- Sosiale og økonomiske forhold
- Industrielle strukturer
- Den allmenne oppfatning av hydrogen (publikumsaksept)

I alt 51 prosjekter om utprøving og demonstrasjon av hydrogenenergi i EU, Norge, Island, Japan, Canada, Brasil og Kina ble gjennomgått. Det ble laget en database med informasjon om 600 utfordringer, nødvendige endringer og involverte aktører. Et hovedresultat var at de aller fleste av prosjektene ble betraktet som ”vellykket”, men overraskende mange ikke så for seg noen oppfølging (HySociety, 2005).

## **6.2. Koder, standarder og reguleringer**

Koder, standarder og reguleringer knyttet til implementering av infrastruktur for hydrogen ble i HySociety fremhevet som et av de viktigste områdene å arbeide videre med for å overvinne sentrale ikke-teknologiske barrierer. For mobile anvendelser av hydrogen er følgende internasjonale (og nasjonale) arbeidsgrupper engasjert i dette:

- IEC TC105 (FC – Operations and Safety – Testing and Evaluation)
- SAE (FC – Fuel H2 – Storage - Efficiency)
- ISO TC 197 (Hydrogen Technology – Storage – Distribution – Fuel H2)
- ISO/PW 1734 (H2 emission measurement during loading)
- CEN (Fuel H2 for FC or ICE – Storage)
- NFPA (Fuel Storage)
- CSA (Storage and dispensing)

## **6.3. Usikkerhet om miljøfordelene**

Et viktig poeng som kom fram i prosjektet var at for de fleste myndigheter oppfatter virkningene av hydrogenbaserte energisystemer på spesifikk energi- og miljøpolitikk som uklare. Derfor er det også uklart hva slags fordeler (og til hvilken kostnad og i hvilke tidsramme) som kan oppnås ved å betrakte hydrogen i implementeringen av nasjonale / EU og internasjonale målsetninger og forpliktelser, for eksempel Kyoto, post-Kyoto, energiforsyningssikkerhet, etc.

## **6.4. Holdninger til hydrogen og brenselceller**

HySociety presenterer kunnskap om folks holdninger til hydrogen og brenselceller. Det vises til at det gjennom EU-prosjektet AcceptH2 er blitt utført undersøkelser om folks oppfatninger av hydrogen og viljen til å betale mer for å være passasjer i hydrogenbusser. Dette er blitt utført i forkant av demonstrasjonskjøringer i tre byer. Resultatene peker på at:

- Støtten for hydrogen og brenselceller er generelt ganske høy
- Kunnskapen om hydrogen og brenselceller er dårlig
- Menn har en relativt bedre kunnskap om hydrogenteknologier enn kvinner
- Folk med høyere utdanning har bedre kunnskap om hydrogenteknologier enn folk med kun lavere utdanning

- Hydrogen gir både positive (miljø, etc.) og negative (bomber, eksplosiver, etc.), så vel som nøytrale (fysiske egenskaper etc.) assosiasjoner
- Det er i praksis ingen motstand mot introduksjon av hydrogen og hydrogenkjøretøy
- En studie av økonomiske preferanser har vist at mer enn 50 % av alle respondenter er villige til å betale et tillegg på mellom 0,01 og 0,30 EURO per bussbillett ved å kjøre med hydrogen busser

(HySociety, 2005)

## 6.5. Aktøroversikt HySociety

Totalt var 20 organisasjoner og 14 land involvert i prosjektet<sup>7</sup>.

**Instituto Superior Technico\* (IST)** var koordinator for prosjektet. Kontaktperson er: Rei Fernandes ved Research Group on Energy and Sustainable Development, Mechanical Engineering Department, Avenida Rovisco Pais 1049-001, Lisboa, Portugal, Tel: +(351) 218 417 592 / 377, Faks: +(351) 218 475 545, [reiferndes@navier.ist.utl.pt](mailto:reiferndes@navier.ist.utl.pt)

**Soluções Racionais de Energia (SRE)** Kontaktperson: Eng. José João Campos Rodrigues, R. D. Luís I, 19, 1º, 1200-149 Lisboa, Portugal, Tel: (+351) 21 394 9103, Faks: (+351) 21 396 0431, [Ge.sre@eni.pt](mailto:Ge.sre@eni.pt)

**SINTEF - Energy Research\*** Kontaktperson: Jens Hetland, Sem Saelands vei 11, NO-7465 Trondheim, Tel: 735 977 64, Faks: 735 928 89, [Jens.Hetland@energy.sintef.no](mailto:Jens.Hetland@energy.sintef.no)

**Rogalandsforskning\*** Kontaktperson: Jan-Erik Karlsen, Professor Olav Hansensvei 15, 4068 Stavanger, Tel: 51 875000, Faks: 51 875200, [jan.erik.karlsen@rf.no](mailto:jan.erik.karlsen@rf.no)

**VTT- Technical Research\*** Kontaktperson: Juhani Laurikko, Vuorimiehentie 5, 02044 VTT Espoo, Finland, Tel: (+358) 9 456 5463, Faks: (+358) 9 460 493, [Juhani.Laurikko@vtt.fi](mailto:Juhani.Laurikko@vtt.fi)

**Spanish Institute for Aerospace Technology\* (INTA)** Kontaktperson: Maria del Pilar Argumosa Martínez, Carretera de Ajalvir, Km 4, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid, Spania, Tel: (+34) 915201446, Faks: (+34) 915201614, [argumosa@inta.es](mailto:argumosa@inta.es)

**Flemish Institute for Technological Research\* (VITO )** Kontaktperson: Grietus Mulder, Boeretang 200, B-2400 MOL, Belgium, Tel: (+32 14) 33 58 59, Faks: (+32 14) 32 11 85, [Grietus.Mulder@vito.be](mailto:Grietus.Mulder@vito.be)

**Univertité de Liège\* (ULg)** Kontaktperson: Prof. Albert Germain, Start Tilman B6, 400 Liege, Belgia, Tel: (+32) 43663547, Faks: (+32) 43664435, [Albert.Germain@ulg.ac.be](mailto:Albert.Germain@ulg.ac.be)

**VGB\*** Kontaktperson: Mr. Ulrich Langnickel, Klinkestrasse 27-31, 45136 Essen, Tyskland, Tel: (+49) 2018128238, Faks: (+49) 2018128345, [ulrich.langnickel@vgb.org](mailto:ulrich.langnickel@vgb.org)

**FhG/ISI\*** Kontaktperson: Martin Wietschel, Breslauer Strasse 48, 76139 Karlsruhe, Tyskland, Tel: (+49) 7216809254, Faks: (+49) 7216809272, [M.Wietschel@isi.fraunhofer.de](mailto:M.Wietschel@isi.fraunhofer.de)

**LBST** Kontaktperson: Dr. Ulrich Bünger, Daimlerstrasse 15, 85521 Ottobrunn, Tyskland, Tel: (+49) 8960811023, Faks: (+49) 896099731, [Buenger@lbst.de](mailto:Buenger@lbst.de)

<sup>7</sup> Aktører merket med en asterisk (\*) er partnere i konsortiet. Resten er underleverandører.

**Austrian Energy Agency\* (AEA)** Kontaktperson: Dr. Günther R. Simader, Otto-Bauer-Gasse 6, 1060 Vienna, Austria, Tel: (+43) 01586122424, Faks: (+43) 01586122440, [guenther.simader@energyagency.at](mailto:guenther.simader@energyagency.at)

**SYDKRAFT\*** Kontaktperson: Prof. Lars Sjunnesson, Carl Gustavs väg 1, 20509 Malmö, Sverige, Tel: (+46) 40255600, Faks: (+46) 406115184, [Lars.Sjunnesson@sydkraft.se](mailto:Lars.Sjunnesson@sydkraft.se)

**ENEA\*** Kontaktperson: Ing. Antonio Mattucci, C.R. Casaccia Via Anguillarese, 301, 00060 Rome, Italia, Tel: (+39) 0630484394, Faks: (+39) 0630483795, [mattucci@casaccia.enea.it](mailto:mattucci@casaccia.enea.it)

**ICSTM\*** Kontaktperson: David Hart, Exhibition Road, South Kensington, SW7 2AZ London, Storbritannia, Tel: (+44) 20 75946781, Faks: (+44) 20 75949334, [david.hart@imperial.ac.uk](mailto:david.hart@imperial.ac.uk)

**CNRS-LCSR\*** Kontaktperson: Dr. Iskender Gökalp, 1C Avenue de La Recherche Scientifique, 45071 Orléans cedex 2, France, Tel: (+33) 2 38255463, Faks: (+44) 2 38257875, [gokalp@cnrs-orleans.fr](mailto:gokalp@cnrs-orleans.fr)

**NTUA\*** Kontaktperson: Prof. E. Kakaras, Heron Polytechniou St. 9, GR 15780 Athens, Hellas, Tel: (+30) 2107723662, Faks: (+30) 2107713663, [ekak@central.ntua.gr](mailto:ekak@central.ntua.gr)

**INE** Kontaktperson: Ms Maria Maack, Borgartun 37, 105 Reykjavik, Iceland, Tel: (+354) 5880310, Faks: (+354) 5880315, [maria.maack@newenergy.is](mailto:maria.maack@newenergy.is)

**ECN\*** Kontaktperson: Mr. Harm Jeeninga, westerduinweg 3, 1755 ZG Petten, Nederland, Tel: (+31) 224564788, Faks: (+31) 224568504, [jeeninga@ecen.nl](mailto:jeeninga@ecen.nl)

## 7. Videre arbeid

For prosjektet ”HyNor – Hydrogenveien i Norge” vil det være av betydning å bygge videre på internasjonal erfaring og kunnskap generert fra andre forsøk med implementering av hydrogen. Det blir viktig å følge andre forsøk tett.

En sluttkonferanse for CUTE-prosjektet ble avholdt 10-11 mai 2006 i Hamburg. Presentasjonene fra denne konferansen er nedlastbare fra <http://www.cute-hamburg.de/> og gir ytterligere informasjon om erfaringer fra dette prosjektet.

CUTE-prosjektet blir videreført i form av HyFLEET:CUTE som omfatter den videre drift av Citaro hydrogenbussene i de 7 Europeiske byene pluss Perth og Beijing. I tillegg vil det i HyFLEET:CUTE inngå drift i Berlin av 14 hydrogenrevne MAN busser med forbrenningsmotor. Samtidig vil det i HyFLEET:CUTE bli utviklet og utprøvet ”neste generasjons” hydrogenbusser, både brenselcellebaserte og busser med forbrenningsmotor. Prosjektet er del-finansiert av EU og vil pågå i 4 år fram til høsten 2009. Kontaktperson er Monika Kentzler ([monika.kentzler@daimlerchrysler.com](mailto:monika.kentzler@daimlerchrysler.com)) og prosjektet websider er på: <http://www.global-hydrogen-bus-platform.com/index.php>

## 8. Referanser

- Andersen, O. (2003): *Bruk av hydrogen i transport. Teknologiske barrierer ved brenselceller*. Vf-rapport 1/2003. Vestlandsforskning, Sogndal.
- Andersen, O. (2004): *Økonomiske faktorer og forhold ved anvendelse av hydrogen i transport*. Vf-notat 10/2004. Vestlandsforskning, Sogndal.
- Andersen, O. (2005): *Ikke-teknologiske barrierer for hydrogen som energibærer i transport*. Vf-notat 3/2005. Vestlandsforskning, Sogndal.
- Árnarson, B., Sigfússon, T. I. og Skúlason, J.B. (2001): *Creating a non-fossil energy economy in Iceland*. Science Institute, University of Iceland / Icelandic New Energy Ltd. Draft Paper March 2001.
- Árnarson, B. (2003): *Energy Sources and Conversion. General Overview. Iceland a Pilot Country to Demonstrate the Road to Hydrogen Economy*. Infrastructure of the modern hydrogen society. NorFA summer school, Reykjavik, Iceland, 10-14 June 2003. University of Iceland.
- Boyd, R.W. (2004): *The story of how the London CUTE bus trial refuelling site won national and local approvals*. Presentation at Fuel Cell Seminar San Antonio, Texas, 1-5 November 2004. (<http://www.hydrogensafety.info/articles/RobertBoyd-ShortCourse-2004.pdf>).
- DaimlerChrysler (2005): *World record for fuel-cell buses: one million kilometers completed*. Press information 18 october. [http://www.fuel-cell-bus-club.com/modules/UpDownload/store\\_folder/News/Press\\_Release\\_1\\_Mio\\_KM.pdf](http://www.fuel-cell-bus-club.com/modules/UpDownload/store_folder/News/Press_Release_1_Mio_KM.pdf)
- Faltenbacher, M., Schaible, B. and Wacker, M. (2003): *How to supply fuel cell cars in Stuttgart with hydrogen – a view into the year 2020*. Fuel Cell Centre of Competence and Innovation (FC<sup>3</sup>I). Kontaktperson: Br. Schaible; Tel.: +49 (711) 6862-566; [kibz@brennstoffzellen-initiative.de](mailto:kibz@brennstoffzellen-initiative.de).
- Hansen, A. M. (2002): *CUTE – 2002. Quality & Safety*. Report to the hydrogen bus project in Oslo. December 2002.
- HySociety (2005): *HySociety Action Plan. Twenty European Institutions working to facilitate the introduction of hydrogen as an energy carrier*. Recommendations of the HySociety Project. [www.hysociety.net](http://www.hysociety.net).
- Icelandic New Energy (2004a): *ECTOS – Ecological City Transport System*. Second Newsletter. Edited by Icelandic New Energy.
- Icelandic New Energy (2004b): *ECTOS – Ecological City Transport System*. Third Newsletter. Icelandic New Energy.
- Moisan, F. (2004): *IPHE. Implementation-Liaison Committee. Socio-economics of hydrogen*. Presentation at IPHE ILC Committee Meeting, Reykjavik, Iceland, September 22-25, 2004. (<http://www.iphe.net/ILC-IcelandPresentations.htm>).
- Orkustofnun (2004): *The United Nations University Geothermal Training Programme. Introduction*. (<http://www.os.is/id/584>)
- Pétursson, B. and Bjarnarson, H. (2004): *Towards a Hydrogen Society*. Presentation by Ministry of Industry and Commerce Iceland. March 2004.
- Skúladóttir, B & Þórdarson, H. (2003): *ECTOS. Environmental Evaluation of Air Quality. Midterm report*. ITÍ0312/HTD12. 8HE0101. ECTOS Delivery 7. October 2003.



Technological Institute of Iceland.

Vattenfall (2005): *CUTE - Clean Urban Transport for Europe*. Presentasjon fra Holger Grubel, Vattenfall Europe. ([http://www.joanneum.at/cms\\_img/img2948.pdf](http://www.joanneum.at/cms_img/img2948.pdf))

## **9. Kontaktpersoner og personlige meddelelser**

Arnason, Bragi. University of Iceland. Personlig intervju 12.03.2004

Beck, Dietmar. DaimlerChrysler (Dietmar.Beck@daimlerchrysler.com)

Eiríksson, Ásgeir. Strætó bs (Greater Reykjavik Transport). Personlig intervju 11.03.2004

Gudmundsdóttir, Margret. Skeljungur Ltd., Island. Personlig intervju 10.03.2004

Hansen, Anne Marit. Norsk Hydro

Pétursson, Baldur, Islands industri- og handelsdept. Personlig intervju 11.03.2004

Skúladóttir, Bryndís, IceTec. Personlig intervju 12.03.2004

Skulason, Jon Björn. INE (NyOrka), Island. Personlig intervju 10.03.2004

## Vedlegg 1

### Studie av effekter på samfunnsliv og næringsvirksomhet.

ECTOS prosjektet omfatter studier av effekter på samfunnsliv og næringsvirksomhet. Resultatene fra studien er ikke publisert i rapportform, men hovedfunn og beskrivelse er presentert på [www.newenergy.is](http://www.newenergy.is).

#### Sammendrag ([www.iti.is](http://www.iti.is)):

“A recent survey has shown that 93 percent of the Icelandic people are very positive about the idea of replacing traditional fossil fuels with fuel cells. One of the key factors assumed to impact the public view is increased independence of the Iceland economy. Also, the technical, financial and political communities in Iceland see the development as a stepping stone towards their ambition as a self-sufficient energy provider for all human activities on the island”.

#### Hovedfunn og beskrivelse ([www.newenergy.is/newszoom.asp?nr=39](http://www.newenergy.is/newszoom.asp?nr=39)):

##### *The first social survey*

”The main outcomes were the following: 22% of the public has heard of Icelandic NewEnergy. 6% claim to know in which field INE is working. A large majority of the public has a positive attitude towards using hydrogen as a fuel for buses, cars and ships (93% claim to be positive or very positive. Only 3% claim to be against it.

Information about the applications and possibilities for the uses of Hydrogen has been too little up to present. Only Managers and academics claim they have had enough of information about the application possibilities of Hydrogen, but young people and women claim they would like more information. This gives rise to turn to media that specifically address these target groups.

3 out of 4 responders think that public buses are a more ecological kind of transport than private cars (the general use of public buses is low in Reykjavik). 50% of the respondents would rather change the public transport system and make the system more flexible than shift the fuel to hydrogen in order to make environmental progress.

##### More on background information:

A group of 1200 individuals, age-range 16 - 76, was drawn randomly from all inhabitants. When those who could not participate for any reasons had been subtracted then 1154 individuals were left, but 800 people actually answered the questions which makes 69.3%. The survey was made via telephone calls. A  $\hat{E}$  - test was used to find correlations with a few background characteristics and these are presented if they correlate within 90% - 99% margins. These give rise to the following correlation results: Women and young people think that the possibilities of hydrogen uses have not been presented well enough while managers claim to have had a good presentation through TV on the subject.

## Vedlegg 2

Sommer-kurset ”Infrastructure of the Hydrogen Society” ved University of Iceland, i samarbeid med Nordisk Forskerutdanningsakademi:

Day	10.6.2003	<u>Module 1: Energy sources &amp; conversion</u> <u>Module 2: Production of H2</u>	
Item	Topic	Time Frame	Lectuer
	Formal course opening	5	Rector Pall Skulason
	Introduction - scope and organization	30	H. Th. Ingason
1,1	Sources and conversion overview	60	B. Arnason
1,2	Energy conversion and systems	60	P. Valdimarsson
1,3	H2 and energy sustainability	30	C. J. Winter
1,4	Fuel cells	60	Th. I. Sigfusson
	Lunch		
2,1	Various energy sources	30	H. Th. Ingason
2,2	Electrolysis	60	A. Clouman
2,3	Reforming technology	60	C. J. Winter
2,4	H2 production, application	60	C. J. Winter

Day 2	11.6.2003	<u>Module 3: Hydrogen storage</u>	
Item	Topic	Time Frame	Lectuer
3,1	Overview	60	C. J. Winter
3,2	Metal hydrides	60	H. Jonsson
3,3	Liquid hydrogen	45	C. J. Winter
	Lunch		
3,4	Gas storage	60	C. J. Winter
3,5	Nano technology	45	B. Hjorvarsson
3,6	Panel discussion	60	Th. I. Sigfusson
3,7	Excursion, nano-lab	60	S. Olafsson
Day 3	12.6.2003	<u>Module 4: H2 infrastructure - economics</u>	
Item	Topic	Time Frame	Lectuer
4,1	Overview	45	O. Weinman
4,2	Modern society energy infrastructure	60	N.N. Energy Authority
4,3	Concepts of infrastructure	60	J. Ogden
4,4	Replacement of hydrocarbon fuels by H2 in transportation	60	C. J. Winter
	Lunch		
4,5	Economics of energy conversion, fossil -> H2	60	J. Ogden
4,6	Optimisation of H2 production	45	J. B. Skulason / F. Frisbæk
4,7	Lay-out of infrastructure	90	O. Weinman / A. Clouman
Day 4	13.6.2003	<u>Module 5: H2 infrastructure - safety &amp; social impact</u>	
Item	Topic	Time Frame	Lectuer

5,1	Safety aspects	45	J. Ogden
5,2	Social impact	45	M. Maack
5,3	Policy measures	30	M. Cummings
5,4	Policy measures	45	J. Ogden
	Lunch		
554	Government policies	60	H. Arnason
565	Market penetration	90	M. Gudmundsdottir / J. B. Skulason
5,7	Panel discusson	60	Th. I. Sigfusson / C. J. Winter
<b>Day 5</b>	<b>14.6.2003</b>	<b><u>Module 6: Iceland as a pilot case</u></b>	
<b>Item</b>	<b>Topic</b>	<b>Time Frame</b>	<b>Lectuer</b>
6,1	Iceland as a pilot case	All day - excursion	M. Maack

Kilde: <http://verk.hi.is/energy/program.php>

#### Main speakers

**Andreas Clouman, M.Sc., mechanical engineer**

Marketing director at Norsk Hydro Electrolysers AS

**Bjorgvin Hjorvarsson, PhD**

Professor of Materials Physics, Uppsala University, Sweden.

**Bragi Arnason, PhD**

Professor of Chemistry, University of Iceland

**Carl Jochen Winter, Prof. Dr.-Ing.**

ENERGON Carl-Jochen Winter GmbH

**Hannes Jonsson, PhD**

Professor of Chemistry, University of Iceland.

**Helgi Thor Ingason, PhD**

Assistant professor of Mechanical Engineering, University of Iceland.

**Hjalmar Arnason, BA, M.Ed.**

Member of the Icelandic Parliament.

**Joan Ogden, PhD**

Research scientist, Environmental Institute, Princeton University.

**Jon Bjorn Skulason, MA**

General Manager, Iceland New Energy.

**Margret Gudmundsdottir, Cand.Merc.**

Manager of Marketing, Shell Iceland.

**Maria Maack, B.Sc.**

Environmental Manager, Iceland New Energy.

**Michael Cummings**

Fullbright Research Fellow, Iceland New Energy.

**Oliver Weinman PhD, process engineer.**

Head of New Energy Systems, Hamburgische Electricitäts-Werke AG

**Pall Valdimarsson, PhD**

Professor of Mechanical Engineering, Universit of Iceland.

**Sveinn Olafsson, PhD**

Research Specialist, University of Iceland.

Kilde: <http://verk.hi.is/energy/program.php>