

KOSTNADSUTVECKLINGEN FÖR BRÄNSLECELLSFORDON

RAPPORT 2015:166



TEKNIKBEVAKNING AV
BRÄNSLECELLSOMRÅDET



Kostnadsutvecklingen för bränslecellsfordon

HANS POHL, VIKTORIA SWEDISH ICT AB

ISBN 978-91-7673-166-6 | © 2015 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

I syfte att koordinera teknikbevakning, samt sammanställa, analysera och sprida information om utvecklingen inom bränslecellsområdet till svenska intressenter, främst fordonsindustrin, finansierar Energimyndigheten ett projekt "Teknikbevakning av bränslecellsområdet". Projektet genomförs under 2014-2016 inom ramen för Svensk Hybridfordonscentrum (SHC) med Energiforsk som koordinator och projektledare.

Denna rapport är en förstudie som har tagits fram inom teknikbevakningsprojektet. Samtliga rapporter kommer att finnas publicerade och fritt nedladdningsbara på Energiforsks webbplats för bränslecellsbevakningen www.branslecell.se och på SHC:s webbplats www.hybridfordonscentrum.se.

Styrgruppen för projektet har bestått av följande ledamöter: Anders Hedebyörn Volvo Cars, Annika Ahlberg-Tidblad Scania, Azra Selimovic AB Volvo, Bengt Ridell Grontmij AB, Göran Lindbergh SHC/KTH, Elna Holmberg SHC och Bertil Wahlund Energiforsk AB. Energiforsk framför ett stort tack till styrgruppen för värdefulla insatser.

Stockholm september 2015

Bertil Wahlund
Energiforsk AB

Sammanfattning

Kostnaderna för att köpa, äga och använda bränslecellsfordon är avgörande för denna elektrifierade fordonstyps möjligheter på marknaden. Syftet med denna studie är att öka kunskapen om kostnader förknippade med bränslecellsfordon med fokus på de delar i fordonet som är unika för bränslecellsdrivna fordon, dvs. bränslecellssystemet och vätgastanken. Med data från litteratur, media och genom personliga kontakter med experter på området ger rapporten en översikt över marknadsutvecklingen, den skärskådar dussintalet kostnadsanalyser och den redogör för en intervju med den biltillverkare som var först ut på marknaden med ett litet större antal fordon (Hyundai).

Genomgången av kostnadsanalyserna visar att kostnaden för hela drivlinan varierar mellan 10 000 och 22 500 USD, under antagande om stor tillverkningsvolym. Det indikerar en fordonskostnad i spannet 21 000 – 33 500 USD.

Bland slutsatserna betonas att det i takt med att biltillverkarna med Hyundai, Toyota och Honda i spetsen nu börjar sälja bränslecellsfordon blir allt svårare att göra kostnadsanalyser av det slag som granskats i rapporten. Alternativa metoder föreslås, exempelvis att bevaka prisutvecklingen på marknaden, att köpa in och plocka isär marknadsledande fordon eller att genomföra upphandlingar av hela fordon eller delsystem.

I en grov jämförelse mellan fordon som drivs med batterier respektive bränsleceller ligger kostnaden år 2020 ungefär lika vid en batteristorlek om 30 kWh. Nissan Leafs batterikapacitet är 24 kWh.

Summary

The costs associated with buying, owning and using a fuel cell vehicle are key factors determining the future for this type of vehicle on the market. The purpose of this study is to increase the knowledge about fuel cell vehicle costs with a focus on those parts of the vehicle that are unique for fuel cell propelled vehicles, i.e. the fuel cell system and the hydrogen storage. Using data from literature, media and personal contacts with experts in the field, the report provides an overview over the development on the market, it scrutinizes a dozen of cost analyses and it accounts for an interview with the car maker which was first to deliver a somewhat larger number of fuel cell vehicles (Hyundai).

The study of the cost analyses tells that the costs for the complete powertrain vary between USD 10,000 and 22,500, assuming large volumes of production. This indicates a vehicle cost ranging from USD 21,000 to 33,000.

Among the conclusions it is forwarded that the on-going market introduction of fuel cell vehicles, headed by Hyundai, Toyota and Honda, makes it more difficult to make cost analyses of the type studied in the report. Alternative methods are suggested, among them a survey of the market price development, a purchase and demounting of fuel cell vehicles considered market leading, or a procurement of complete vehicles or subsystems.

Following a rough comparison between vehicles using batteries and fuel cells respectively, the cost year 2020 is approximately the same at a battery size of 30 kWh. The battery capacity of Nissan Leaf is 24 kWh.

Innehåll

1	Bakgrund	8
1.1	Introduktion	8
1.2	Syfte	8
1.3	Metod och avgränsningar	8
2	Utvecklingen av bränslecellsbilar	9
2.1	Historik	9
2.2	Nuläge	13
2.2.1	Hyundai	13
2.2.2	Toyota	13
2.2.3	Honda	14
2.2.4	GM	14
2.2.5	Volkswagen	15
2.2.6	Mercedes-Benz	16
2.2.7	BMW	16
3	Kostnadsanalyser	17
3.1	Strategic Analysis	17
3.2	Transitions to alternative vehicles and fuels (NRC 2013)	20
3.3	Austin Power Engineering	21
3.4	A portfolio of powertrains (McKinsey 2010)	22
3.5	Carbon Trust	24
3.6	Status and prospects	26
3.7	A cost benefit analysis of fuel cell electric vehicles	27
3.8	Fuel cell cost analysis summary (IPHE)	27
3.9	Hydrogen under pressure	27
3.10	The Hydrogen Transition (UC Davis)	28
3.11	Energy Saving and Cost Projections	29
3.12	Kostnadsutveckling hos batterier och bränsleceller	29
4	Intervju med Hyundai	30
5	Diskussion – vad kostar bränslecellsbilen?	32
5.1	Jämförelse och sammanvägning av resultaten	32
5.2	Metoddiskussion	34
5.2.1	Förutsättningarna förändras	34
5.2.2	Dominerande kostnadsposter	35
5.2.3	Regelverket på bilmarknaden	35
5.2.4	Biltillverkarna vet vad de gör	36
5.2.5	Alternativa metoder att skatta kostnaderna	37
5.3	Jämförelse med batterikostnadsanalyser	37
6	Slutsatser	39

7	Acknowledgements	40
	Referenser	41

1 Bakgrund

1.1 INTRODUKTION

Bränslecellsfordon har varit mer eller mindre aktuella under många år och stora tekniska framsteg har gjort att fordonen ur ett användarperspektiv är mycket attraktiva, förutsatt att tankstationer för vätgas finns att tillgå. En stor kvarvarande osäkerhetsfaktor är emellertid kostnaden för bränslecellssystem och fordon som drivs med sådana. Även om det finns fordon som används av såväl privata som publika ägare så saknas det en fungerande marknad.

Avgörande för storskalig introduktion är att kostnaderna för att köpa, äga och använda bränslecellsfordonet blir konkurrenskraftiga.

1.2 SYFTE

Studiens syfte är att öka kunskapen om kostnader förknippade med bränslecellsfordon. Dels sammanställer studien olika kostnadsuppgifter som har publicerats för bränslecellsfordon och de olika delsystemen som är specifika för dessa. Dels analyseras olika metoder att uppskatta kostnaden för bränslecellsfordon.

1.3 METOD OCH AVGRÄNSNINGAR

Studien inhämtar och granskar de analyser som finns att tillgå kring bränsleceller för fordonsanvändning. Underlag inhämtas från litteratur, media och genom personliga kontakter med experter på området.

Fokus ligger på de delar i fordonet som är unika för bränslecellsdrivna fordon, dvs. bränslecellssystemet och vätgastanken. Kostnaden för vätgasens produktion och distribution analyseras inte närmare.

En del i projektet är att relatera underlaget både metod- och resultatmässigt till det som har gjorts och görs i Sverige kring denna eller andra relevanta nya teknologier och system. Det faller sig exempelvis naturligt att jämföra batterieldrift med bränslecellselldrift, vilket redan har gjorts i viss utsträckning i Bergman et al (2013).

2 Utvecklingen av bränslecellsbilar

2.1 HISTORIK

Eftersom kostnadsanalysen går tillbaka en del i tiden för att se hur mål och prognoserna tidigare år har stämt samt hur de sedan har reviderats så behövs det en översiktlig beskrivning av vad som har hänt på bränslecellsområdet.

Under 1990-talet var fokus på batterifordon, främst på grund av det nollemissionsmandatet i Kalifornien. När Toyota lanserade sin Prius i slutet av 1997 var det en teknik som inte hade prioriterats i regelverket. Bränslecellsfordon blev medialt uppmärksammade 1999 då Daimler lovade serietillverkning till 2004. Detta var ett sätt att formulera en ny riktning för bilutvecklingen i ljuset av att batteridrivna fordon inte fick det genombrott som många, inte minst de inom policyfären, hade önskat. Det var förmodligen också ett sätt att reducera uppmärksamheten på de japanska biltillverkarnas i detta skede helt överlägsna hybridfordon. Flera biltillverkare följde efter med liknande löften, även de japanska.

USAs president Bush lanserade FreedomCAR år 2003 och i detta public-private partnership betonades vätgas och bränsleceller. Föregångaren var Partnership for a new generation of vehicles (PNGV), vars fokus till stor del var på hybridlösningar. Det programmet lyckades inte få fram kommersiellt slagkraftiga lösningar.

I rutan nedan har målformuleringar kopierats in från FreedomCAR and Fuel Partnership (USCAR 2006:10). Nyckelformuleringar är **gulmarkerade**.

Technology-Specific 2010 and 2015 Research Goals (1)

This figure summarizes the key technical goals for the 2010 and 2015 time frames. The technical teams will identify the need for additional goals as appropriate for proposal to the Executive Steering Group.

To ensure reliable systems for future fuel cell powertrains with costs comparable to conventional internal combustion engine/automatic transmission systems, the goals are:

- Electric Propulsion System with a 15-year life capable of delivering at least 55kW for 18 seconds, and 30kW continuous at a system cost of \$12/kW peak.
- 60% peak energy-efficient, durable fuel cell power system (including hydrogen storage) that achieves a 325 W/kg power density and 220 W/L operating on hydrogen. **Cost targets are at \$45/kW by 2010 (\$30/kW by 2015).** (2)

To enable clean, energy-efficient vehicles operating on clean, hydrocarbon-based fuels powered by internal combustion powertrains, the goal is:

- Internal combustion engine powertrain systems costing \$30/kW, having a peak brake engine efficiency of 45%, and that meet or exceed emissions standards.

To enable reliable hybrid electric vehicles that are durable and affordable, the goal is:

- Electric drivetrain energy storage with 15-year life at 300 Whr per vehicle with discharge power of 25 kW for 18 seconds and \$20/kW.

To enable the transition to a hydrogen economy, ensure widespread availability of hydrogen fuels, and retain the functional characteristics of current vehicles, the goals are:

- Demonstrated hydrogen refueling with developed commercial codes and standards and diverse renewable and non-renewable energy sources with a cost of energy from hydrogen equivalent to gasoline at market price, assumed to be \$2.00-3.00 per gallon gasoline equivalent produced and delivered to the consumer independent of pathway by 2015. (3)
- On-board Hydrogen Storage Systems demonstrating specific energy of 2.0 kWh/kg (6 weight percent hydrogen), and energy density of 1.5 kWh/liter at a cost of \$4/kWh by 2010 and specific energy of 3.0 kWh/kg (9 weight percent hydrogen), 2.7 kWh/liter, and \$2.00/kWh by 2015.

- Internal combustion engine powertrain systems operating on hydrogen with a cost target of \$45/kW by 2010 and \$30/kW in 2015, having a peak brake engine efficiency of 45%, and that meet or exceed emissions standards.

1. Cost references based on CY 2001 dollar values. Where power (kW) targets are specified, those targets are to ensure that technology challenges that would occur in a range of light-duty vehicle types would have to be addressed.
2. Does not include vehicle traction electronics.
3. Based on lower heating value of hydrogen; allows over 300-mile range.

Nedanstående utgör axplock ur den teknikbevakning som jag har genomfört under åren 2007 – 2013 på uppdrag av Elforsk.

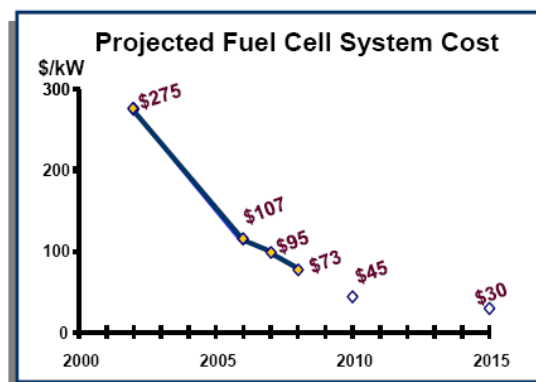
År 2007 lanserades Hondas skapelse Clarity, se Figur 1. Ett begränsat antal bilar började med start 2008 leasas ut till privatpersoner i Kalifornien för USD 600 per månad. Bilen tankar trycksatt vätgas vid 350 bar och har en räckvidd om 430 km. Förbrukningen anges till 68 mpg vilket motsvarar cirka 0,35 bensinekvivalenta liter per mil. Bränslecellsstacken är Hondas egen V Flow med effekt 100 kW, volym 52 liter och vikt 67 kg.



Figur 1: Honda FCX Clarity

Med start i första kvartalet 2008 lånade GM ut mer än hundra fordon till privatpersoner i tre områden i USA för provkörning under tremånadersperioder. De ingår i GM:s Project Driveway och är av typen Chevrolet Equinox. Bilarna har 93 kW bränsleceller och tankar vätgas vid trycket 700 bar. En tank uppges räcka till 275 km. Förbrukningen anges till motsvarande 43 mpg d.v.s. 0,55 liter per mil.

Under 2008 ökade intresset för laddbara fordon igen och inte minst GM valde att komplettera (eller gardera) målet om att vara först ut med bränslecellsfordon med målet att också vara först med laddhybrider.

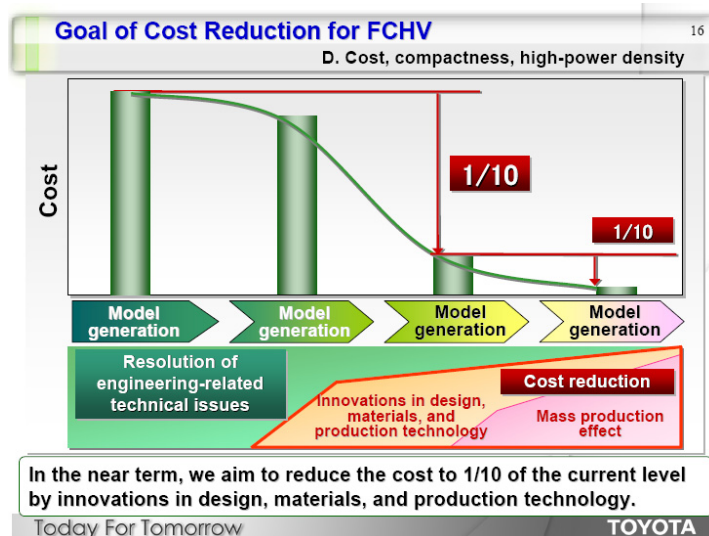


Figur 2: Diagram ursprungligen från DOE Hydrogen Program & Vehicle Technologies Program, 2009 Merit Review

I Figur 2 motsvarar de ifyllda romberna uppnådda mål och romberna för 2010 och 2015 är de mål som DOE har satt upp. I en av rapporterna kopplade till det kaliforniska noll-emissionsmandatet ges en statusrapport både för bränsleceller och batterier och kostnaden för bränslecellssystemet 2009 anges till USD 61 per kW (se http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/2009zevreview/attachment_a_tsd.pdf).

Med amerikanska ingenjörer från SRNL och NREL gjorde Toyota ett energiförbrukningsprov som resulterade i en räckvidd om cirka 431 miles och en förbrukning om 68,3 miles per kg vätgas. Biltypen som uppnådde dessa förbrukningssiffror kallas Toyota Highlander Fuel Cell Hybrid Vehicle – Advanced. En vanlig Toyota Highlander 2010 drar mellan 18 – 27 (hybridversion) mpg bensen.

Justin Ward, manager för Toyotas 'Advanced Powertrain Program' i USA, svarade för ett ofta upprepat citat under 2009: "We have some confidence the [fuel cell] vehicle released around 2015 is going to have costs that are going to be shocking for most of the people in the industry. They are going to be very surprised we were able to achieve such an impressive cost reduction." Se Figur 3.



Figur 3: Toyotas beskrivning av kostnadsutvecklingen år 2010

I Genève 2010 presenterades Hyundais Tucson/ix35 FCEV. Den utgör enligt tillverkaren ett stort steg på vägen mot målet att öka tillverkningsvolymen mot tusentals fordon år 2012. De argument som framförs är i linje med detta, det handlar om enklare, billigare och rationellare lösningar för bränslecellsstacken och även en billigare elmotör (induktion i stället för permanentmagnet).



Figur 4: Hyundai ix35 FCEV

Data för fordonet som presenterades för den stora publiken i september 2012:

- Maxeffekt bränslecellsstacken och motoreffekt: 100 kW
- Räckvidd: 588 km (litet olika uppgifter förekommer)
- Förbrukning: 0,37 l/mil (motsvarande)
- Acceleration 0 – 100 km/h: 12,5 s
- Vätgasen förvaras i två trycktankar under baksätet vid 700 bar. Totalt rymmer tankarna 5,64 kg vätgas.

I oktober 2011 presenterade Nissan en ny generation bränslecellsstack. Stacken väger 43 kg, har volymen 34 liter och är på 85 kW. I jämförelse med föregående generation innebär dessa siffror en reduktion i storlek och vikt med i princip bibehållen effekt. Volymminskning från 90 till 34 liter (2,6 ggr), viktminskning från 120 till 43 kg (2,8 ggr) medan effekten minskats från 90 till 85 kW. Viktigare än de fysiska förändringarna är förmodligen att Nissan också har nått en reduktion i kostnad om cirka sex gånger tack vare minskad platinaanvändning (fyra gånger) och färre antal delar (också fyra gånger).

Daimler började år 2012 låta utvalda användare prova bränslecells bilen F-Cell på vägarna i Europa och USA. Tvåårig leasing kostar USD 849 per månad och treårig leasing erbjuds till USD 599 per månad. Totalt ska cirka 200 fordon testas inom ramen för pilotprogrammet. Bilen använder andra generationens bränsleceller från Automotive Fuel Cell Cooperation, ett företag i Kanada som samägs av Daimler (majoritetsägare), Ford och Ballard. Stacken ger 100 kW. Tanken rymmer upp till 3,7 kg vätgas vid 700 bar och ett litiumjonbatteri om 1,4 kWh ingår också i drivlinan. Räckvidden uppges till knappt 40 mil. I januari 2013 skrev Automobilwoche att Daimler förväntas inleda omfattande kommersiella leveranser av F-Cell baserad på B-klassen år 2017 och inte som tidigare sagts 2015. Detta för att det än så länge inte var möjligt att erbjuda bilen till ett konkurrenskraftigt pris.

Toyota, Daimler och Hyundai nyttjar samtliga synergier i utvecklingen genom att använda samma typer av bränslecellsstackar även för bussar men då två i stället för en. Det tittas också på konfigurationer med mindre stackar och större batterier för bussar.

Vätgas kostar enligt tillverkaren Linde mellan 6 och 15 Euro per kg och en personbil kommer omkring 100 km per kg vätgas (Nyman 2013).

2.2 NULÄGE

En rättvisande uppdatering av vad som har hänt sedan 2013 skulle bli ganska omfattande och det ligger utom ramarna för detta projekt. Likafullt krävs det i alla fall en kort uppdatering av vad som har hänt. Nedan något om vad respektive biltillverkare har gjort.

2.2.1 Hyundai

Bilar modell iX35 Fuel Cell började år 2013 levereras till kunder i Europa. Ett år senare inleddes leveranser till kunder i USA av motsvarande fordon under namnet Tucson Fuel Cell under ett treårigt leasingavtal om 2 999 USD initialt + 499 USD per månad. Då ingår fri service och vätgas.

2.2.2 Toyota

Toyota presenterade sin första dedicerade bränslecellsbil Mirai under 2014. Toyota Fuel Cell System (TFCS) omfattar en stack på 114 kW med en effekttäthet om 3,1 kW/l respektive 2,0 kW/kg. Stacken är således endast på 37 liter. De två tankarna rymmer cirka 5 kg vätgas under 700 bars tryck (GreenCarCongress 2015b). Yumiya et al (2015) nämner följande innovationer, vilka bidrar till att få ner kostnaden:

- Omfattande nyttjande av komponenter som redan används i Toyotas olika hybriddrivlinor. För att underlätta detta använder Toyota en DC/DC-omvandlare för att höja spänningen från stacken till 600 V.
- En ny tredimensionell struktur för gashanteringen i cellerna bidrar till jämnare och högre effekt per ytenhet och bidrar också till att den separata fuktenheten (humidifier) kunnat avskaffas. Strömtätheten har höjts med en faktor 2,4 jämfört med modellen FCHV Adv.
- Trycktankarna är tillverkade av Toyota enligt nya principer som minskar åtgången av kolfiber och dessutom möjliggör användandet av en billigare typ av sådan. Tankarna når 5,7 viktsprocent vätgas, vilket uppges vara rekord.

En detalj i bilen är att den i kombination med en extern enhet kan användas för att elförsörja ganska krävande utrustningar med upp till 9 kW respektive upp till 60 kWh.



Figur 5: Toyota Mirai (bild Toyota)

Produktionsvolym ska fram till 2017 ökas till 3 000 fordon per år (Scoltock 2015). I USA kommer bilen att erbjudas till priset 57 500 USD eller leasing med 3 649 USD initialt plus 499 USD/mån. I USA finns subventioner som kan ge ett slutpris för kund under 45 000 USD. Utöver omfattande garantier och service ingår även gratis vätgas under upp till tre år. Leveranser inleds hösten 2015 (GreenCarCongress 2014d)¹.

2.2.3 Honda

Mot slutet av 2014 presenterades Honda FCV Concept, vilken ska ge en förning om hur den bil som Honda ska börja sälja i mars 2016 ser ut. Tillgängliga data för bränslecellsstacken är snarlika de som Toyota uppger för Mirai men en skillnad är att Honda har gjort systemet så att det i sin helhet får plats i motorrummet. Honda har nu gått upp till samma tanktryck som merparten övriga aktörer, dvs. 700 bar och räckvidden uppges till över 483 km.

Precis som Toyota har Honda också en extern enhet som gör att fordonet kan leverera rejält med elektrisk energi, exempelvis vid en naturkatastrof. Därutöver fortsätter Honda utvecklingen av en Smart Hydrogen Station, vilken ska kunna producera vätgas i hemmamiljö (GreenCarCongress 2014c).

I juni 2015 meddelade Honda att den nya bilen som kommer att släppas under våren 2016 kommer att få en räckvidd om 750 km och ett pris på den japanska marknaden på samma nivå som Toyota Mirai (Sakakibara 2015).

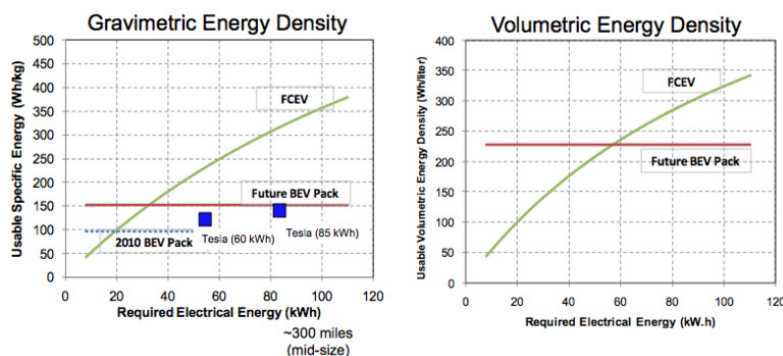
2.2.4 GM

Under rubriken "It's all about cost reduction" rapporterade GM i början av 2014 om samarbetet med Honda. Bortsett från intressanta kommentarer om behovet av att kunna göra det mesta som har med bränslecellerna att göra in-house visades nedanstående jämförelser mellan batterier och bränsleceller, se Figur 6. I diagrammen förklaras

¹ Två jämförelser med historiken: Vätgasandelen om 5,7 viktprocent är en bit från det mål till 2015 om 9 viktprocent som sattes upp i FreedomCAR and Fuels Partnership. Toyota håller tidtabellen men är kostnaderna/priserna "shocking"? (jämför citat från 2009 ovan)

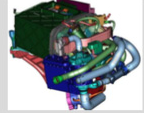
att det är ett linjärt förhållande mellan mängden energi som man vill ha med och vikten eller volymen för korresponderande batteristorlek. Så är det inte för bränsleceller där bara tanken måste göras större för att öka mängden energi (GreenCarCongress 2014a).

Electrification with Li-ion Battery or Fuel Cell System



Figur 6: Energi och energitäthet (GM)

I början av 2015 rapporterade GM ånyo om utvecklingen i samarbete med Honda. En del av samarbetet innefattar att paketera bränslecellssystemet på ett sådant vis att det får plats i många olika fordonsplattformar. I Figur 7 illustreras några av de mål som har satts upp till 2020.

	Equinox Fuel Cell	Gen1	GM Gen 2 Target
			
Net Power	93 kW	85-92kW	80 - 95
Max Excursion T	86C	95C	Target - 105C
Durability	1500-hrs	150K mi → 8,450 hrs, 12yrs	150K mi → 8,450 hrs, 12yrs
Cold Operation	-25C	-40C	-40C
Mass	240 Kg	~120 Kg	< 105 kg
Stack	Composite 80g Platinum / FCS	Stamped Stainless Steel ~30g Platinum / FCS	Ferritic Steel ~11g Platinum/FCS
Design Integration	Semi-Integrated	Highly Integrated for Thermal Performance	Integrated FCS design capable of packaging in multiple platforms
Cost	\$\$\$\$\$	\$\$\$	\$\$

Figur 7: GMs (och Hondas) bränslecellsutveckling

2.2.5 Volkswagen

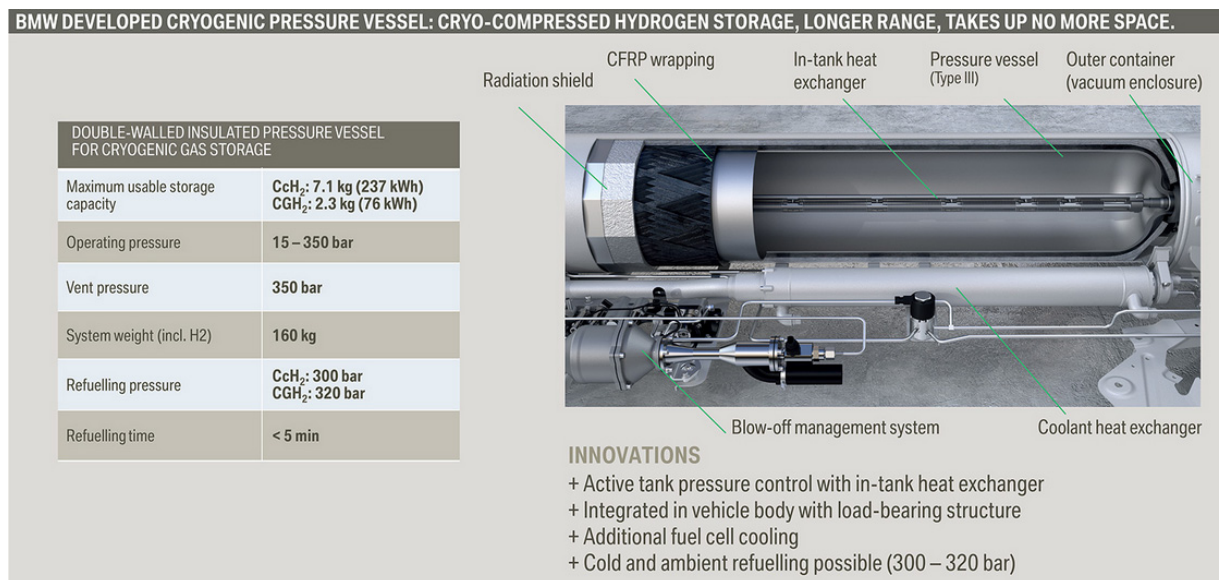
I slutet av 2014 visade Volkswagengruppen upp tre bränslecellsfordon, varav två (Golf och Passat HyMotion) har ersatt förbränningsmotorn i en hybridbil med bränsleceller och en (Audi A7 Sportback H-tron) har en drivlina typ laddhybrid med batteri som räcker för 50 km körning och dessutom en fullstor stack med bränsleceller (GreenCar-Congress 2014e).

2.2.6 Mercedes-Benz

I början av 2015 presenterade Mercedes-Benz ett nytt konceptfordon F 015 Luxury som kombinerar bränslecellsdrift med förarlöshet. Det är en laddhybrid med sammanlagd räckvidd om 1 100 km och fordonet har säkert många spännande lösningar men kostnaderna är knappast adresserade (GreenCarCongress 2015a).

2.2.7 BMW

Sommaren 2015 presenterade BMW en rad eldrivna fordon, bland dem en bränslecells-bil baserad på 5-serien. Stacken hämtas från samarbetet med Toyota medan vätgastankarna är BMWs med möjlighet att lagra vätgasen såväl komprimerad som kraftigt nedkyld. Räckvidden uppges till över 500 km, vilket inte borde vara något bekymmer med 7,1 kg vätgas, jämför Figur 8 (GreenCarCongress 2015c).²



Figur 8: Vätgaslagring modell BMW (källa: <http://www.bmwblog.com/2015/07/02/bmw-prototype-with-hydrogen-fuel-cell-first-drive/>)

² Jämfört med Toyotas tank lagrar BMWs mindre, trots att vätgasen är nedkyld (4,4 att jämföra med 5,7 viktsprocent)

3 Kostnadsanalyser

Huvudfrågan att besvara för en kostnadsanalys är om det finns en realistisk chans att den tänkta tekniska lösningen kommer att bli tekno-ekonomiskt konkurrenskraftig. För biltillverkaren och leverantörer i olika led är detta givetvis en avgörande faktor att beakta vid beslut om inriktningen på framtida utvecklingssatsningar. För offentliga aktörer är det därutöver viktigt att kunna följa upp och bedöma i vilken utsträckning som offentligt stöd av olika karaktär kan behövas för att stimulera en marknadsintroduktion. Därför görs inte sällan kostnadsanalyser i kombination med olika scenarier.

Kanske främst i amerikanska branschprogram sätts relativt detaljerade prestanda- och kostnads mål upp för vald teknik. Dessa mål kan sedan brytas ner i olika delar och användas för uppföljning av teknikutvecklingen. En fördel med dylika målbilder är att de ger en bred förankring och att många nyckelantaganden som antal fordon att tillverka, effektklass och annat dokumenteras och tjänar som gemensam grund för olika analyser.

I detta kapitel görs ett försök att kortfattat men rättvisande återge några av de kostnadsanalyser som har gjorts på temat bränslecellsfordon. I efterföljande kapitel diskuteras sedan resultaten och metoderna.

3.1 STRATEGIC ANALYSIS

Amerikanska Department of Energy (USDOE) har sedan 2006 finansierat kostnadsanalyser på bränslecellsområdet. Projektledare har företaget Strategic Analysis varit sedan 2011 och uppdragen har genomförts i samarbete med bland andra Argonne National Laboratories. Det finns i princip en rapport för varje år och stor vikt läggs vid att förklara vad som har ändrats mellan respektive år.

Table 1. Current Status and US DOE Goals for Hydrogen Fuel Cell Vehicles

	<i>2013 Status</i>	<i>USDOE Goals</i>
Fuel Cell In-Use Durability (hours)	2500 (on-road) 4000 (in lab)	5000
Vehicle range (miles/tank)	280-400	300
Fuel Economy (miles/kg H ₂)	72 ³	60
Fuel Cell Efficiency	53-58%	60%
Fuel Cell System Cost (\$/kW) in large scale mass production ⁴	55	40 (2020 goal) 30 (long term goal)
H ₂ Storage Cost (\$/kWh)	15-23	10-15 (NRC 2009) 2-4 (USDOE)

Source: S. Satyapal, United States Department of Energy, presentation 2013.

Figur 9: USDOEs mål för bränslecellsbilar

Kostnadsanalysernas struktur bygger på de mål som har satts upp för systemet och dess delar, jämför Figur 9. Metodiken kallas för Design for Manufacturing and Assembly, DFMA. Den används exempelvis även av Ford Motor Company.

För varje del studeras om möjligt tillverkningsprocesserna i detalj och nödvändiga antaganden görs, exempelvis avseende materialkostnader. Dialog förs med intressenterna om hur tekniken kommer att utvecklas. Det betonas att det inte är en specifik tillverkarens bränslecellssystem som blir resultatet utan en mix där det bästa från respektive håll sätts samman i en fiktiv produkt. Omfattningen är bara bränslecellsstacken och balance of plant, vätgaslagret räknas inte med och inte heller batterier och elmaskiner.

För varje del eller delsystem räknas kostnaden ut för olika tillverkningskvantiteter, från 1 000 till 500 000 enheter i årstakt. För vissa delar sjunker kostnaden med mer än en tiopotens vid ökning från 1 000 till 500 000 enheter medan för andra delar är skillnaden mycket mindre, kanske en halvering. Delvis beror detta på att stacken redan är modular, dvs. redan för en komplett stack behövs det flera hundra bipolära plattor.

Modeller för samband mellan mängd katalysatorsubstans, tryck, temperatur och annat formuleras och finjusteras efterhand som ny kunskap inkommer. Med hjälp av dessa samband görs Monte Carlo simuleringar för att hitta bästa möjliga kombinationer av de olika parametrarna. En Monte Carlo simulering bygger på att ett mycket stort antal möjliga kombinationer slumpas fram för att på det viset se hur variationerna påverkar slutresultatet.

I 2011 Update är skillnaderna inte så stora jämfört med föregående år utan det handlar mest om en uppdatering av kalkylerna. Bland resultaten märks att optimal mängd platina nu är på en sådan nivå att det inte längre är någon dominerande kostnadsfaktor (James et al 2012).

I 2012 Update inkluderas bränslecellssystem för bussar i analysen. De antas använda två bilstackar och högre mängd katalysator för att få bättre livslängd men i många avseenden är systemen mycket lika. Ytterligare viktig skillnad är produktionsvolymen, man räknar med en årsvolym om 1 000 bussar (James & Spisak 2012).

USDOE tillsammans med relevanta grupperingar som finns i USA, exempelvis U.S. DRIVE Fuel Cell Technical Team, gör inspel till kostnadsanalyserna. Ett viktigt sådant beskrivs i DOE (2014). Kontentan av dokumentet är att analysen ska baseras på ett högre pris för platina, från tidigare använda 1 100 till 1 500 USD per troy ounce. Dessutom ska hänsyn tas till hur stor radiator som ryms i en bil och ett krav på ett minskat kylbehov infördes. Det minskade kylbehovet kan mötas genom högre verkningsgrad och/eller högre arbetstemperatur. De nya kraven infördes även retroaktivt i tidigare kalkyler för att skapa jämförbarhet och i Figur 10 visas nya och gamla kostnadsresultat fram till 2013.

I samma dokument berörs också skiftet från 30 USD/kW som var det tidigare målet till 40 USD/kW som är det nya målet fram till 2020. Det framhålls att redan vid 40 USD/kW kan bränslecellsfordon vara konkurrenskraftiga ur ett livscykelperspektiv men att en ytterligare kostnadsreduktion till 30 USD/kW fortfarande är önskvärd för att maximera konkurrenskraften.

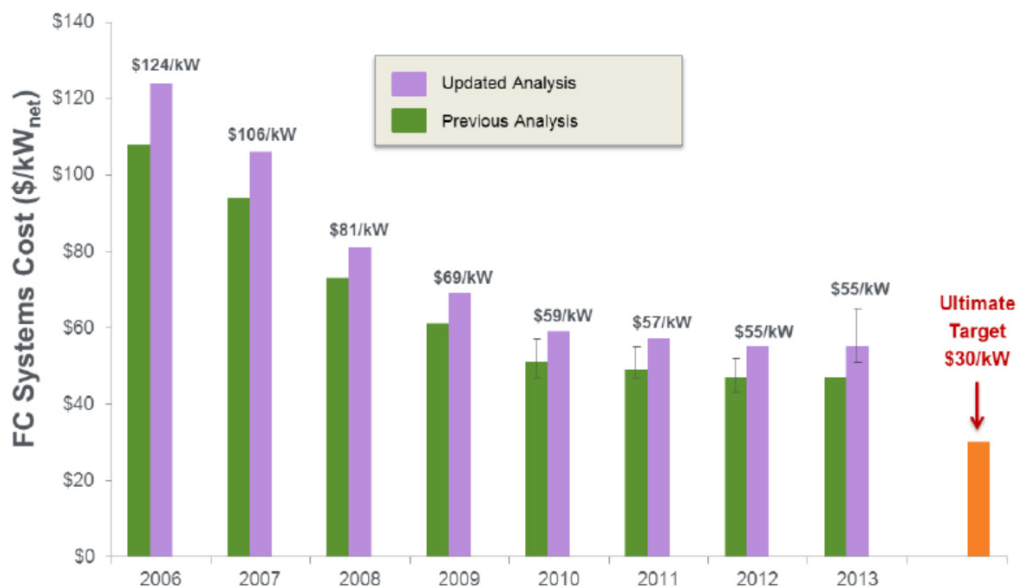
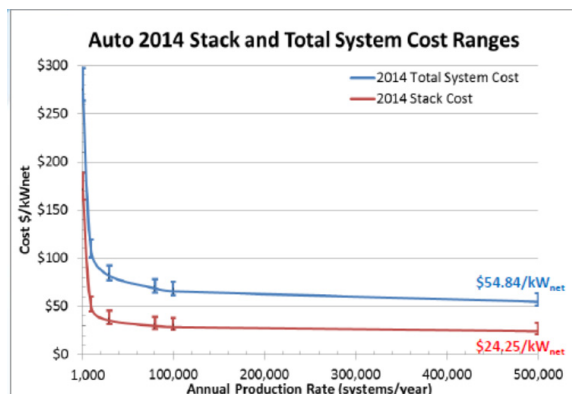


Figure 2. Modeled cost of an 80-kW_{net} PEM fuel cell system based on projection to high-volume manufacturing (500,000 units/year). Reported values from prior year cost estimates were adjusted to account for the higher platinum price, the realigned compressor and expander efficiencies, and the Q/ΔT requirement introduced in 2013.

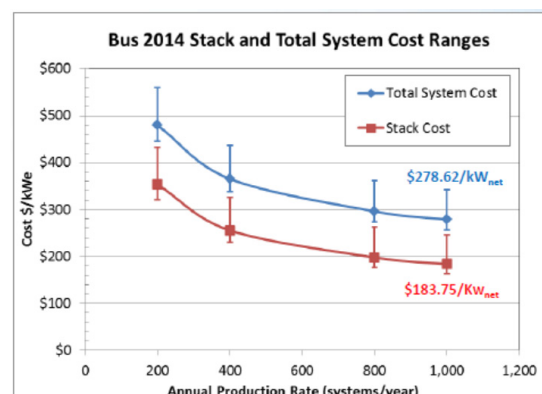
Figur 10: Kostnadsutvecklingen med nya och gamla antaganden (DOE 2014)

I 2013 Update används högre arbetstemperatur i stacken för att hantera begränsningar i kylkapaciteten. Kostnaden hamnar enligt Figur 10 på cirka 55 USD/kW. Det förs en diskussion om hur stor del av systemen som görs in-house respektive köps in. Slutsatsen är att medan en mycket stor del av bränslecellssystemet till personbilen görs in-house så är det annorlunda för busstillverkaren, som köper merparten av bränslecellssystemet från olika leverantörer (James et al 2014).

I den senaste tillgängliga analysen har en del kostnader justerats ned och en del upp och kontentan är att totalkostnaden 55 USD/kW kvarstår. Det diskuteras hur man ska nå från aktuella 55 USD/kW till målet för 2020 som är 40 USD/kW. De åtgärder som identifieras räcker inte hela vägen utan kvarstående kostnad anges till 43 USD/kW och det konstateras att ytterligare insatser för kostnadsreduktioner verkar behövas. Aktuella kostnader för personbilar för olika tillverkningsvolymmer framgår av Figur 11 och för bussar i Figur 12.



Figur 11: Kostnad för stack och system för bil



Figur 12: Kostnad för stack och system för buss

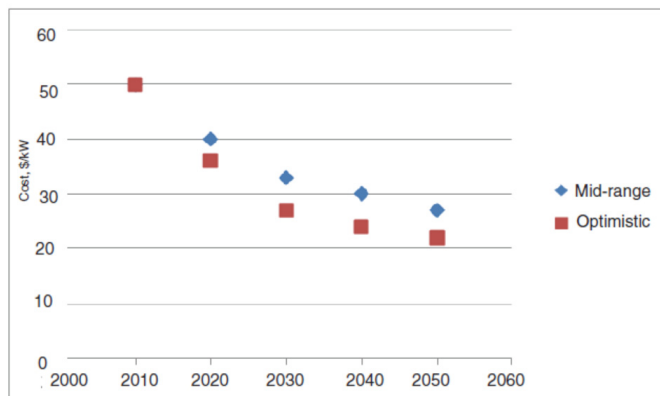
Specifikt fokus för 2014 års update är på lågvolymsstillverkning samt användning av en alternativ katalysator utan platina. Resultaten är att det kan finnas alternativa tillverkningsmetoder för några av delarna för små volymer. Den alternativa katalysatorn har i sig låg kostnad men då den ger sämre effekttäthet blir totalkostnaden ändå högre. I kalkylerna framgår det att katalysatorn med platina utgör cirka 20 procent av kostnaden för bränslecellssystemet.

I presentationen görs också jämförelse med en "Commercial FCEV", vilket att döma av siffrorna är Toyota Mirai. Många av de parametrar som kostnadsanalysen baseras på är snarlika de som gäller för Toyotan men i en del avseenden finns det skillnader. En del skillnader bedöms göra Toyotas lösning dyrare, exempelvis bipolära plattor av titan och en arbetstemperatur så låg som 80 grader Celsius medan elimineringen av fuktenheten och en större kylkapacitet än vad USDOE satt som mål bidrar till att sänka kostnaden för bränslecellssystemet.

2014 års update har inte publicerats i sin helhet ännu utan beskrivningen ovan baseras på en powerpointpresentation. Författarna konstaterar också att biltillverkarna blir alltmer hemlighetsfulla (James 2015).

3.2 TRANSITIONS TO ALTERNATIVE VEHICLES AND FUELS (NRC 2013)

Rubricerad rapport utgör en omfattande sammanställning och analys av utvecklingen för olika slags fordon, inklusive bränslecellsbilar. Mycket av underlagen hämtas från studier beställda av USDOE. De olika uppgifterna värderas och leder till resultat som utgör kommitténs bedömning. I Figur 13 visas kostnadsutvecklingskurvor för optimistiska respektive genomsnittliga bedömningar och det kan konstateras att de uppsatta målen om 40 respektive 30 USD/kW för bränslecellssystemet verkar troligen kunna nås före 2020 respektive 2040.



Figur 13: Kostnad för bränslecellssystemet (NRC 2013:33)

Även kostnaden för vätgastankar redovisas, se Tabell 1. Kostnaden per kg lagrad vätgas minskar inte så mycket men kostnaden för tanken minskar en del tack vare förväntningar om högre energiverkningsgrad.

Tabell 1: Kostnad för vätgaslagring (NRC 2013:34)

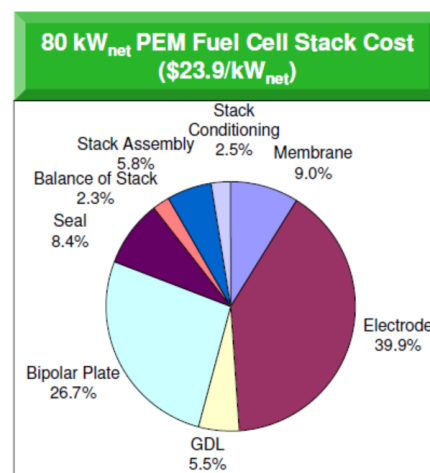
	2010	2020	2030	2050
Midrange				
Capacity (kg)	5.5	4.6	3.8	2.8
Cost (\$)	3,453	3,031	2,402	1,618
\$/kg-H ₂	628	659	632	578
\$/kWh	19	20	19	17
Optimistic				
Capacity (kg)	5.5	4.4	3.3	2.4
Cost (\$)	3,453	2,938	2,055	1,326
\$/kg-H ₂	628	668	623	553
\$/kWh	19	20	19	16

3.3 AUSTIN POWER ENGINEERING

Hösten 2013 presenterade Austin Power Engineering resultaten av en kostnadsstudie som de gjort (Yang 2013). Studien baseras till stor del på samma parametrar som de som redovisats ovan (James et al 2014) men tillvägagångssättet skiljer något. Dessutom täcker denna studie en större del av drivlinan, nämligen stack, balance of plant, vätgaslager och ett hybridbatteri.

De fyra stegen i analysen är teknologiutvärdering, tillverkningskostnadsmodeller, scenarios samt verifiering och validering. Presentationen handlar främst om tillverkningskostnadsmodellerna. De förefaller omfatta alla delar från investeringar i tillverkningsutrustning till kostnader för material och löner. För varje komponent redovisas hur den tillverkas och kostnader för de olika momenten. När det väl har gjorts summeras delarna. Nedan visas som ett exempel hur kostnaden för bränslecellsstacken byggs upp.

Stack Components	Stack Manufacturing Cost (\$/kW)	Comments
Membrane	\$2.14	PFSA ionomer (\$80/lb)
Electrode	\$9.51	3M NSTFC
GDL	\$1.30	No-Woven carbon paper
Bipolar Plate	\$6.36	Nitrided metallic plates
Seal	\$2.00	Viton
BOS	\$0.55	Manifold, end plates, current collectors, insulators, tie bolts, etc.
Final Assembly	\$1.40	Robotic assembly
Stack Conditioning	0.60	2 Hours
Total stack²	23.85	

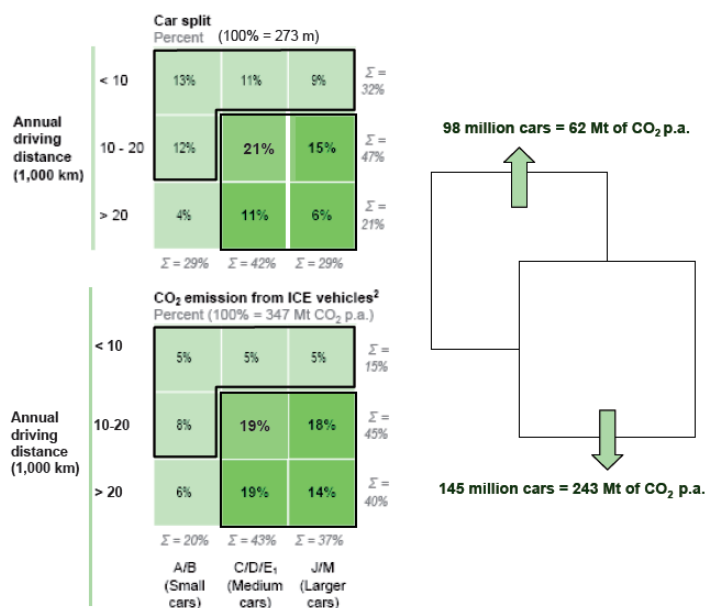


Kostnaden för bränslecellssystemet anges till 53 USD/kW. En enhet kostar därmed 4 256 USD. Vätgastanken med kapacitet att leverera 5,6 kg vätgas kostar enligt analysen 3 028 USD och litiumjonbatteripaketet (40 kW och 1,2 kWh) kostar 1 034 USD. Sammanlagt indikerar studien en totalkostnad för dessa delar på 8 318 USD per bränslecellsfordon (vid en tillverkningsvolym om 500 000 enheter).

3.4 A PORTFOLIO OF POWERTRAINS (MCKINSEY 2010)

I denna rapport framtagen av McKinsey & Co som publicerades 2010 görs ett försök till helhetsgrepp om hur fordonsflottan i EU kan utveckla sig till 2050 avseende ekonomi och utsläpp. Metodiken bygger på att data från de 30 medverkande aktörerna (de allra flesta bil- eller energiföretag) samlas in som ger en bild av hur kostnader och prestanda utvecklas för tidsperioden 2010 till 2020. För tidsperioden fram till 2050 utvecklar sig sedan data i linje med förväntade lärkurvor och årliga förbättringar. Denna forecasting kombineras med en backcasting från tre olika scenarier som lett till tre olika fordonsmixer för EU år 2050. Det betonas att metodiken inte bygger på att plocka rassin ur kakan utan att den snarare är baserad på medelvärden.

Fordonsflottan grupperas i fyra till fem drivlinor (ICE diesel/bensin, PHEV, BEV och FCEV) och fem till sju fordonssegment. Resonemang förs om vilka tillämpningar som passar för respektive drivlina och Figur 14 visar hur fordonsantal och utsläpp fördelar sig över olika storlekar och årliga körsträckor. En slutsats av denna bild är att en stor del av utsläppsbesparingarna görs i rutorna nere till höger i respektive figur.



Figur 14: Sammansättning av europeisk fordonsflotta (McKinsey 2010:32)

Rapporten är förhållandevis utförlig avseende vätgasens tillverkning och distribution med studier av nio olika sätt att producera vätgas och dessutom flera olika distributionsmetoder. Även här är ansatsen att vätgasen som levereras kommer att bygga på en mix av olika tillverknings- och distributionsmetoder.

Resultaten av studien levereras i första hand som totalkostnader, se Figur 15 för 2020 och Figur 16 för 2050. Liknande matris ges även för 2030. I Figur 16 går det exempelvis att utläsa att baserat på Total Cost of Ownership (TCO) är bränslecellsfordon konkurrenskraftiga i de större fordonsklasserna. TCO beräknas för 15 års livslängd och 12 000 km per år.

EUR thousands

EXCLUDING ALL TAXES

2020

A/B Segment	Vehicle	Purchase price	Maintenance	Fuel cost ¹	Infrastructure ²	TCO
	FCEV	20.0	2.8	4.6	2.2	29.6
	BEV	16.9	2.3	2.8	2.5	24.5
	PHEV	14.7	2.9	3.3	1.4	22.3
	ICE - gasoline	11.3	3.0	3.7	0.5	18.5
	ICE - diesel	11.3	3.0	3.7	0.4	18.4
	C/D Segment	Vehicle	Purchase price	Maintenance	Fuel cost	Infrastructure
FCEV		30.9	4.5	5.6	2.7	43.8
BEV		28.9	3.7	3.4	2.5	38.5
PHEV		26.8	4.9	3.8	1.4	36.9
ICE - gasoline		21.4	5.5	4.7	0.6	32.3
ICE - diesel		21.9	5.7	4.7	0.5	32.8
J Segment		Vehicle	Purchase price	Maintenance	Fuel cost	Infrastructure
	FCEV	38.9	5.6	6.9	3.3	54.8
	BEV	41.0	5.4	4.2	2.5	53.1
	PHEV	37.0	6.7	5.1	1.4	50.2
	ICE - gasoline	28.5	7.1	6.2	0.8	42.5
	ICE - diesel	29.5	7.5	6.5	0.7	44.1

¹ Includes production and distribution cost

² Includes retail cost

NOTE: Assuming 15 year lifetime, annual driving distance of 12,000 km, no tax (e.g., fuel excise, VAT)

SOURCE: Study analysis

Figur 15: Kostnadsuppskattning för olika drivlinor och fordonsklasser år 2020 (McKinsey 2010:40)

EUR thousands

EXCLUDING ALL TAXES | 2050

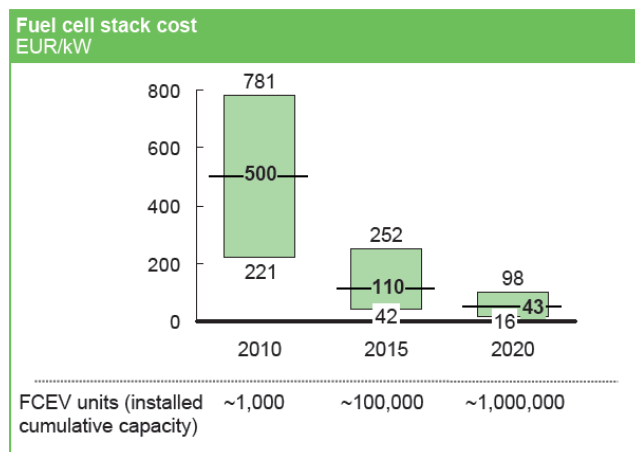
	Vehicle	Purchase price +	Maintenance +	Fuel cost ¹ +	Infrastructure ² =	TCO
A/B Segment	FCEV	14.3	2.3	3.7	1.0	21.4
	BEV	13.4	2.2	2.4	2.5	20.5
	PHEV	12.8	2.8	3.5	1.4	20.5
	ICE - gasoline	10.8	2.9	4.6	0.5	18.8
	ICE - diesel	11.0	2.9	4.6	0.4	18.9
C/D Segment	FCEV	23.7	4.0	4.0	1.1	32.8
	BEV	23.5	3.5	2.8	2.5	32.3
	PHEV	23.5	4.8	3.6	1.4	33.3
	ICE - gasoline	20.5	5.1	5.8	0.6	32.0
	ICE - diesel	21.2	5.4	5.8	0.5	32.9
J Segment	FCEV	30.4	5.0	4.6	1.3	41.4
	BEV	33.3	5.1	3.4	2.5	44.3
	PHEV	32.6	6.6	5.1	1.4	45.7
	ICE - gasoline	27.9	6.9	7.7	0.8	43.2
	ICE - diesel	28.7	7.2	8.0	0.7	44.6

¹ Includes production and distribution cost² Includes retail cost

NOTE: Assuming 15 year lifetime, annual driving distance of 12,000 km, no tax (e.g., fuel excise, VAT)

Figur 16: Kostnadsuppskattning för olika drivlinor och fordonsklasser år 2050 (McKinsey 2010:41)

Bland de underliggande resultaten kan vätgaskostnaden nämnas, den skattas till 5,3 EUR/kg år 2030 och 4,5 EUR/kg år 2050. Kostnaden för bränslecellsstacken år 2020 vid tillverkningsvolym om en miljon enheter uppskattas till cirka 43 EUR/kW, se Figur 17. Total drivlinekostnad inklusive vätgastank anges till 14 526 EUR. Dock framgår det inte hur stor effekt som respektive fordonsklass utrustas med.

**Figur 17: Kostnad för bränslecellsstacken (McKinsey 2010:60)**

3.5 CARBON TRUST

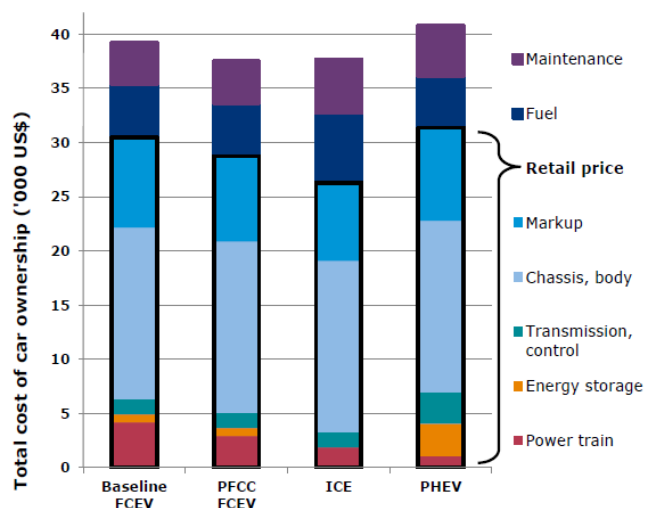
Denna studie från Carbon Trust (2012) tillför inte så mycket till ovan refererade studier då den i stor utsträckning upprepar deras resultat. I synnerhet hänvisas det mycket till McKinsey (2010). Syftet med rapporten är att påvisa hur fyra utvalda bränslecellsutvecklingsprojekt finansierade inom ramen för Polymer Fuel Cells Challenge kan bidra till bättre miljö globalt och bättre affärer i Storbritannien.

Målkostnad för bränslecellssystemet är satt till 36 USD/kW med motiveringen att det gör FCEVs konkurrenskraftiga med förbränningsmotorbilar enligt de totalkostnadskal-
kyler (TCO) som Carbon Trust har låtit göra. Enligt rapporten kostar bränslecellsbilar
år 2012 över USD 120 000 och enligt de analyser som bland andra Austin Power Engi-
neering har medverkat i är förväntad kostnad för bränslecellssystemet vid storskalig
tillverkning efter år 2030 cirka 49 USD/kW.

Kalkylerna utgår från ett högre platinapris än flera andra studier; 1 600 USD/troy oz.
Detta motiveras med marknadsprisets utveckling, se Figur 18.



Figur 18: Prisutveckling för platina (Carbon Trust 2012:13)



Figur 19: TCO för olika drivlinor (Carbon Trust 2012:15)

I Figur 19 visas hur TCO för 15 år väntas se ut för olika fordonstyper, inklusive den 'PFCC FCEV' som ska bli resultatet av de presenterade projekten. Tidshorisonten är inte exakt angiven, det handlar om utvecklingen på lång sikt.

Tabell 2: Marknader för bränsleceller (Carbon Trust 2012:23)

	Market share (%)	2050 deployment (GW)	2050 market value (\$bn)
Cars	34%	58,580	261
Buses	36%	310	16
Materials handling	93%	210	4
Domestic CHP	18%	260	8
Commercial CHP	26%	145	4
Telecom UPS	70%	15	0.4
Gensets	83%	345	13

Slutligen ger rapporten en indikation på andra tillämpningar för polymerbränsleceller vid sidan av fordonstillämpningarna, se Tabell 2. Att döma av dessa siffror framstår det som mycket relevant att studera tillämpningar i fordon.

3.6 STATUS AND PROSPECTS

Greene och Duleep (2013) baserar studien på litteratur samt intervjuer med biltillverkare och organisationer. Rapporten framstår i en del avseenden som mer grundlig än flertalet övriga, exempelvis redovisas samtliga kostnader för bränslecellsfordonet liksom för ett förbränningsmotorfordon. Den stannar dock vid kostnaden för fordonet från fabrik respektive i bilhallen och avstår från att skatta totalkostnaden för användaren och ägaren.

I Tabell 3 ges resultatet av författarnas sammanvägning av uppgiftslämnarnas data. En del data är av konfidentiell natur, varför samtliga underlag inte redovisas. Enligt författarna motsvarar en kostnad om 37 000 USD ett pris till kund på cirka 55 000 USD.

Tabell 3: Kostnader för bränslecellsfordon (Greene & Duleep 2013:22)

Cost in \$	2016 (200K/yr)	2020+ (200K/yr) without breakthrough	2020+ (200K/yr) with technology breakthrough
Fuel cell stack (85 kW)	15,150	13,650	7,575
Hydrogen storage (5 kg)	5,300	4,750	3,500
Battery (35 kW, 2 kWh)	1,300	975	975
Electric Motor/Inverter/Drive (110 kW peak, 60kW continuous)	3,150	2,825	2,400
Gearbox	350	350	350
Total Power-train	25,250	22,550	14,800
Electric HVAC/Regen. Brakes (incremental)	750	650	650
Glider (constant weight)	11,000	11,000	11,000
Total FCV cost	37,000	33,200	26,300

En studie av kostnader för vätgastankar refereras också, se Tabell 4. Den resulterande kostnaden om cirka 3 350 USD för lagring av 5,6 kg vätgas vid 700 bar bekräftades som möjlig om än optimistisk i intervjuerna med biltillverkarna.

Tabell 4: Kostnader för vätgastank 350 och 700 bar (Greene & Duleep 2013:19)

On-board System Cost Breakout – Compressed Gas	Type IV 350-bar Base Case			Type IV 700-bar Base Case		
	Material, \$	Processing, \$	Processing Fraction	Material, \$	Processing, \$	Processing Fraction
Hydrogen	\$18	(purchased)	-	\$18	(purchased)	-
Compressed Vessel	\$2,193	\$102	4%	\$2,681	\$119	4%
Liner & Fittings	\$20	\$11	34%	\$14	\$10	43%
Carbon Fiber Layer	\$2,111	\$83	4%	\$2,619	\$102	4%
Glass Fiber Layer	\$30	\$7	18%	\$23	\$6	21%
Foam	\$32	\$2	5%	\$25	\$1	5%
Regulator	\$160	(purchased)	-	\$200	(purchased)	-
Valves	\$226	(purchased)	-	\$282	(purchased)	-
Other BOP	\$130	(purchased)	-	\$155	(purchased)	-
Final Assembly & Inspection	-	\$36	-	-	\$36	-
Total Factory Cost	\$2,727	\$138	5%	\$3,334	\$156	4%

3.7 A COST BENEFIT ANALYSIS OF FUEL CELL ELECTRIC VEHICLES

Rapporten bygger vidare på McKinsey (2010) genom att studera samhällsekonomiska kostnader och intäkter associerade med ersättandet av förbränningsmotorbilar med bränslecellsbilar. Tyska marknaden väljs som exempel och en utgångspunkt för valet av utvecklingskoefficienter verkar vara att kostnaderna för de olika fordonstyperna ska konvergera mot 2050, vilket är i linje med budskapet i McKinsey (2010).

Kalkylen antar att fordonspopulationen i Tyskland består av förbränningsmotorbilar och bränslecellsbilar och att de senare säljs i ökande antal från 2015 och framåt. Kostnader för fordon, drivmedel, service och vätgasinfrastruktur beräknas och det konstateras att kring 2042 blir TCO för att använda bränslecellsfordon lägre än för förbränningsmotorfordon. Det konstateras att den petroleumskatt som ersättandet av fossila drivmedel med vätgas leder till summerar till att betydande belopp kommer in till statskassan.

Slutligen jämförs den ackumulerade merkostnaden för bränslecellsfordon med de koldioxidbesparingar som Tyskland med antagen drivmedelsmix gör. Slutsatsen blir att kostnaden per ton koldioxid gör det försvarbart att verka för en introduktion av bränslecellsfordon (Creti et al 2015).

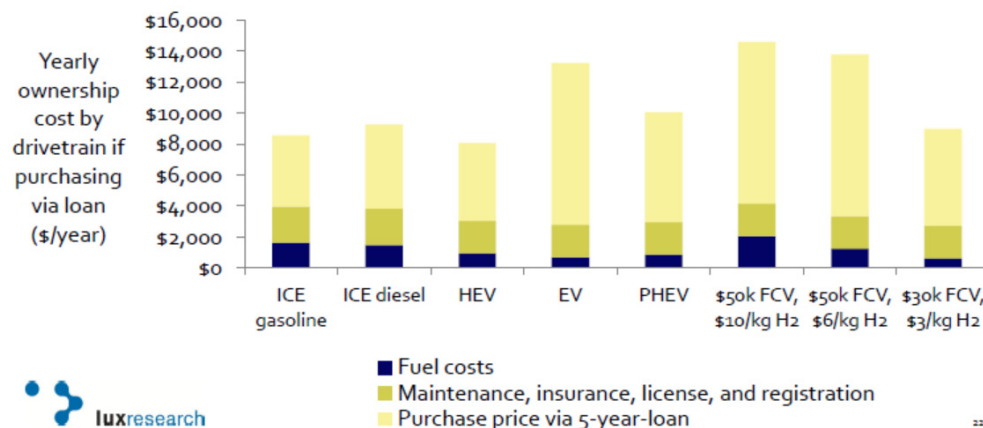
3.8 FUEL CELL COST ANALYSIS SUMMARY (IPHE)

Denna översikt från 2008 gjord av International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells jämför kostnadsläget och kostnadsprognoser mellan USA, Kina, Japan och Sydkorea. De amerikanska siffrorna är de som presenterats ovan under 3.1. Jämförelsen visar på mycket stora skillnader i målbilderna till 2015, från USAs 30 USD/kW till Japans 110 USD/kW. Skillnaden i skattningen av kostnaden i dagsläget, under antagande om en tillverkningsvolym på 500 000 enheter är också ganska stor med Sydkorea på 66, USA på 73 och Kina på 130 USD/kW (IPHE 2008).

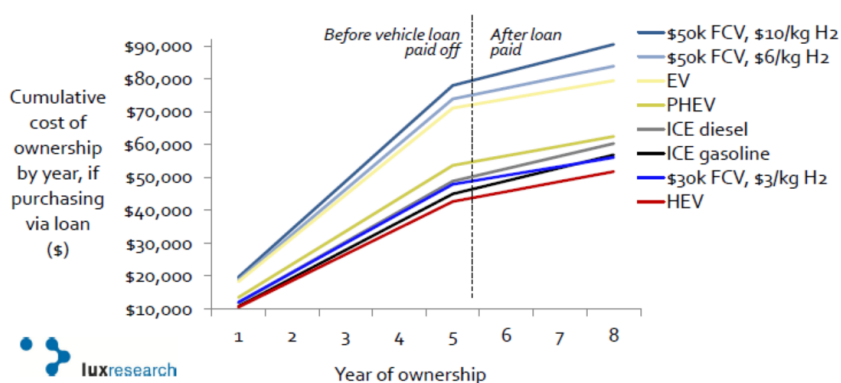
3.9 HYDROGEN UNDER PRESSURE

Lux Research i Kalifornien går igenom läget på bränslecellsbilsfronten med slutsatsen att det inte är troligt att många sådana bilar kommer ut på vägarna, inte i närtid i alla

fall och kanske aldrig (Laslau & See 2014). Författarna gör en relativt enkel och illustrativ kostnadsanalys på temat TCO med resultat enligt Figur 20. Bland bakomliggande antaganden ingår bland annat en årlig körsträcka om 13 500 miles. Två olika inköpspriser för bränslecellsbilarna ansätts, liksom tre olika kostnader för värtgasen.



Figur 20: Årlig TCO för olika fordonstyper (Laslau & See 2014:22)



Figur 21: Kostnadsutvecklingen (TCO) över tid (Laslay & See 2014:23)

Figur 20 och Figur 21 visar att endast om bränslecellsbilen säljs för 30 000 USD så är den konkurrenskraftig med alternativen. En jämförelse görs med de leasingerbjudanden som finns om cirka 500 USD per månad och kostnaden för användaren är i dessa fall klart mindre än vid köp av bränslecellsbilen till priset 50 000 USD. Mellanskillnaden får den som leasar ut fordonet ta, dvs. normalt sett biltillverkaren.

3.10 THE HYDROGEN TRANSITION (UC DAVIS)

Rapporten söker besvara frågan om det är troligt att bränslecellsbilar snart kommer ut i större antal, givet att det har funnits en del besvikelser tidigare på området (Ogden et al 2014). Slutsatsen är nog ett försiktigt ja, mycket grundat i biltillverkarnas envisa engagemang på området. Kostnadsanalyserna upprepar till stor del det som USDOE kommunicerat (jämför avsnitt 3.1). Författarna kombinerar ett scenario över introduktionstakten för olika eldrivna fordonsalternativ med de skalfördelar som volymerna ger över tiden, dvs. om antalet bränslecellsbilar som tillverkas år 2015 är 1 000 så räknar

författarna då med tillverkningskostnaden för denna volym. Resultatet av dessa beräkningar framgår av Figur 22. Bilpriserna konvergerar snabbt för att vara ungefär lika år 2030.

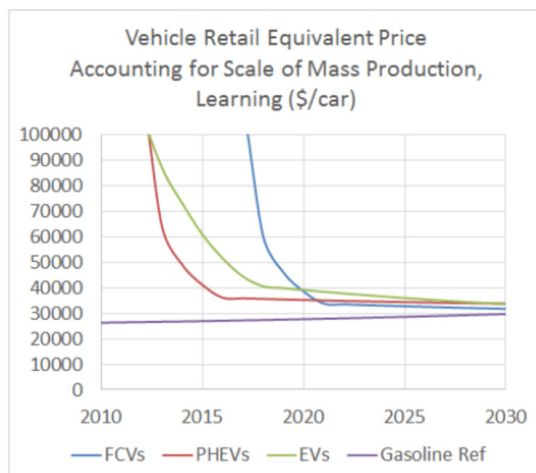


Figure 6. Vehicle retail price equivalent over time based on Figure 5, but accounting for early scale dis-economies at low levels of mass production. By the early 2020s the alternative fueled vehicles have reached mass-production volumes and learned out RPEs (Figure 4). The RPE is not the same as the showroom price of the vehicle, which can include marketing strategies such as "forward pricing" to build sales (Ogden, Fulton and Sperling, 2014).

Figur 22: Försäljningspriset för olika drivlinor (Ogden et al 2014:14)

3.11 ENERGY SAVING AND COST PROJECTIONS

Denna artikel av Burke & Zhao (2012) från UC Davis räknar ut vad som krävs för olika helt eller delvis elektriskt drivna fordon ska vara konkurrenskraftiga. Med avseende på bränslecellsfordon indikerar studien att konkurrenskraft nås vid kostnader för bränslecellssystem i häradet 30 – 50 USD/kW och vätgaspriser om 2,5 – 3,0 USD/kg.

3.12 KOSTNADSUTVECKLING HOS BATTERIER OCH BRÄNSLECELLER

Analysen fokuserar på batterikostnader och behandlar bränsleceller relativt kortfattat. Författarnas tolkning av budskapet i valda källor är att det råder ganska stor osäkerhet avseende framtida bränslecellskostnader. Tidshorisonten för studien är fram till 2025 och resultatet är att bränsleceller då kommer att kosta mellan 23 – 45 USD/kW (Bergman et al 2013).

4 Intervju med Hyundai

I april 2015 intervjuades Sae Hoon Kim. Han har under flera år varit sammanhållande för utveckling och prov med Hyundais bränslecellsfordon och har således både bra grepp om hur bilarna fungerar i praktiken och hur de är byggda. På visitkortet har han titeln General Manager Fuel Cell Engineering Design Team.

Sae Hoon berättade att Hyundai nu har levererat cirka 250 fordon i 13 länder med start 2013 i Europa och 2014 i USA och Korea. Kostnaderna har sjunkit och så även priserna, från att ha begärt 145 000 EUR är prislappen nu 65 000 EUR. I USA erbjuds endast leasing om 499 USD/månad, inklusive vätgas. Bilarna får inte säljas vidare utan ska returneras till Hyundai. Detta eftersom teknikutvecklingen går för fort för att det ska gå att hålla reservdelar de 15 år som annars krävs. Tekniken i fordonen baseras på lösningar som togs fram 2010 till 2012. Dock uppdateras mjukvaran i fordonen fortlöpande och det har mycket stor påverkan på livslängden. Genom till synes små justeringar i styrningen av systemet uppnås ordentligt förbättrad livslängd.

Nästa fordon kommer att vara en dedicerad bränslecellsbil och energitätheten i stacken blir på 4 – 5 kW/l. Garantin ska bli på 10 år eller minst 150 000 km.

Fokus för intervjun var kostnadsuppskattningar och det framgick tydligt att detta inte är någon större svårighet för honom. Med tanke på att Hyundai är den första tillverkaren som börjat 'serietillverka' fordon är konstruktionen sedan länge fastställd i flertalet avseenden. Produktkalkyler görs för alla fordon så det finns detaljerad kunskap om vad bilen kostar att tillverka.

För de komponenter och delsystem som är specifika för bränslecellsfordonet krävs det en del skattningar av hur kostnaderna ter sig för olika volymer. Sådana görs normalt genom att jämföra med snarlika komponenter där man vet hur kostnaden utvecklats när volymerna ökas. Ofta görs kostnadsbedömningen i dialog med en eller flera leverantörer. Uppgifter begärs dels om styckepriiset för olika kvantiteter, dels investeringsbehovet för att tillverka dem.

Sae Hoon nämnde exempelvis att situationen för vätgastankar har förändrats ordentligt de senaste åren. Nu finns det flera leverantörer att välja bland bara i Sydkorea och priserna utvecklar sig snabbt nedåt (se exempelvis Lee et al 2015). Även på andra områden där det tidigare har funnits mycket få leverantörer, exempelvis membran, har situationen förbättrats. Dessutom har tillverkarna byggt upp kunskap om kritiska komponenter in-house. (De första bilar som Hyundai visade upp för ett antal år sedan använde bränsleceller från UTC och sedan dess har utvecklingen varit konsekvent mot ökad tillverkning in-house.)

Vi tittade igenom ett exempel på en detaljerad kostnadskalkyl (se 3.3) och Sae Hoon kommenterade de olika posterna med allt från att det verkar rimligt till att det är helt fel. Kalkylen är ett par år gammal vilket ju borde vara ungefär samtida med när Hyundai tvingades välja konstruktionslösningar för det fordon som nu rullar på vägarna på olika platser i världen. Trots det finns det uppenbart många skillnader i hur Hyundai har konstruerat sitt bränslecellssystem och hur kalkylen tänker sig det.

Något som uppenbart var en känslig och viktig fråga för Sae Hoon var Toyotas eliminering av fuktenheten. Hyundai använder en sådan och Sae Hoon lade stor energi på att förklara för mig hur systemet fungerar och att om man avskaffar fuktenheten måste

man i gengäld lägga betydligt mer resurser på vätgaspumpen. Hyundai har i princip ingen vätgaspump men en fuktenhet och Toyota har gjort tvärtom. Helt kunde jag tyvärr inte följa resonemanget men budskapet var helt klart gungor och karuseller, dvs. att totalkostnaden inte behöver bli lägre bara för att man avskaffar fuktenheten.

En viktig händelse under senare tid för Sae Hoon var att Volkswagen nu på allvar är engagerat i utvecklingen av bränslecellsfordon.

5 Diskussion – vad kostar bränslecells bilen?

5.1 JÄMFÖRELSE OCH SAMMANVÄGNING AV RESULTATEN

Det korta och lätta svaret på frågan är att titta på vad som finns på marknaden, se Tabell 5. Om inget annat anges så omfattar dessa priser inte bara fordonet utan även fri service och fri vätgas, dvs. det ska i princip inte tillkomma några kostnader för ägande och användning av fordonet. Leasingavtalet är på tre år och utöver månadskostnaden tillkommer normalt en handpeng om ett par tre tusen USD.

Tabell 5: Bränslecellsbilar på marknaden

Fordon	Leasingpris USD per månad	Försäljningspris
Honda Clarity	600	
Hyundai ix35 FC	499	65 000 EUR
Mercedes-Benz F-Cell	599	
Toyota Mirai	499	57 500 USD
Honda FCV (namn okänt)		56 500 – 64 000 USD

Det krävs ingen avancerad matematik för att precis som Laslau & See (2014) gjort konstatera att leasingpriserna är subventionerade i jämförelse med priset vid direktförsäljning. Men sannolikt kan det åtminstone delvis förklaras med att regelverket för subventioner kan vara olika vid leasing och köp. Hyundai har också i stor utsträckning sålt till olika offentligt finansierade projekt varför köp kan ha varit nödvändigt för att fungera med reglerna. Dessutom, vilket framgår i intervjun med Hyundai, så är det inte regelrätt försäljning som har genomförts utan det har funnits krav på köparen som normalt sett inte brukar förekomma.

Då utbudet på marknaden är begränsat, minst sagt, krävs det mer detaljerade analyser för att skatta kostnaderna på de olika delarna i bränslecells bilen. Flera mer eller mindre avancerade sådana studier redovisas ovan i avsnitt 0.

En svårighet vid jämförelser av studierna är att de omfattar olika stor del av kostnaderna relaterade till bränslecellsdrift. Även i relativt ambitiösa kalkyler som exempelvis McKinsey (2010) är det ibland svårt att reda ut vad de egentligen har räknat på. Störst systemmässig omfattning har den samhällsekonomiska kostnads- och intäktsanalysen (Creti et al 2015) medan de snävaste kalkylerna, exempelvis Bergman et al (2013), inriktar sig på stacken.

Andra skillnader mellan studierna är att de varierar i tidshorisont, tänkta produktionsvolymerna samt specifikation av bränslecellssystemets effekt och tankens kapacitet.

Med detta sagt görs nedan i Tabell 6 ett försök till sammanställning av de studier som på något vis är relevanta att jämföra. Om inget annat anges avses en stack med nettoeffekt om ca 80 kW, en tank som lagrar ca 5 kg vätgas och ett hybridbatteri (effekt) om cirka 40 kW och 1 kWh. Allt vid tillverkningsvolymerna om minst 500 000 enheter per år. Vald tidshorisont är 2020, i den mån det är möjligt och fordonet är av mellanklasstorlek.

Tabell 6: Sammanställning av kostnadsanalyser för bränslecellsfordon (belopp i USD)

Referens	Stack	BOP	Vätgastank	Batteri	Fordon	TCO (15 år)
	Bränslecellssystem					
	Drivlina					
James (2015)	1 920	2 480				
	4 400					
NRC (2013)	3 200		3 000	770		
	6 970 (exkl elmaskin och växellåda)					
Yang (2013)	1 920	2 320	3 000	1 000		
	8 240 (exkl elmaskin och växellåda)					
McKinsey (2010)	3 440 EUR				30 900 EUR	43 800 EUR
	14 526 EUR					
Carbon Trust (2012)	3 920					38 000
Greene & Duleep (2013)	7 575 - 13 650		3 500 - 4 750	975 (2 kWh)	26 300 - 33 200	
	14 800 – 22 550					
Ogden et al (2014)					38 000	
Bergman et al (2013)	1 840 – 3 600					
Laslau & See (2014)						78 000 – 113 000

Att notera är att de 55 USD/kW som 4 400 USD motsvarar för bränslecellssystemet i denna jämförelse ligger ganska nära genomsnittet för de redovisade analyserna. Samtidigt ska det noteras att 55 USD är ganska långt från det som USDOE bedömt som nödvändigt för att bränslecellsfordon ska vara konkurrenskraftiga i bredare segment (40 USD/kW). Det bör också beaktas att det inte är troligt att någon fordonstillverkare är ens i närheten av att producera en halv miljon bränslecellsbilar i årstakt år 2020.

Kostnaden för hela drivlinan varierar mellan 10 000 och 22 500 USD. Med tanke på att kostnadsuppgifterna för resterande fordon förmodligen är ganska pålitliga, Greene & Duleep (2013) anger dem till 11 000 USD, så varierar alltså fordonskostnaden från 21 000 – 33 500 USD. De studier som redovisar fordonskostnaden ligger något högre men i McKinsey (2010) så faller kostnaden till 2030 så att den ligger väl i intervallet (25 700 EUR).

Det är litet förvånande att kostnaden för balance of plant (BOP) i flera fall bedöms ligga högre än kostnaden för själva stacken. Med tanke på biltillverkarnas förmåga att pressa tillverkningskostnaderna genom förenklingar och automatisering, borde BOP-kostnaderna efterhand kunna pressas mer, i synnerhet som materialkostnaderna för denna del av systemet torde vara klart lägre.

Högrelevant för om bränslecellsfordon ska få något genomslag på marknaden är totalkostnaden (TCO). Spridningen i de redovisade TCO-värdena är stor och det är förmodligen också stora metodmässiga skillnader. I dessa fall är det därför lämpligt att jämföra

TCO för respektive fordonstyp inom respektive studie. Då visar samtliga studier att TCO för bränslecellsbilen kan bli konkurrenskraftigt, åtminstone i något av valda scenarier.

Samtidigt så utgår en TCO-kalkyl från att bilköpare är rationella, vilket ju är en stor för-
enkling. Skulle TCO vara allennärådande vid bilinköp så skulle flera tillverkare förmod-
ligen få anledning att ompröva sin produktstrategi ganska ordentligt.

5.2 METODDISKUSSION

5.2.1 Förutsättningarna förändras

Så länge som bränslecellsbilar var något som möjligen hägrade i horisonten var be-
hovet av kostnadsbedömningar förmodligen mycket större än vad det är idag. Då var
också förutsättningarna för att genomföra intressanta kalkyler bättre eftersom öppen-
heten var större och den allmänna kunskapsnivån även inom industrin lägre.

I dagsläget är kalkyler av den karaktär som USDOE låter göra mer problematiska. Bil-
tillverkare som Hyundai och Toyota sitter redan på 'facit' vad deras lösning kostar att
producera och en kalkyl baserad på öppet tillgängliga data blir därmed tydligt ett
sämre alternativ. Möjligheterna att göra som Greene & Duleep (2013) och intervjua bil-
tillverkarna har förmodligen minskat rejält även om det givetvis kan finnas ett intresse
från olika håll att en sådan benchmarking görs. Min intervju med Hyundai indikerade
dock inte någon större rädsla för att avslöja uppgifter men förmodligen hade det varit
annorlunda om intervjun genomförts inom ramen för en större studie. Hade jag varit
japan eller amerikan hade det nog också varit annorlunda.

En svårighet med kostnadsanalyser av omogna teknologier är att de utöver att söka
skatta hur volymerna påverkar kostnaden också på något vis bör ta hänsyn till att tek-
niken utvecklas såväl inkrementellt som kanske också radikalt. Den inkrementella
utvecklingen täcks i viss mån in i kalkyler typ James (2015) men redan här finns det
tydliga problem då specifikationen för lösningen är den samma för de olika tidshori-
sonter som berörs.

Radikala förändringar är per definition omöjliga att förutse och de kan göra att stora
delar av kalkylen blir obsolet. Nu verkar det dock inte krävas några radikala föränd-
ringar för att få fram säljbara fordon utan det verkar mest handla om ett målmedvetet
och uthålligt arbete med att förfinas lösningar och tillverkningsmetoder. En ansats har
resultat med respektive utan tekniksprång i utvecklingen (Greene & Duleep 2013).

Med tanke på de stora osäkerheter som inte minst de tidiga kostnadsanalyserna hade
att hantera är det häpnadsväckande att resultatet ofta redovisas med minst fyra värde-
siffror; kostnaden är 54,84 USD/kW (James 2015) eller drivlinekostnaden inklusive vät-
gastank är 14 526 EUR (McKinsey 2010). Givetvis finns det anledning att räkna med
många värdesiffror men när det väl är dags att presentera resultaten bidrar ett sådant
överflöd av siffror till att läsaren förleds att tro att exaktheten i kalkylerna och bedöm-
ningarna är långt högre än den faktiskt är.

5.2.2 Dominerande kostnadsposter

Kalkylerna diskuterar inte nämnvärt betydelsen av andrahandsvärdet för TCO. För kommersiella och andra kostnadsmedvetna kunder är inköpspriset och andrahandsvärdet de faktorer som normalt påverkar kalkylen mest vid köp av nya bilar. I Tabell 7 illustreras detta.

Tabell 7: Enkel kostnadskalkyl för fordon

Inköp	400 000 kr
Andrahandsvärde efter 3 år	60%
Drivmedelskostnad per år (1 500 mil/år)	15 000 kr/år
Försäkring, service m m	10 000 kr/år
Kostnad för tre år	
Kapitalkostnad (5%)	60 000 kr
Värdeminskning	160 000 kr
Drivmedel	45 000 kr
Försäkring service m m	30 000 kr
SUMMA TRE ÅR	295 000 kr

Bilar med ny eller annorlunda teknik har osäkert andrahandsvärde och vanligen är andrahandsvärdet lägre för biltyper där snabb utveckling är att vänta. Detta är en anledning till att leasingerbjudande kan vara attraktiva för kunderna i samband med mer eller mindre oprövade lösningar.

Biltillverkarna har strategier för att hantera andrahandsvärdet och prissätta nya produkter på ett sådant sätt att de gamla inte rasar i värde. Toyota lyckades exempelvis enligt mina mycket begränsade insikter i ämnet lansera en sekvens av hybridfordons-generationer utan att det fick katastrofala konsekvenser för de kunder som var tidigt ute. Detta skulle vara värt en alldeles egen studie.

5.2.3 Regelverket på bilmarknaden

En aspekt som inte nämnvärt berörs i någon av studierna är förändringar i regelverket. Kostnads- och intäktsanalysen (Creti et al 2015) tar upp petroleumskatten och Laslau & See (2014) betonar det kaliforniska regelverkets stora betydelse. Men i övrigt verkar få studier diskutera i termer av att förutsättningarna för en viss fordonstyp till stor del bestäms av det nationella och internationella regelverket. Skärps exempelvis utsläppskraven kraftigt blir det garanterat svårare att tillverka förbränningsmotorfordon till samma kostnader som idag. Och det pågår ju en kontinuerlig förhandling om hur mycket koldioxidbidrag som fordonen eller fordonsflottan får ge. Batteribilar i Norge eller flexifuelbilar i Sverige är två exempel på att de som sätter regelverket har väldigt stora möjligheter att kraftfullt påverka marknaden.

Å ena sidan är det befriande att studierna inte utgår från att dito starka styrmedel ska till för att bränslecellsbilarna ska komma ut på vägarna. Men å andra sidan så är policy-makers roll inte att förglömma och inte minst den stora frågan om energiförsörjningen av framtidens transporter ligger till stor del på deras bord.

5.2.4 Biltillverkarna vet vad de gör

Laslau & See (2014) framhåller att biltillverkarna bara gör halvhjärtade satsningar. Endast ett fåtal fordon tillverkas och de erbjuds endast till vissa små geografiska områden. Detta håller jag inte med om. Enligt min mening är bränslecellsområdet närmast unikt med biltillverkare som utan kontinuerligt stöd av piskor och morötter från policy-makers tålmodigt gnetar på med utvecklingen. Att introduktionen sker i geografiskt begränsade områden är dessutom helt nödvändigt så länge tankmöjligheterna är begränsade.

Samtidigt så hävdar exempelvis Ogden et al (2014) att en avgörande aspekt som talar för att bränslecellsbilar har en framtid är att biltillverkarna har investerat och fortsätter att investera miljardbelopp i utvecklingen av dem. Enligt resonemanget ovan torde de ju veta bäst vilka förutsättningarna är för att tillverka konkurrenskraftiga sådana fordon. Det är svårt att tro att biltillverkarna utvecklar tekniken om de bedömer den som en återvändsgränd.

Argumentet att biltillverkarna investerar och därför måste teknikspåret vara framkomligt tål att diskuteras. Utan att vara särskilt konspiratoriskt lagd kan det finnas andra skäl till att biltillverkarna agerar på detta vis.

Mot bakgrund av mina egna studier av elektrifieringen av fordon så finns det taktiska och strategiska faktorer som kan göra att tillverkarna agerar på ett särskilt sätt. Exempelvis var Toyota mycket månt om att riskminimera och därför satsade man i början av nittitalet på att utveckla samtliga elektrifieringsalternativ. I något skede bedömde Toyota sedan att en hybridlösning modell Prius var mest aktuell att introducera i större skala på marknaden. Detta gjorde företaget till stor del i strid mot förhärskande policy som efterfrågade fordon med stora batterier. Honda förde ett snarlikt resonemang och till det kan läggas att Honda och Toyota bevakar och följer efter varandra. Även Nissan hängde på ett tag men i samarbetet med Renault valdes sedan en delvis annan inriktning på Nissans utveckling (Pohl 2012).

Det finns också ett inslag av att vilja vara först med en teknik. Så resonerade exempelvis Volvo Cars när företaget konstaterade att det är bättre att vara först med laddhybrider än att komma på sladden när det gäller 'vanliga' hybridlösningar. Även GMs strategi och kommunikation har haft en liknande karaktär.

Uppenbart är att de företag som klarar att tillverka vanliga hybrider på ett kostnadseffektivt sätt har stora fördelar när det kommer till introduktionen av bränslecellsfordon. Likheter är stora och ska det gå att få ner kostnaden för hela fordonet är det avgörande att hela drivlinan inklusive elmaskin(er) och batterier produceras på ett kostnadseffektivt sätt. Här spelar Toyota i en egen division och en bidragande faktor till att företaget en gång i tiden valde att marknadsintroducera hybridtekniken var säkert att den är ganska generisk för många typer av elektrifierade drivlinor.

Att Hyundai sedan något år levererat bränslecellsfordon under nära nog kommersiella betingelser verkar övriga biltillverkare ha kunnat leva med men när nu Toyota ska sälja sin Mirai så blir det plötsligt allvar. Ingen har glömt Priusen och få tvivlar på att Toyota menar allvar också den här gången. Således utgår nog de flesta biltillverkare från att det går att tillverka säljbara bränslecellsfordon, även om de själva måhända inte har alla lösningar på bordet för att nå en acceptabel kostnad.

5.2.5 Alternativa metoder att skatta kostnaderna

Om vi nu konstaterar att det i takt med att bränslecellsbilarna börjar närma sig marknaden blir allt svårare att göra meningsfulla detaljerade kostnadsanalyser av dem med de metoder som beskrivits ovan finns det anledning att fundera på vilka alternativen är. För alltjämt finns det ett intresse av att veta kostnaderna och bedöma utvecklingstakten, både för bilindustrin och för andra aktörer. Två andra sätt att skatta kostnaderna är:

1. Köpa in och plocka isär marknadsledande bilar.
2. Genomföra (innovations-)upphandling av bilar eller delar av bilar.

En av de allra första Toyota Prius som kom till Sverige köptes av Volvo Cars. Är det dags att köpa en Mirai nu? Att studera tillgänglig teknik i alla dess detaljer är förmodligen ett ganska kostnadseffektivt sätt att snabbt lära sig mycket, inte bara om kostnaderna utan även mycket annat.

Elbilsupphandlingar har vi ju haft ett antal och åtminstone i något fall bidrog upphandlingen definitivt både till att få fram en ny prisnivå och att kommunicera den till många kunder (Pohl & Sandberg 2005). För biltillverkaren och systemleverantören kan inköpsavdelningen bilda sig en uppfattning om kostnaderna genom att begära offerter för system och komponenter. Det kan i något skede även vara aktuellt att inleda diskussioner om att köpa eller licensiera tekniken från någon konkurrent. Exempelvis har Toyotas hybriddrivlina för Priusen använts av fler tillverkare än Toyota.

5.3 JÄMFÖRELSE MED BATTERIKOSTNADSANALYSER

Flera av kostnadsanalyserna som redovisats ovan behandlar olika elektrifieringsalternativ parallellt och givetvis finns det intresse av att veta vilken teknik som verkar utveckla sig bäst. Naturligt i detta fall är att jämföra bränslecellstekniken med batteritekniken, då båda dessa är i snabb utveckling och centrala i respektive fordonstyp, dvs. fordon som huvudsakligen laddar respektive fordon som huvudsakligen tankar vätgas.

En grundläggande svårighet utifrån användarperspektivet är att bilarna har litet olika egenskaper, främst med avseende på räckvidd och laddningstid. Politiskt och taktiskt smart har därför varit att placera fordonen i olika användningsområden och hävda att det finns behov av alla typerna. Samtidigt kan vän av ordning ställa frågan om det inte är troligt att användaren föredrar ett bränslecellsfordon även för stadstrafik, givet att kostnaderna är jämförbara.

En skillnad mellan teknikerna är att batterierna finns med många olika kemier och sätt att packas, från små celler till prismatiska. Det finns också förväntningar på nya batterikoncept som ger rejält förbättrade egenskaper. Dessutom är det ganska stor skillnad på batterier optimerade för energilagring och batterier för hybridtillämpningar där effekten är mycket viktig. För traktionära bränsleceller är teknikspåret rakare, många detaljer kan komma att bytas ut eller justeras men alla verkar ganska överens om att det kommer att handla om polymerbränsleceller och bilar som tankar vätgas.

En annan skillnad är att batterier har använts och används redan i stor och växande utsträckning i andra tillämpningar, vilket ger synergier. I Anderman (2014) görs en intressant analys av Teslas koncept som bygger på att paketera ett stort antal små cylindriska batterier från Panasonic av standardstorlek (18650), vilka har väsentligt högre energitäthet än konkurrerande elbilsbatterier. De 85 kWh som batteripaketet ger

hämtas från 7 104 sådana batterier. Slutsatsen av analysen är bland annat att andra batterikoncept nog kommer att hämta in en stor del av försprånget i energitäthet.

Lämpligen jämförs batteripaketets kostnadsutveckling med utvecklingen för bränsle-cellssystemet, inklusive vätgastank. Förmodligen bör också hybridbatteriet till bränsle-cellsfordonet läggas till för att jämförelsen ska bli mer rättvisande, ett sådant brukar inte behövas i fordon med stora traktionära batterier.

Det finns inte utrymme och är kanske inte heller så meningsfullt att fördjupa analysen. I Tabell 8 görs en enkel sammanställning av det som primärt skiljer mellan ett renodlat batterifordon och ett bränslecellsfordon. I båda fallen används tidshorisonten 2020. Uppgifterna för bränslecellsfordonet bygger på data från Tabell 6.

Tabell 8: Kostnadsjämförelse BEV och FCEV

	USD
Traktionärt batteri (Bergman et al 2013; McKinsey 2010; NRC 2013)	300 /kWh
Hybridbatteri 1 kWh	1 000
Bränslecellssystem	5 000
Vätgastank	3 200

Om kostnaden ska bli lika så blir det traktionära batteriets storlek cirka 30 kWh, dvs. något större än de 24 kWh som Nissan Leaf har i dagsläget.

6 Slutsatser

Rapportens huvudsyfte är att undersöka kostnaden för bränslecellsbilar och hur man kan uppskatta den. Detta har studerats genom att

- översiktligt beskriva utvecklingen på marknaden för bränslecellsbilar
- granska, sammanställa och analysera tillgängliga kostnadsanalyser för bränslecellsbilar eller ingående delsystem
- intervjua den biltillverkare som var först ut på marknaden med ett litet större antal fordon (Hyundai).

Några slutsatser av denna studie är att

- Kostnadsanalyserna skiljer sig åt på många olika sätt vilket gör jämförelser dem emellan svårt. Detta gäller i synnerhet totalkostnadsanalyser som ger mycket olika resultat. Flera analyser omfattar dock olika fordonstyper och dessa kan således jämföras inom respektive analys. I dessa analyser visar det sig att bränslecellsfordon förr eller senare blir konkurrenskraftiga i förhållande till alternativen. Ett undantag här är Laslau & See (2014) som förvisso har med alternativ som är konkurrenskraftigt men samtidigt betonar att det alternativet inte är så realistiskt.
- En stor del av kostnadsutvecklingen beror på skalfördelar och i detta avseende verkar analyserna vara ganska överens om vilket genomslag som tillverkningsvolymen har.
- Målen för bränslecellssystemen var mycket ambitiösa när de sattes för tio år sedan i USA. Flertalet funktionsrelaterade mål förefaller ha nåtts eller överträffats men på kostnadsområdet skiljer det väsentligt mellan ursprungliga mål och nuläget (ursprungligt mål var 30 USD/kW och nuläget indikerar en kostnad om 55 USD/kW). Kostnadsminskningstakten har enligt analyserna också blivit mycket liten på senare år, delvis på grund av ändrade antaganden.
- I takt med att fler fordon erbjuds under kommersiella premisser på marknaden tilltar sannolikt svårigheterna att samla in bra data för kostnadsanalyser av den karaktär som beskrivits i denna studie. Bland de alternativa metoder som då kan användas för att komplettera analysen återfinns att bevaka prisutvecklingen på marknaden, att köpa in och plocka isär marknadsledande fordon samt att genomföra upphandlingar av hela fordon eller delsystem.

I en grov jämförelse mellan fordon som drivs med batterier respektive bränsleceller ligger kostnaden år 2020 ungefär lika vid en batteristorlek om 30 kWh. Nissan Leafs batterikapacitet är 24 kWh.

7 Acknowledgements

Stort tack till Kanehira Maruo, Stefan Pettersson, Magnus Karlström och Bengt Ridell för bidrag till studien och kommentarer på tidigare versioner av rapporten.

Referenser

- Anderman M (2014) The Tesla Battery Report. Tesla Motors, battery technology, analysis of the gigafactory, and the automakers' perspectives, November 14, 2014.
- Bergman S, Berg H & Georén P (2013) Kostnadsutveckling hos batterier och bränsleceller fram till 2025 en sammanställning, 25 juni 2013.
- Burke A & Zhao H (2012) Energy Saving and Cost Projections for Advanced Hybrid, Battery Electric, and Fuel Cell Vehicles in 2015-2030, UC Davis Institute of Transportation Studies, EVS26, May 2012.
- Carbon Trust (2012) Polymer Fuel Cells – Cost reduction and market potential, a report by the Carbon Trust based on independent analysis, September 2012.
- Creti A, Kotelnikova A, Meunier G & Ponssard J-P (2015) A cost benefit analysis of fuel cell electric vehicles, HAL archives-ouvertes, submitted February 16, 2015.
- DOE (2014) Fuel Cell System Cost – 2013, DOE Fuel Cell Technologies Office Record, Department of Energy, June 13, 2014.
- Green Car Congress (2014a) Update on Honda/GM fuel cell partnership; "It's about cost reduction", February 21, 2014.
- Green Car Congress (2014b) Hyundai delivers keys to first Tucson Fuel Cell customer; leasing for \$499/mo, with unlimited free fueling; first drive, June 11, 2014.
- Green Car Congress (2014c) Honda FCV Concept makes world debut in Japan; Power Exporter concept, November 17, 2014.
- Green Car Congress (2014d) Toyota FCV Mirai launches in LA; initial TFCS specs; \$57,500 or \$499 lease; leaning on Prius analogy, November 18, 2014.
- Green Car Congress (2014e) Volkswagen Group shows 3 hydrogen fuel cell concepts at LA Show: Audi A7 Sportback h-tron; Golf Sportwagen HyMotion; Passat HyMotion, November 20, 2014.
- Green Car Congress (2015a) Mercedes-Benz unveils self-driving fuel cell hybrid luxury concept at CES; novel body structures, January 8, 2015.
- Green Car Congress (2015b) Toyota pops the hood on the technology of the fuel cell Mirai at SAE World Congress, April 29, 2015.
- Green Car Congress (2015c) BMW shows future drive technologies; 2 Series PHEV prototype, direct water injection in 3-cyl. engine, and fuel cell eDrive, July 2, 2015.
- Greene D L & Duleep G (2013) Status and Prospects of the Global Automotive Fuel Cell Industry and Plans for Deployment of Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Refueling Infrastructure, Oak Ridge National Laboratory, July 2013.
- IPHE (2008) Fuel cell cost analysis summary, International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy.
- James B D, Baum K N & Spisak A B (2012) Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Automotive Applications: 2011 Update, Strategic Analysis, September 5, 2012.

- James B D & Spisak A B (2012) Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2012 Update, Strategic Analysis, October 18 2012.
- James B D, Moton J M & Colella W G (2014) Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2013 Update, Strategic Analysis, January 2014.
- James B D (2015) Fuel Cell Vehicle and Bus Cost Analysis, Strategic Analysis, June 10, 2015.
- Lee D, Jung J, Kim J & Im C (2015) Development of hydrogen storage tank used for Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) by numerical analysis, EVS 28 International Electric Vehicle Symposium and Exhibition.
- Laslau C & See K (2014) Hydrogen under pressure: Driving Fuel Cell Adoption Now and in the Future, Lux Research, October 2014.
- McKinsey (2010) A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis.
- NRC (2013) Transitions to Alternative Vehicles and Fuels, Committee on Transitions to Alternative Vehicles and Environmental Systems; Division on Engineering and Physical Sciences; National Research Council, Washington D.C.
- Nyman J (2013) Bränsleceller – en sammanfattande översikt från ett elektromobilitetsperspektiv, Viktoria Swedish ICT, 2013-03-10.
- Ogden J, Nicholas M & Fulton L (2014) The Hydrogen Transition, UC Davis Institute of Transportation Studies, July 29, 2014.
- Pohl H & Sandberg T (2005) Miljöfordonsupphandlingar i backspegeln, Carl Bro Energikonsult, maj 2005.
- Pohl H (2012) Japanese automakers' approach to electric and hybrid electric vehicles: From incremental to radical innovation, *International Journal of Technology Management*, 57, 4: 266-288.
- Sakakibara K (2015) Honda to sell FCV with 750 km range next spring, The Asahi Shimbun, June 24, 2015.
- Scoltock J (2015) Against all odds, Automotive Engineer, April 2015.
- USCAR (2006) Partnership Plan FreedomCAR & Fuel Partnership, March 2006.
- Yang Y (2013) PEM Fuel Cell System Manufacturing Cost Analysis for Automotive Applications, Austin Power Engineering, October 2013.
- Yumiya H, Kizaki M & Asai H (2015) Toyota Fuel Cell System (TFCS), EVS 28 International Electric Vehicle Symposium and Exhibition.

KOSTNADSUTVECKLINGEN FÖR BRÄNSLECELLSFORDON

Kostnaderna för att köpa, äga och använda bränslecellsfordon är avgörande för om denna elektrifierade fordonstyp ska ha en möjlighet på marknaden.

Den här rapporten ger en bra översikt av marknadsutvecklingen med fokus på de delar i fordonet som är unika för bränslecell drivna fordon, det vill säga bränslecellssystemet och vätgastanken. Här skärskådas dussintalet kostnadsanalyser och i rapporten redogörs för en intervju med den biltillverkare som var först med ett större antal fordon på marknaden, nämligen Hyundai.

Resultaten visar att kostnaden för hela drivlinan varierar mellan 10 000 och 22 500 USD, om man antar att tillverkningsvolymen är stor. Det skulle betyda att kostnaden för ett fordon skulle ligga i spannet 21 000 – 33 500 USD.

Det visar sig också att när biltillverkarna med Hyundai, Toyota och Honda i spetsen nu börjar sälja bränslecellsfordon blir det allt svårare att göra kostnadsanalyser av det slag som har granskats här. Därför föreslås alternativa metoder som att bevaka prisutvecklingen på marknaden, att köpa in och plocka isär marknadsledande fordon eller att genomföra upphandlingar av hela fordon eller delsystem.

I en grov jämförelse mellan fordon som drivs med batterier respektive bränsleceller ligger kostnaden år 2020 ungefär lika vid en batteristorlek på 30 kWh.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se