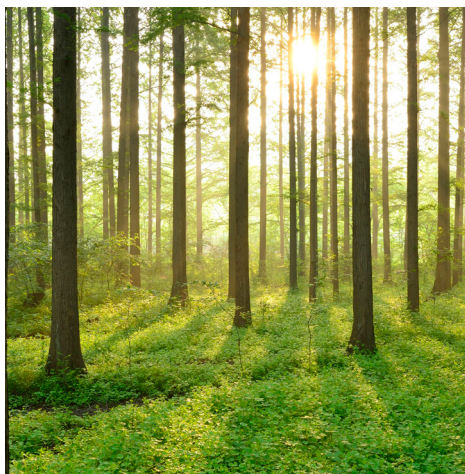


BRÄNSLECELLERS KONKURRENSKRAFT I VÄGFORDON

RAPPORT 2017:404



TEKNIKBEVAKNING
BRÄNSLECELLER



Swedish
Electromobility
Centre



Bränslecellers konkurrenskraft i vägfordon

HANS POHL, BENGT RIDELL, ANNIKA CARLSON,
GÖRAN LINDBERGH, KANEHIRA MARUO, MAGNUS KARLSTRÖM

ISBN 978-91-7673-404-9 | © ENERGIFORSK juni 2017

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

Förord

I syfte att koordinera teknikbevakningen, men också för att sammanställa, analysera och sprida information om utvecklingen inom bränslecellsområdet finansierar Energimyndigheten projektet **Teknikbevakning av bränsleceller**. Projektet och dess resultat vänder till svenska intressenter, främst fordonsindustrin, och genomförs under 2014 – 2016 inom ramen för kompetenscentret Swedish Electromobility Centre med Energiforsk som koordinator och projektledare.

Denna rapport, som har tagits fram inom teknikbevakningsprojektet, behandlar under vilka förutsättningarna drivlinor med bränsleceller kommer att vara konkurrenskraftiga jämfört med andra drivlinealternativ.

Projektet har genomförts av Hans Pohl, RISE Viktoria, Bengt Ridell, Sweco, Annika Carlson och Göran Lindbergh KTH, Kanehira Maruo och Magnus Karlström Swedish Electromobility Centre/Chalmers

Styrgruppen för projektet har bestått av följande ledamöter: Anders Hedebjörn och Stefan Bohatsch Volvo Cars, Annika Ahlberg-Tidblad Scania, Johan Svenningstorp AB Volvo, Bengt Ridell Sweco Energuide, Göran Lindbergh Swedish Electromobility Centre/KTH, Peter Smeds/Magnus Lindgren Trafikverket, Elna Holmberg Swedish Electromobility Centre och Bertil Wahlund Energiforsk.

Energiforsk framför ett stort tack till styrgruppen för värdefulla insatser. Samtliga rapporter från projektet kommer att publiceras och fritt kunna laddas ner från Energiforsks webbplats under Teknikbevakning bränsleceller på www.energiforsk.se och på Swedish Electromobility Centres webbplats www.emobilitycentre.se.

Stockholm juni 2017

Bertil Wahlund Energiforsk AB



Swedish Electromobility Centre är ett nationellt kompetenscentrum för forskning och utveckling av elektromobilitet. Vi enar Sveriges kompetens och utgör en bas för samverkan mellan akademi, industri och samhälle.

Sammanfattning

Denna rapport redovisar resultaten av ett projekt som har genomförts inom ramen för teknikbevakningen av bränsleceller. Projektet undersöker under vilka förutsättningar olika typer av drivlinor med bränsleceller är konkurrenskraftiga. Underlag för rapporten hämtades från skriftliga källor. Dessutom genomfördes en handfull intervjuer med aktörer i Japan.

Regelverken för lokala och globala emissioner utvecklas, dock normalt sett med utgångspunkt i vad som är tekniskt och ekonomiskt rimligt att klara med förbränningsmotorer och fossila drivmedel. I takt med att kraven skärps får leverantörer av fordon allt bättre möjligheter att få avsättning för miljömässigt högkvalitativa produkter. Olika former av elektrifiering får ökad konkurrenskraft, primärt för att elektrifiering minskar utsläppen av växthusgaser.

Det finns områden med speciella krav på utsläppen. Rena nollemissionszoner är dock små och ovanliga och bedöms inte få en stor marknadspåverkan de närmaste åren. Viktigare att hålla under noggrann uppsikt på när det gäller lagar och regler är stora regleringsglada marknader som Kina, Japan och Kalifornien.

Flertalet policyinsatser som gynnar batterifordon gynnar även bränslecellsfordon. En viktig skillnad är dock insatser riktade mot infrastrukturen. Vätgasfordon är till skillnad från batterifordon beroende av offentlig drivmedelsinfrastruktur.

Stadsbussar har körts och körs med vätgasdrivna bränsleceller. Denna tillämpning fungerar bevisligen rent tekniskt. Ekonomiskt finns det analyser som indikerar att bussar med batterier och frekvent laddning är attraktivare. Detta är givetvis avhängigt kostnaden för drivmedlet med mera. Normalt sett är el klart billigare än vätgas per fordonskilometer.

Jämfört med lastbilar för fjärrtransport passar distributionslastbilar bättre för vätgasdrift då de vanligen inte använder så mycket energi per dygn. De rör sig i miljöer där tyst och utsläppsfri drift särskilt efterfrågas och de har möjlighet att placera tankarna för vätgas över hela fordonet och inte bara på dragbilen. Exempel finns på tunga lastbilar med stora batterier och bränsleceller, vilka tankar vätgas för att få tillräcklig räckvidd per dygn, bland dem Vision och Nikola Motors. Särskilt den senare har fått mycket uppmärksamhet, helt i linje med ambitionen att bli bränslecellslastbilarnas Tesla.

De stora OEMerna arbetar med både bränsleceller och laddbara fordon och de bränslecells-bilar som finns på vägarna möter inga generella restriktioner i användningen. Toyota, Honda och Hyundai betonar bränslecellerna framför renodlade batterifordon. Daimler och GM har gjort sammalunda men är numera förmodligen mer konkreta när det gäller batterifordon. Nissan har i än högre grad kommit att betona laddbara fordon. BMW har delvis rört sig åt andra hållet och har nu med traktionära bränsleceller i planerna för framtiden. Toyota och BMW, Honda och GM, respektive Daimler, Ford och Nissan/Renault utgör tre viktiga samarbeten i utvecklingen av bränslecellsfordon.

Toyota, Hyundai och Daimler gör även stadsbussar med bränslecellsdrift. Bussarna använder i princip dubblerade system från bilarna och än större vätgaslager. Det finns andra aktörer som bygger bränslecellsbusar. De använder vanligen stackar från Ballard. Toyota släppte nyligen en lastbil för demonstrationsdrift i hamnen i Los Angeles.

Summary

This report gives the result of a project carried out within the fuel cell technology outlook programme. The project addresses the preconditions for the competitiveness of powertrains including fuel cells compared to other powertrain alternatives. The report is based on written sources as well as a couple of interviews with actors on Japan.

The regulations for local and global emissions develop typically based on what is technologically and economically reasonable to achieve with internal combustion engines and fossil fuels. As the regulations tighten, the opportunities for OEMs to sell environmentally superior vehicles improve. Various forms of electrified vehicles gain increased competitiveness, primarily as electrification reduces the emissions of greenhouse gases.

There are areas with specific emission requirements. However, zero mission zones are small and uncommon and are not expected to have a large impact on the market over the next years. More important to follow closely when it comes to regulations are large markets with strong regulators, e.g. China, California and Japan.

The majority of policy initiatives supporting battery electric vehicles are also supporting fuel cell vehicles. However, initiatives targeting the refuelling infrastructure are specific for each type. In contrast to battery electric vehicles, fuel cell vehicles are depending on a public refuelling infrastructure.

Several city buses have been and are propelled by hydrogen fuelled fuel cells. This application does consequently work in a technological sense. Economically, there are analyses indicating that battery-electric buses with frequent recharging are more attractive. This is obviously depending on the cost of fuel. Typically, electricity is significantly cheaper than hydrogen per vehicle kilometre.

Trucks for long distance transport are less suitable for fuel cell propulsion than trucks for distribution applications as the latter do not use that much energy per day. They drive in areas where quiet and emission free propulsion is valuable and they offer the opportunity to place the hydrogen tanks all over the vehicle and not only on the front part of the truck. There are examples of heavy trucks with large batteries and fuel cells, which refuel hydrogen to obtain a sufficient mileage per day, among them Vision and Nikola Motors. In particular the latter has attracted a lot of attention, which is perfectly in line with the ambition to become the Tesla among the trucks.

The large OEMs develop fuel cell as well as rechargeable vehicles and the fuel cell vehicles on the market do not face any general restrictions in the use. Toyota, Honda and Hyundai prioritise fuel cell vehicles. Daimler and GM have done the same but currently their battery electric vehicle solutions are more visible. Nissan has even more become a promoter of battery electric vehicles. BMW has partly moved in the other direction and includes now fuel cell vehicles in their plans. Toyota and BMW, Honda and GM, respectively Daimler, Ford and Nissan/Renault are three important collaborations in the development of fuel cell vehicles.

Toyota, Hyundai and Daimler also make city buses with fuel cell propulsion. The buses typically use a double fuel cell system from the cars and even larger hydrogen storages. Other actors making fuel cell buses often use fuel cells from Ballard. Recently, Toyota released a truck for a demonstration project in the harbour of Los Angeles.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Syfte och metod	9
2	Policy avseende bränsleceller i fordon	11
2.1	Lagar och regler som påverkar valet av drivlina	11
2.1.1	Övergripande emissionsmålsättningar - växthusgaser	11
2.1.2	Vägtransportspecifika mål och lagar	12
2.1.3	Styrmedel för alternativa drivlinor	14
2.1.4	Övriga lagar och policyer	19
2.2	Infrastrukturbehov el och vätgas	20
2.3	Framtiden för bränsleceller i tunga fordon	25
3	Fordonstillämpningar med bränsleceller	32
3.1	Drivlinekonfigurationer	32
3.2	Tunga fordon och arbetsfordon	34
4	Fordonstillverkarnas ord och handling	37
4.1	Toyota	37
4.2	Nissan	39
4.3	Honda	40
4.4	Daimler	41
4.5	Hyundai	42
4.6	Andra europeiska bilbyggare	42
4.7	Amerikanska bilindustrin	43
5	Diskussion – när är bränsleceller konkurrenskraftiga i fordon?	45
5.1	Policyperspektivet – vad krävs	45
5.2	Tekno-logiska tillämpningar	46
5.3	Bilindustrins strategier	48
6	Slutsatser och rekommendationer	51
7	Referenser	53

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Denna rapport redovisar resultaten av ett projekt som har genomförts inom ramen för teknikbevakningen av bränsleceller. Projektet adresserar under vilka förutsättningar olika typer av drivlinor med bränsleceller är konkurrenskraftiga.

Projektet genomfördes under 2016. Hans Pohl, RISE Viktoria AB, ledde projektet vilket genomfördes i samarbete med Bengt Ridell, SWECO AB, samt Annika Carlson och Göran Lindbergh, KTH Kemiteknik. Dessutom medverkade Kanehira Maruo och Magnus Karlström (SHC/Chalmers).

Teknikbevakning av bränsleceller har placerats hos SHC bland annat för att få en närmare koppling mellan forskning och fordonsindustrin. Ett långsiktigt syfte är att bidra till fordonsindustrins kompetensförsörjning i Sverige. Verksamheten inom bränslecellsområdet hos SHC startade 2014 och finansieras i huvudsak av Energimyndigheten.

1.2 SYFTE OCH METOD

Projektet omfattar en rad frågor, vilka har sorterats i tre olika arbetspaket.

Arbetspaket 1 – policyförutsättningar för bränsleceller i fordon

- Vad händer med emissionslagstiftningen i framtiden för tunga fordon och personbilar i olika delar av världen? Hur påverkar det möjligheten för bränslecellskoncept kontra andra lösningar (hybrid/el, alternativa bränslen, elvägar). Regioner/länder med speciella lagkrav/egna krav?
- Finns det andra lagstiftningar eller föreskrifter (förutom emissioner) som kan påverka valet av bränslecellsdrivlinan på lång sikt?
- Vilka städer i Europa driver zero emission zones? Kommer det? Finns exempel? Kommer liknande att introduceras i USA/Japan?
- Hur skiljer sig behoven vid etablerandet av drivmedelsinfrastruktur för laddbara fordon respektive vätgasdrivna bränslecellsfordon?
- I vilka globala och lokala scenarier/tillämpningar passar bränslecellsteknik bäst när det gäller tunga fordon?

Huvudsakliga underlag för denna del är rapporter, nyheter, vetenskapliga artiklar och andra sekundära källor. Detta paket genomförs primärt av SWECO och KTH.

Arbetspaket 2 – hur passar bränsleceller i olika fordonstillämpningar

- Vilka tillämpningar passar bäst för bränslecellsteknik (bussar, long haul, distribution, grävmaskiner)?
- När/Under vilka omständigheter är bränslecellsteknik lika dyr/billig som andra alternativ (el, hybrid, alternativa bränslen)?

Arbetspaketet bygger vidare på en annan studie inom teknikbevakningen vid namn Drivlinekonfigurationer med bränsleceller som genomförs av RISE Viktoria AB och Chalmers. Kompletterande material hämtas bland annat från policystudien

i arbetspaket 1 och kontakterna med OEMerna i arbetspaket 3. RISE Viktoria AB genomför merparten av arbetet.

Arbetspaket 3 – hur resonerar fordonstillverkarna kring olika former av eldrift

- Hur tänker de stora OEMerna (lätta och tunga fordon) kring batteri- och bränslecellsteknik?
- Hur många OEMer satsar på bränslecellsteknik och hur mycket i förhållande till alternativa tekniker?

Huvudsakligt underlag för denna del är intervjuer med utvalda OEMer och kompletterande material från seminarier, konferenser och studiebesök. RISE Viktoria AB genomför huvuddelen av arbetet. Intervjuerna med japanska aktörer genomförs tillsammans med Kanehira Maruo.

2 Policy avseende bränsleceller i fordon

Kapitlet redovisar hur policyförutsättningarna är för bränsleceller i fordon. Lokala emissioner, emissioner av växthusgaser liksom specifika regelverk avseende vätgashantering berörs.

2.1 LAGAR OCH REGLER SOM PÅVERKAR VALET AV DRIVLINA

Klimatmötet i Paris 2015 har resulterat i högre fokus på växthusgasutsläpp inom de flesta industrier, samtidigt förespråkas en fortsatt utsläppsminskning av partiklar och kemiska föroreningar. Inom transportsektorn är förändringar av emissionslagstiftningen och relaterade styrmedel mycket viktiga vid introduktion av nya drivlinor och utveckling av existerande.

Nya tekniker påverkas även av områdesbegränsningar för fordonsframförelse som kan uppkomma på grund av säkerhetskrav, andra miljökrav eller tillgång till tankstationer. Ovanstående frågor är viktiga för tunga och lätta fordon. Det här avsnittet strävar efter att klargöra i vilken riktning lagstiftningsändringar sker i olika delar av världen.

2.1.1 Övergripande emissionsmålsättningar - växthusgaser

Efter Parismötet har nästan alla länder utlovat emissionsminskningar och fokus har skiftat från kemiska föroreningar till klimatgaser. I flertalet utvecklingsländer är målet liknande, de ska nå sin högsta mängd växthusgasutsläpp så snart som möjligt (UNFCCC, 2016).

I industriländerna, samt Kina och Mexiko, finns högre krav, några av dessa presenteras nedan för att ge en indikation om vart lagstiftningen är på väg. Målsättningarna varierar både mellan länder och ibland inom ett land. EU ligger i framkant med sitt mål att minska sina nettoutsläpp av koldioxid med 80 % relativt 1990 till 2050 (European Commission a, 2016). Sverige har ett ännu skarpare mål med noll nettoutsläpp år 2045 (Sveriges regering-energiöverenskommelsen, 2016).

I USA finns två mål, ett mer kortsiktigt att 2025 ha minskat CO₂ utsläppen med 26–28% jämfört med 2005. Långsiktigt till 2050 finns ett mindre definierat mål, men indikationen har lutar åt en minskning liknande Europas (UNFCCC, 2016). Alla stater i USA har detta som övergripande målsättning, men några stater har ambitiösare mål, högst målsättning har Kalifornien som satsar på en minskning med 40% relativt 1990s värden till år 2030 (California Environmental Protection Agency, 2016). I övriga Nordamerika är målen lägre Mexiko har lovat att sänka sina utsläpp med 25% från vad de skulle vara om de fortsatte som idag. Kanada ska minska sina CO₂ utsläpp med 30% från 2005 innan 2030. I Japan och Kina finns något kortsiktigare mål, Japan ska ha en minskning med 26% relativt 2013 år 2030 och Kina ska nå sin utsläppstopp 2030 och sträva efter att nå dit tidigt (UNFCCC, 2016). I Australien har de lovat en minskning med 30% relativt 2000 år 2025 och 40–60% år 2030 (Australian Government, 2015).

De ovan specificerade målen är ambitiösa och kommer kräva stora industriella förändringar speciellt i länder med höga krav. Målen är satta för nettoutsläpp av växthusgaser och inkluderar mer än bara transportsektorn, men exempelvis så motsvarar vägtransporterna en femtedel av koldioxidutsläppen i EU och därmed en stor andel av växthusgasutsläpp (European Commission b, 2016).

2.1.2 Vägtransportspecifika mål och lagar

En nyligen publicerad rapport från the International Council on Clean Transportation (ICCT) jämför de aktuella emissionsstandarderna för vägtransport i G20 länderna. De högsta kraven finns i den standard som väntas införas i USA under 2017. Europa ligger precis efter med sina Euro 6/VI standarder, vilket motsvarar de standarder som idag appliceras i Canada, Australien och Sydkorea. De övriga G20 länderna ligger 1–4 nivåer bakåt i de standarder som gradvis introducerats i Europa Euro 2/II till Euro 5/V. Arabiska siffror är för personbilar och romerska för tunga fordon.

Inga av de standarder som finns publicerade idag gynnar alternativa drivmedel då de kan uppfyllas med dieselmotorer (Kodjak, 2015). Dessa specificerar framförallt utsläpp av partiklar och kemiska föroreningar, vilket inte inkluderar växthusgaser. Idag ligger fokus som tidigare nämnts mer på klimatgaser, men fortsatt minskning av övriga utsläpp väntas då smog i städer blir ett allt större problem. Detta har även lett lokala emissionsbestämmelser i ett antal städer vilket tas upp mer nedan.

För växthusgaser finns det idag inte specifika krav i alla länder, men USA och Europa har de högsta kraven och dessa är specificerade i Tabell 1. För personbilar har Kalifornien ett separat mål på utsläppsnivåer som ligger närmare Europas, övriga USA ligger något högre. För tunga lastbilar är värdena angivna i g/tkm, där tkm refererar till 1000 kg kilometer, utsläppsfaktorn är differentierad med avseende på vikt.

Tabell 1 - Koldioxidutsläppsstandarder idag/närmaste åren för dieselmotorer. Observera att olika testcykler används i USA och Europa. Information från Dieselnet (Dieselnet, 2016).

Land	Personbilar (g CO ₂ /km)	Lätta lastbilar (g CO ₂ /km)	Tunga lastbilar (g CO ₂ /tkm)
EU			
2015/17	130	175	-
2020	95	147	-
USA	140	185	46 (class 8)
2016	128	207	82 (class 7)
Kalifornien 2016			-

I Europa finns det ännu inga specifika utsläppsbegränsningar eller standarder för tyngre fordon. USA har, som ses ovan, redan standarder och dessutom en mer långsiktig plan för koldioxidutsläppen från denna fordonsgrupp. Enligt en nyligen publicerad rapport (Lutsey, et al., 2015) skulle genomförandet av planen innebära en relativ utsläppsminskning med så mycket som 20% för vissa typer av tunga

lastbilar redan år 2020. I rapporten introduceras även en jämförelse för när standarder och hårdare krav väntas införas i andra länder, se Figur 1.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Japan				Phase 1					Phase 2					
U.S.			Phase 1					Phase 2						
Canada			Phase 1					Phase 2						
China	Phase 1		Phase 2						Phase 3					
EU						Monitoring, reporting			Phase 1					
India							Phase 1							
Mexico						Phase 1								
S.Korea							Phase 1							

Hashed areas represent unconfirmed projections of the ICCT.

Figur 1: Förväntad implementationstider för utsläppstandarder och krav gällande tunga fordon i olika delar av världen (Lutsey, et al., 2015)

Ovanstående införanden av utsläppsstandarder väntas dock enbart gälla effektivisering av nuvarande teknik och motorer. Den riktning lagstiftningen kommer ta längre framåt i tiden indikeras av dessa standarder som är löst specificerade och andra lösare vägtransportmålsättningar som presenteras mer i detalj nedan.

I Europa år 2021 ska koldioxidutsläppen ha minskat med 40% jämfört med värdena 2007 för personbilar. För tung trafik finns inget specifikt mål uppsatt, men EU tror sig kunna reducera utsläppen med 30% genom att utnyttja existerande teknik. Det övergripande målet för hela transportsektorn är en minskning med 60% fram till år 2050 (European Commission b, 2016). I Sverige finns ett ambitiösare mål, att införa en fossiloberoendefordonsflotta till år 2030, vad detta innebär är inte klart definierat, men det pekar på en tydlig trend mot låg- och nollemissionsfordon (Sveriges regering, 2013).

I USA är målen för vägtransporter satta i andra kategorier. För lätta fordon ska avgasrörsutsläppen av koldioxid minska med 35% till 2025 (United States EPA, 2012). För tunga fordon finns två kategorier, förbättring med 15% för tungt lastade fordon och 27 % för lastbilar med sovkupe innan 2027 (Lutsey, et al., 2015). I Australien finns liknande mål för personbilar, men inget specifikt för tunga fordon (Australian Government, 2014). I Kanada är de relativa målen högre, år 2025 ska lätta fordon släppa ut 50% mindre relativt 2008 års modeller och tunga fordon ska ha haft en minskning med 23% från modellåret 2018 (Environmental Canada, 2013). Kina håller på att sätta mål specifikt för tunga fordon och det kommer förmodligen bli en minskning med 27% från 2012 års lastbilar till 2025 (Lutsey, et al., 2015). I Japan är det bara satt ett lägre mål för hela transportsektorn som motsvarar en total minskning med 27,5% till 2030 (UNFCCC, 2016).

Det finns idag flera städer i Tyskland som har krav på lågemissionsfordon. Även i andra länder finns städer som Paris, London och Aten med särskilda krav på rena fordon. Detaljerad information om vad som gäller i olika europeiska städer information går att finna på websidan: <http://urbanaccessregulations.eu> Denna sidan är lättillgänglig med bra sökfunktioner och interaktiva kartor.

Rena nollemissionszoner är fortfarande mycket ovanligt. Det förekommer på känsliga öar och i vissa alpbyar som är svåra att nå med vanliga fordon. Exempel på detta är ön Hydra i Grekland och alpbyn Wengen i Schweiz. Det kommer förmodligen att ta lång tid innan nollemissionskrav blir vanliga förutom i mycket begränsade områden. Den typen av begränsningar utesluter nästan fordonstrafik förutom el och vätgasdrivna fordon och det är förmodligen en del av syftet att reducera vägtrafiken, blir nollemissionsfordon vanliga torde andra begränsningar införas.



Figur 2: Miljözonsskyltar i storstäder

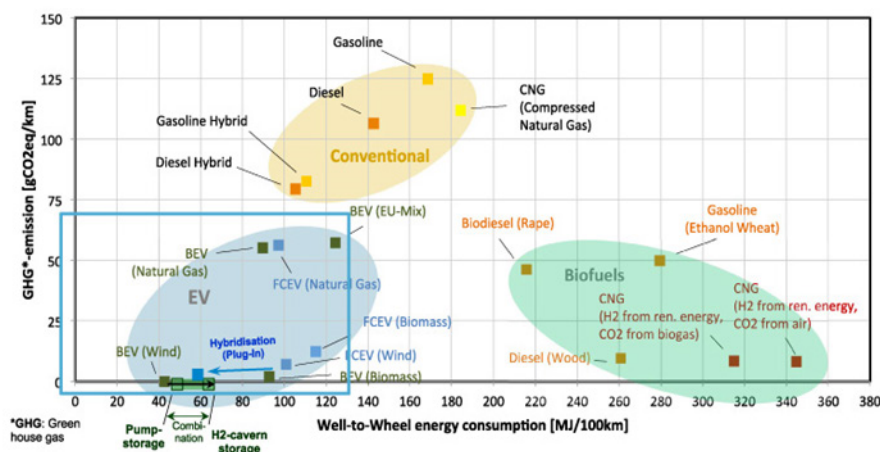
Ovanstående mål tyder på högre krav, men hur standarderna formuleras kommer påverka mycket. I en ICCT rapport visas att dagens standarder och tester inte motsvarar verkliga utsläpp, för personbilar är skillnaden 38% högre utsläpp än standardtestets. Här rapporteras också att om EU ska följa sin målsättning måste tung trafik ha en utsläppsminskning med nära 3% per år mellan 2020 och 2030 (Miller, 2016). Trafikverket påpekar också att om målen ska uppnås kommer det att krävas fler och mer riktade styrmedel. Verket visar att med idag fattade beslut kommer Sverige inte komma i närheten av sin 2050 målsättning (Trafikverket, 2016). Det bör också uppmärksammas att de flesta målen för vägtransporter är relativt kortsiktiga. I många länder anses inte alternativa drivlinor som en möjlighet i dagsläget på grund av omogen teknik (European Commission c, 2016; Larsson, 2015; United States EPA, 2012). Positivt är ett ökad fokus på riktade mål för tunga fordon, vilket tidigare inte diskuterats i stor utsträckning.

2.1.3 Styrmedel för alternativa drivlinor

Det finns idag ett antal styrmedel som riktar sig till teknik för reducerade koldioxidutsläpp för både tunga och lätta fordon. De definieras olika med avseende på vilka bilar som uppfyller kraven för subventioner, skatteundantag eller liknande. Idag baseras definitionerna till stor del på avgasrörsutsläpp av koldioxid och inte på hela kedjan från bränsleproduktion/-utvinning till körning. Ännu mindre pratas det om utsläpp av kemiska föroreningar och partiklar för hela produktionskedjan, det som sägs pekar dock mot att dessa utsläpp helt bör elimineras. Beroende på hur styrmedelsdefinition formuleras kommer olika tekniker att gynnas och vid jämförelse kommer teknikerna inte behandlas rättvist.

I Figur 3 finns ett exempel på hur de olika teknikerna står i förhållande till varandra vad det gäller koldioxidutsläpp om man tittar från källa till körning vilket inkluderar mer än det som släpps ut ur avgasrören. För personbilar hamnar bästa fall scenariot för förnybara bränslen ganska lika ur utsläppssynpunkt. Tittar man enbart på avgasrörsutsläppen av koldioxid blir bilden något skev, då varken batterifordon eller bränslecellsfordon släpper ut växthusgaser. Inkluderas

partikelutsläpp och andra kemiska föroreningar som NO_x, ändras diskussionen också, då dessa kan spela en roll vid produktion av vätgas och el, men inte under körning.



Figur 3: Jämförelse mellan växthusgasutsläpp och energibehov för hela kedjan från källa till körning, prognostiserat för 2020

Den innehåller en blandning av uppmätta siffror och siffror enligt regelverket för hur CO₂-utsläpp beräknas i den europeiska körcykeln. En indikation i bilden är att bränslecellsbilar med vätgas från naturgas och batteribilar laddade med europeisk elmix bedöms ha ungefär samma klimatpåverkan. Genom att göra bränslecellsbilen laddbar reduceras klimatpåverkan kraftigt, liksom energianvändningen.

Jämförs bränslecellsbil med vätgas från vindkraftsel (FCEV Wind) med laddbar bränslecellsbil (Hybridisation Plug-in) med samma typ av el minskar energianvändningen till cirka hälften. Detta beror sannolikt på att el som används direkt för att ladda batterier innebär väsentligt mindre förluster än att gå via elektrolysör till komprimerad vätgas till bränsleceller till elmaskinen. Används el från vindkraft hamnar alla alternativen under 10 g CO₂/km. Batteribilarna ligger på noll. Den konventionella laddhybriden med förbränningsmotor och europeisk elmix saknas i bilden, liksom bränslecellsbilen som använder vätgas producerad med denna elmix. I bilden visas också att ellagring med hjälp av pumpat vatten är ungefär hälften så energiintensivt som att lagra vätgas i berggrum eller motsvarande.

En jämförelse av bränslecellsbilen med naturgasbaserad vätgas med och utan laddmöjlighet illustrerar varför denna bild är litet lurig. Rimligen bör bilen när den inte tankar vätgas laddas med europeisk elmix. I så fall bör utsläppen i eldrift ligga i paritet med batteribilens utsläpp eller högre. Men regelverket för körcykeln räknar med noll utsläpp vid eldrift.

För tunga fordon blir jämförelsen av drivmedel annorlunda då olika prestandaprofiler är relevanta för en lastbil och en buss, därmed krävs olika lösningar. Jämförelsen för utsläpp från olika bränslen är fortfarande giltig, men i en

annan skala. Om de utsläppsmässigt mest gynnsamma teknikerna ska jämföras för tyngre fordon och kommersiella bussar måste även andra aspekter inkluderas som pris och teknikens applikationsmöjligheter. I en prognosstudie som gjordes för busslinjer i USA och Finland visades bränslecellsdrift vara mycket dyrare än motsvarande batterifordon (Lajunen & Lipman, 2016), denna studie baseras dock främst på värden som väntas sjunka med högre produktion. För tunga lastbilar som måste köra länge blir diskussionen mer riktad mot biobränslen, vätgas och el-vägar, från Figur 3 kan då ses att vätgas från förnybar el ligger bra till. El-vägar bör ha liknande utsläpp, men det kommer bero på framtidens el-mix, och biobränslen kommer fortsatt att ligga lite högre vad det gäller koldioxidutsläpp. På många håll ses ändå inte bränslecellsfordon som ett alternativ för tunga fordon eller personbilar eftersom de har en hög kostnad och det på många håll inte finns en tillräckligt utbredd infrastruktur (Lajunen & Lipman, 2016; Bhatia & Riddell, 2016; Li, et al., 2016; van Hoof, et al., 2015). Dessa aspekter är viktiga att ha i åtanke då det oftast är samma styrmedel som de olika teknikerna tävlar om.

De styrmedel som finns idag för just utsläppsfria fordon eller fordon med låg miljöpåverkan är som tidigare nämnts ofta definierade utifrån avgasrörsutsläpp. Satsningar från regeringar i olika länder fokuserar framför allt på reducerade miljöskatter såsom vägtullar eller skattereduktion generellt, dessa styrmedel inkluderar ofta bränslet såsom biogas, vätgas, etanol mm (C2ES, 2013; California Environmental Protection Agency, 2016; European Commission, 2016; Government of Hong Kong, 2016; Miljöbyrån Ecoplan AB, 2013). Fordonsägarna är därmed i fokus för denna typ av subventioner då de gynnas ekonomiskt av dessa styrmedel. Främst för personbilar finns också styrmedel som mer direkt ger ekonomiska subventioner och då reducerar inköpskostnaden. Dessa subventioner inkluderar bland annat batteri- och bränslecellsfordon och finns bland annat i flertalet länder i Europa.

ICCT publicerade en rapport som visar hur stor genomslagskraft ekonomiska subventioner kan ha. Här visas balansen mellan antalet nya bilar 2014 och hur mycket pengar staten bidragit med relativt totalkostnaden för fordonet. Jämförelsen gjordes för EU-länderna med flest batterifordon; Norge, Nederländerna, Tyskland, UK och Frankrike. Norge har flest nyregistreringar, men också nära 50% av fordonskostnaden är subventionerad (Tietge, et al., 2016). En liknande studie utfördes nyligen i USA där det visades att bland annat Kalifornien och Colorado har lyckats introducera många nollemissionsfordon. Här är det två trender som tydliggörs, att kraftfulla styrmedel och valet mellan många fordonsmodeller båda gynnar introduktionen av låg- och nollemissionsfordon (Kwan, et al., 2016). Den här typen av finansiella styrmedel används även i Kina. Här har det dock lett till en stor ekonomisk belastning för skattebetalarna, vilket kan vara problematiskt med denna typ av styrmedel. Det talas nu om att avveckla programmet helt för nollemissionsfordon med början i 2016 (Strompen, 2016).

Det finns även kombinationer av flera styrmedel som i bonus-malus systemet som nyligen presenterades i Sverige där både utsläppsviktad skatt och ekonomiska subventioner finns med. Detta förslag är också ett bra exempel på hur en definition baserad på avgasrörsutsläpp och primärt på koldioxid påverkar olika tekniker. Detta är specifikt för lätta fordon och gynnar fordon med koldioxidutsläpp under

50 g/km, som leder till inköpspremier på olika nivåer där nollemissionsfordon ligger högst. Andra fordon med alternativa bränslen t.ex. drivna med biogas, etanol eller biodiesel hamnar då på "malus" sidan tillsammans med fossildrivmedel om de släpper ut över 95 g CO₂/km, vilket leder till högre skatt. Likväl blir alternativa bränslen fortfarande lägre beskattade än diesel och bensinbilar. (Statens offentliga utredningar, 2016).

En annan typ av styrmedel riktar sig istället till fordonstillverkarna och strävar efter att motivera en ökad försäljning av nollemissionsfordon. Ett exempel är det system som finns i Kalifornien, med krav på att biltillverkarna ska sälja en viss mängd nollemissionsfordon. Uppfylls inte kraven kan handel mellan fordonstillverkare ske, pengarna från dessa auktioner går sedan till en fond som används för subventioner till nya bilägare. I Kalifornien har emellertid programmet stannat av och det har diskuterats om nedläggning för att använda pengarna till andra riktade satsningar i framtiden (Dillon & Megerian, 2016). Kina har dock pratat om att starta den här typen av program för att kunna fortsätta med sina subventioner som idag resulterar i en allt för hög ekonomisk belastning (Strompen, 2016). I Quebec, Kanada, har det nyligen lanserats en liknande lagstiftning som kräver att bilföretagen uppfyller en försäljningskvot av nollemissionsfordon. Förhoppningen är att detta leder till att biltillverkarna får högre motivation att lansera nya tekniker och inte till att enbart motivera konsumenterna (Green car congress, 2016).

För tunga fordon finns liknande styrmedel som för personbilar, men en rapport beställd av Innovatum AB som sammanfattar olika styrmedel för tunga fordon i Europa visar att skattereduktioner är vanligast (Miljöbyrån Ecoplan AB, 2013). I USA skiljer sig lagstiftningen mellan stater, men styrmedlen baseras fortfarande på skatt och är riktade mot att minska utsläppen när förarna sover och lastbilarna står på tomgång (C2ES, 2013).

I Kina finns enbart subventioner för kommersiella fordon inköpta av företag och dessa är då baserade på skattereduktion, emellertid är de fortfarande för diesel-lastbilar med Euro VI standard som specificeras (Government of Hong Kong, 2016). Inom EU beskrivs även två styrmedel som specifika för tunga fordon, demonstrationsprojekt och bidrag från industriella partners (Miljöbyrån Ecoplan AB, 2013).

Ett exempel på demonstrationsprojekt i EU är Civitas (Civitas, 2016), där man har infört bland annat biogasbussar i flera europeiska städer. Liknande projekt har gjorts med bränslecellsfordon (Hydrogen London, 2013). Vad det gäller bidrag från industriella partners finns det bland annat i Kanada där ett företag som ger ut finansiella bidrag för naturgaslastbilar, men detta är då bränslespecifikt (Fortis BC, 2016).

I Stockholm och Göteborg används en specifik definition för miljölastbilar som påverkar den kommunala upphandlingen samt om de får köras i miljözonerna i stadskärnan (Stockholms stad, 2016). I övrigt i Sverige finns inga specifika premier, men det har varit på förslag att instifta premier för batteribussar, något som avsågs då man inte ville begränsa sig till ett specifikt drivmedel (SVEBIO, Svenska Bioenergiföreningen, 2016). Japan är det enda land med direkt ekonomiska

subventioner för tunga fordon, det går att få bidrag för inköpskostnaden av fordon från staten, och det är då samma policy som för personbilar (JAMA, 2009). För tunga fordon speglas därmed styrmedlen framförallt av skattereduktioner och demonstrationsprojekt för kollektivtrafiken.

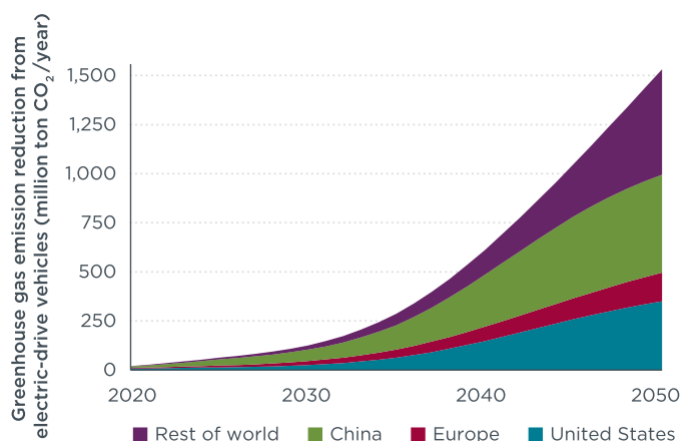
Alla ovannämnda projekt är gynnande för flera olika låg- och nollemissionsfordon. Det finns ett fåtal fordonstypiska projekt som enbart påverkar bränslecellsfordon. De har två syften, att bygga vätgastankstationer och att införa fordon i liten skala kring dessa stationer. Japan har gjort mest inom detta område, man har satsat mycket på bränslecellsfordon och byggandet av tankstationer, år 2015 fanns det 110 miljoner dollar i budgeten för att stödja konstruktion av vätgasstationer (Behling, et al., 2016). En av de mest aktiva städerna i Japan är Tokyo där de vill ha 6000 bilar på vägarna innan olympiska spelen 2020, staden har nu avsatt 45 miljarder yen (över 400 miljoner dollar) för både fordon och tankstationer (Hagiwara & Jie, 2015). Tre av de stora biltillverkarna, Nissan, Honda och Toyota har dessutom lovat att stödja utvecklingen genom att stå för omkostnad och design feedback vid stationsutformning för en säker tankning (Toyota, et al., 2015).

Kalifornien ligger också i framkant med ett program som syftar till att avsätta 20 miljoner dollar per år till byggandet av infrastruktur till dess att de når 100 stationer (California Air Resource Board, 2016). Utöver denna budget avsattes specifikt 46,6 miljoner dollar för snabb utökning med 28 tankstationer i juni 2015 (Maruta, 2016). California Fuel Cell Partnership rapporterar att det finns 22 st kommersiella stationer som framförallt är lokaliserade i Los Angeles och San Fransisco (California Fuel Cell Partnership, 2016). Inom Europa finns ett antal demonstrationsprojekt som kommer stödja byggandet av tankstationer och införandet av ett antal tankstationer, det största nu pågående är H2Me som finansieras till stor del av EU projektet Horizon 2020. Inom projektet utlovats 1 400 bränslecellsfordon eller fordon med bränsleceller som räckviddsförlängare och 49 tankstationer runt om i olika länder (Skulasson, 2016). Tidigare har det funnits flertalet mindre projekt, men dessa är de största pågående på lätta fordonssidan. För tunga fordon finns några demonstrationsprojekt och fler verkar komma, och även här är utbyggnaden av infrastruktur en nyckelfråga.

En tydlig trend bland fordonssubventioner är att de ofta blir eller är kortsiktiga på grund av ekonomisk belastning eller att utvecklingen inte går som planerat. Sverige är inget undantag i detta fall och de styrmedel som tidigare har funnits tyder på att kontinuerliga bidrag inte är förutsägbara. Till exempel har miljöbilsdefinitionen ändrats flera gånger, vilket gör att konsumenter som skaffat en miljöbil kanske inte får stöd så som planerat (Lönnqvist, et al., 2016). Samma beteende finns också i andra delar av världen (Strompen, 2016). Detta gäller också för tunga fordon och kan leda till att investerare tvekar.

Europa utreder hur framtida styrmedel ska utformas på bästa sätt och verkar följa samma riktning som existerande. Detta kommer förmodligen innebära en fortsatt blandning av skattereduktioner, demonstrationsprojekt och finansiella subventioner (European Commission c, 2016). Utformningen av dessa policyer kommer till stor del att påverka införandet av alternativa drivlinor. Mycket kommer bero på hur kraven formuleras, enbart avgasrösläppsbaserade definitioner för växthusgaser anses väldigt begränsande, samtidigt är det svårt att

formulera en lagstiftning för hela kedjan från källa till körning (de Wilde & Kroon, 2013). I en rapport visas genomslagskraften för koldioxidreduktion om fler fordon byts ut mot elektriskt drivna, se Figur 4 (Lutsey, 2015). Figuren förutsätter även att elproduktionen succesivt minskar sina koldioxidutsläpp enligt prognos annars skulle vinsten inte vara lika stor. Detta indikerar att det kommer satsas på nollemissionsfordon för att nå de utsläppsmål som finns uppsatta fram till 2050.



Figur 4: Minskning av koldioxidutsläpp med ökande mängd elektriska fordon på vägarna i olika länder (Lutsey, 2015)

2.1.4 Övriga lagar och policyer

Det som framförallt anses kunna påverka införandet av bränslecellsfordon utöver emissionslagstiftningen är lagstiftning som begränsar placering av tankstationer eller framförelse av fordon. Detta kan som tidigare nämnt vara relaterat till säkerhets- och miljöaspekter. För tankstationer är det framförallt säkerhetslagstiftningen som påverkar, den är ganska välutvecklad både i Sverige och andra delar av världen. I Sverige gäller samma lagstiftning som för naturgas då båda räknas som brandfarlig gas och täcks av följande lagar: SÄIFS 2000:4, SRVFS 2004:7 och MSBFS 3013:3 (MSB, 2016). Dessa sammanfattas i en handbok för utvärdering av tillståndsprövning utgiven av MSB, där specificeras olika avstånd som bör finnas runt tankstationer med gasbehållare (MSB, 2011). De övergripande begränsningarna som påverkar placering av tankstationer har sammanfattats i Tabell 2 nedan.

Tabell 2 - Avståndsbegränsningar gastankstationer.

	Avstånd till gaslager <4000 liter	Avstånd till gaslager >4000 liter	Avstånd till dispenser
Stationsbyggnad (med butik)	6 m	25 m	6 m
Svårutrymd lokal T.ex. skola, sjukhus	100 m	100 m	100 m
Motorväg	25 m	25 m	25 m
50km/h väg	10 m	10 m	10 m
Elledningar 12-420 kV	15-60 m	15-60 m	15-60 m

Principiellt finns det inte några begränsningar för tankstationer i städer, men gaslager får aldrig finnas i byggnader där personer vistas regelbundet vilket innebär att stationer under hyreshus eller alltför nära byggnader är begränsat. Inom EU finns en generell utredning av hur vätgastankstationer ska utformas med liknande specifikationer för avstånd, här specificeras även att vätgastankning kan ske på samma station som bensin och diesel (Hyapproval, 2008). Dessa begränsningar och säkerhetskrav är liknande i andra delar av världen där det idag finns flertalet tankstationer (H2 & FC, 2016).

Bränslecellsfordon följer idag samma lagstiftning som naturgasfordon. Det som allmänheten framför allt oroar sig för gällande fordonen är explosionsrisken och brandfarligheten. I Sverige kommer vätgasspecifik lagstiftning förmodligen bygga mycket på hur naturgasfordon hanteras. I lagstiftningen finns det bland annat specificerat att icke skadade fordon hanteras som vilka andra fordon som helst vad det gäller parkering och liknande. De största skillnaderna är hur skadade fordon hanteras och hur säkerhetsmiljön ser ut för reparatörer, t.ex. måste tanken på fordonet tömmas innan den tas in för reparation (MSB, 2012). I Europa finns det vissa färjor som inte tillåter gasbilar och i kanaltunneln är det förbjudet att åka med en gasbil (Holmström, 2008). Transportstyrelsen ser idag inga hinder för bränslecellsfordon på färjor eller i tunnlar och meddelar att vad det gäller parkeringsgarage kommer det förmodligen att bestämmas av fastighetsägarna (Törnquist, 2016). Det som är sagt angående tunnlar från MSB:s sida är att det bestäms på länsnivå och kan därmed komma lokala direktiv framförallt för transport av större mängder som då räknas som farligt gods (MSB, 2014). Därmed finns inga större hinder vad det gäller parkering eller körning i dagsläget. Detta stöds av standarder och påståenden i USA och Japan med mer utvecklad fordonsflotta och infrastruktur. Idag finns alltså generellt inga hinder för hur bilarna får användas. I lagstiftningarna läggs mer fokus på att göra fordonen tillräckligt säkra för att köra överallt, inte att begränsa var man får köra bilarna/lastbilarna (H2 & FC, 2016).

Något annat som i framtiden kan komma att begränsa fordonens framförelse är krav på ljudnivåer. I de flesta städer vill man till stor del minska ljud från vägarna. Samtidigt har det varit uppe i diskussion att tysta bilar som batteri-, bränslecells- och hybridfordon måste avge ljud för övriga trafikanters säkerhet. EU-lagstiftningen har satt ett krav på en lägsta ljudnivå för nya fordon inom denna kategori. Lagstiftningen gäller vid låga hastigheter och ljudet måste även visa när fordonet accelererar. Vid höga hastigheter finns inget krav så ljud från motorvägar och landsvägar kommer minska med introduktionen av denna typ av fordon (European Commission d, 2014).

2.2 INFRASTRUKTURBEHOV EL OCH VÄTGAS

Att etablera en ny drivmedelsinfrastruktur är ett stort beslut som medför inte bara stora investeringskostnader utan också ingrepp i människor vardag och kräver nya beteenden. Nya drivmedel som el och vätgas medför också stora ingrepp i den etablerade internationella handeln för bränslen främst då oljehandeln. Det är då viktigt att de nya drivmedlen medför betydande fördelar för konsumenter och länder.

Vätgas kan produceras på många sätt. Idag är industriell vätgas producerad från reformering av naturgas den vanligaste metoden. Denna vätgas har klimatpåverkan då utsläpp av koldioxid sker i reformeringsprocessen.

Det är flera olika direkta behov som bör uppfyllas.

- Behovet att kunna ladda eller tanka sitt fordon för att kunna företa kortare eller längre resor.
- Behovet av att kunna framföra fordonet med klimatvänlig energi och minimala avgasrörsutsläpp. Det vill säga låg eller ingen påverkan på närmiljön och även klimatet.

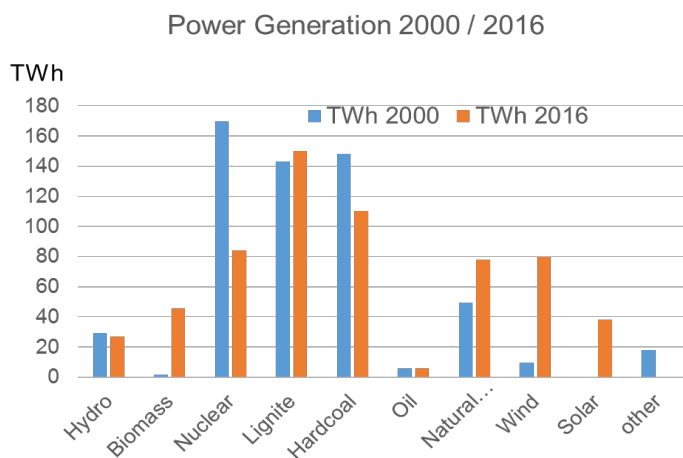
Infrastrukturen för att ladda eller tanka sitt fordon bestäms av bränslet som ska användas i fordonen. Dagens infrastruktur för fordonsbränsle domineras av flytande bränslen främst olika kvalitéer av bensin och diesel. Även andra bränslen har i vissa områden en etablerad infrastruktur exempelvis CNG, LPG och blandningar med alkohol typ E85.

En fungerande infrastruktur för laddbara fordon finns på de flesta håll. För laddbara fordon finns emellertid önskemål och krav på att etablera snabbladdningsstationer speciellt längs större vägar. De behövs främst på grund av batterifordonens idag begränsade räckvidd vilket kan göra det svårt för laddbara fordon att köra långa sträckor inom en rimlig tid. Laddning vid så kallade snabbladdningsstationer tar normalt sett väsentligt längre tid än tankning av konventionella fordon.

Sammansättningen av elproduktionen varierar kraftigt mellan olika globala elområden. Fortfarande är i Europa, USA och Asien fossila bränslen som kol och naturgas dominerande för elproduktion. Trenden är dock att de förnybara alternativen med sol och vindkraft ökar kraftigt och ökar sina marknadsandelar. I Europa beror denna tendens till stor del av styrmedel men tillverkningsvolymerna för förnybar produktion har ökat kraftigt och därmed har produktionskostnaderna för sol- och vindkraftteknik minskat. Idag kan dessa anläggningar i vissa fall direkt vara konkurrenskraftiga mot konventionella fossila kraftverk. Det beror naturligtvis på lokala förhållanden som tillgång till sol och vind.

Förutom Nord Pool och en del andra områden med liknande förhållanden som till exempel i Schweiz, Frankrike och Kanada där en stor del av elproduktionen kommer från fossilfria bränslen så innehåller dagens el-mix globalt en hel del utsläpp av växthusgaser. Det påverkar direkt laddbara fordon men potentiellt även vätgas som energibärare eftersom vätgasen kan produceras med elektrolys med el från elnätet.

Primärt gäller att både laddbara fordon och vätgasfordon inte har några störande avgasrörsutsläpp samtidigt som de är relativt tysta. Detta gör att båda dessa tekniker ger en klar förbättring av den lokala miljön. Klimatpåverkan kommer att förbättras i de flesta fall eftersom andelen förnybar elproduktion förväntas öka globalt och fordonen använder energin mer effektivt.



Figur 5: Tysk elproduktion 2000 och 2016 (BMWi Energiedaten)

Figur 5 visar förändringen av elproduktionen i Tyskland från år 2000 till 2016. Observera att kärnkraften har halverats och att elproduktion från sol och vind samt biomassa har ökat kraftigt och har nu betydande andelar av produktionen. Kol både stenkol och brunkol (Lignite) är fortfarande dominerande och naturgasen har ökat (Natural...). Detta gör att el-mixen fortfarande har väsentliga utsläpp av växthusgaser. Visionen i Tyskland är att den förnybara delen ska öka samtidigt som kärnkraften ska avvecklas. För att el och vätgas ska anses vara utan eller med minimal klimatpåverkan så måste el köpas direkt från anläggningar som producerar förnybar el. Det samma gäller produktionen av vätgas med elektrolys.

I Nord Pool området är större delen av elproduktionen utan direkta utsläpp av växthusgaser speciellt om biomassa räknas som förnybart och klimatneutralt. Elproduktionen i Nord Pool domineras av vattenkraft, kärnkraft och vindkraft.

Behovet av de olika stationerna för att ladda och tanka fordon med el eller vätgas skiljer sig ganska markant beroende på tillgänglig räckvidd och tiden för att ladda respektive tanka fordonet.

Generellt så behövs det fler laddplatser för laddbara fordon jämfört med vätgastankstationer. I Tabell 3 jämförs tre typer av fordon. För att renodla analysen avses här med laddbara fordon batterifordon, dvs. olika former av laddhybrider, fordon med räckviddsförlängare berörs inte.

Tabell 3: Jämförelse olika fordon

	Laddbara fordon	Vätgasfordon	Diesel/ bensin fordon
Tankningstid	Laddbara fordon har den längsta tankningstiden av alla. Även snabbbladdning tar längre tid ofta ca en halvtimme	Vätgasfordon går snabbt att tanka i regel minuter. Det gäller även 700 bars tankning som dock kan ta lite längre tid beroende på teknik.	Diesel/bensin fordon går att tanka på några minuter
Tillgänglighet	För villaägare går det att ladda fordonet hemma. Antalet laddstolpar vid parkeringsplatser med kapacitet att ladda batteribilar ökar liksom antalet snabbbladdningsstationer.	Idag finns enbart enstaka stationer för tankning av vätgas. Nätet av tankstationer byggs ut allt eftersom marknaden växer. Det krävs offentliga medel för en snabb utbyggnad.	Det finns sedan länge ett väl utbyggt globalt nät av tankstationer.
Bränslekostnad	Bränslekostnaden beror främst på det lokala elpriset. Hur beskattning för el för laddbara fordonen kommer att se ut i framtiden är högst osäkert. Eventuellt kommer elmixen och miljöpåverkan att påverka beskattningen.	Kostnaden för vätgas beror till stor del på hur vätgasen produceras. Reformerings av naturgas är idag billigast och vanligast. Att producera förnybar vätgas blir förmodligen ett krav i framtiden.	Idag är större delen konsumentens bränslekostnad för bensin och diesel olika former av skatter.
Beroende av politiska beslut Alla drivmedel är starkt beroende av skatter och olika stödåtgärder	Begränsat beroende eftersom infrastrukturen för el är väl utbyggd och används inom många områden. Bidrag ges idag i många länder, inklusive Sverige. Beskattningsfrågan i framtiden är dock osäker.	Utbyggnaden av infrastrukturen för vätgas påskyndas i nuläget genom bidrag.	Idag är i Europa större delen av kundpriset vid pumpen olika skatter. Kraven på rena fordon i stads kärnor kan få stor betydelse.
Klimatpåverkan	Helt beroende på typ av elproduktion.	Beroende av tekniken för att producera vätgasen	Utsläpp av växthusgaser vid produktion och användning

I dagsläget finns det väsentligt fler batterifordon än bränslecellsfordon i drift, vilket ger en större erfarenhet från användning av BEV. Tidigare diskuterades batteribyte som ett effektivt sätt att förkorta laddningstiden för BEV. Det urladdade batteriet byttes helt enkelt ut mot ett fulladdat. Det kan göras snabbt. Detta har aldrig gjorts i praktiken i kommersiell användning. Det finns fortfarande helt enkelt många olösta problem främst juridiska till exempel äganderätt till batterier, försäkringsfrågor vid skador och kanske främst att det kan skapa oönskade monopol. Men det kan eventuellt vara en lösning för framtiden. Systemet kräver standardisering om det ska etableras i större skala. Det kan vara lämpligt i första hand för taxiföretag eller liknade bilpooler. Det finns ett etablerat företag i Tyskland och Kalifornien BattSwap. Med BattSwaps teknik så byts batteriet på 30 sekunder (se <http://battswap.com/>).

Idag gör industrin för BEV åtgärder för att förlänga batteriets livslängd eftersom batterierna fortfarande är relativt dyra för konsumenterna. De utgör en betydande del av fordonets inköpskostnad. Nissan och General Motors och andra biltillverkare ger för närvarande EV batteri garantier för åtta år och 100 000 miles ca 16 000 mil. Detta gör att det förmodligen räcker med högst ett batteribyte under bilens livstid. Det ställer dock en del krav exempelvis Nissan LEAF, kräver att laddningen ska stoppas vid 80 procent. Nissan LEAF har 12 streck som visar batteriets laddning. De rekommenderar en laddningsnivå mellan 2 och 10 streck. Detta minskar den tillgängliga räckvidden, men kan i hög grad öka livslängden på batteriet.

Snabbladdning är användbart när fordonet ska köras långa sträckor men snabbladdningar minskar batteriets livslängd. Snabbladdning beskrivs i detalj på denna länk: http://batteryuniversity.com/learn/article/ultra_fast_chargers

Frekvent användning av snabbladdning kostar ungefär en procent av kapaciteten per år. Till exempel, om du undviker snabbladdning, kan du ha 80 procent batterikapacitet kvar efter 10 år vid normal användning. Men om snabbladdning är den primära tankningsmetoden, då skulle batteriets kapacitet vara cirka 70 procent efter 10 år. Det skulle för normalanvändaren förmodligen innebära att påverkan av snabbladdning på för batteriets livslängd inte uppfattas så avgörande att snabbladdning inte bör användas. Påverkan beror förmodligen också på hur urladdat batteriet är när det snabbladdas och hur mycket laddning som görs. Det är också viktigt att undvika snabbladdning av ett kallt batteri.

Laddnings- och urladdningshastigheter för ett batteri styrs av C-rate. 1C innebär att ett fulladdat batteri med kapaciteten 1Ah laddas/urladdas ur med 1A under en timme. Samma batteris urladdning vid 0.5C ger 500mA under två timmar, och vid 2C ger det 2A i 30 minuter.

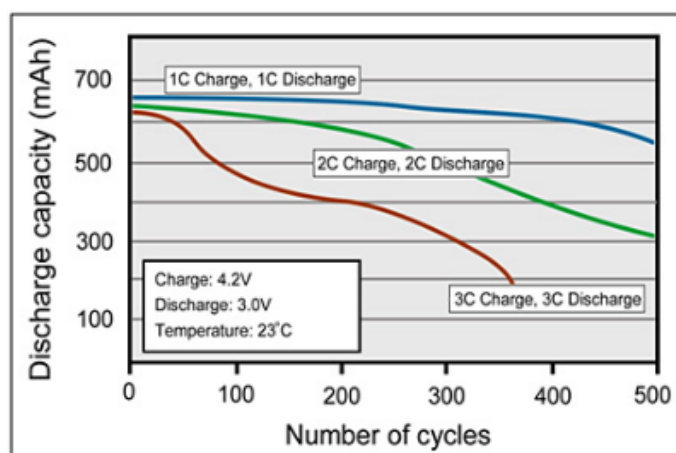


Figure 2: Cycle performance of Li-ion with 1C, 2C and 3C charge and discharge. Charging and discharging Li-ion above 1C reduces service life. Use a slower charge and discharge if possible. This rule applies to most batteries.

Figur 6: Snabbladdning och livslängd (wikipedia)

Figur 6 visar exempel på hur olika laddningstider påverkar batteriets livslängd.

Supercharger stations kan ladda en Tesla Model S på 30 minuter, den ska då kunna köras 27 mil. En full laddning tar 75 minuter. De använder multipla enheter 120 kW likström. Tesla har etablerat ca 600 Supercharger station runt om i världen.

Att etablera en infrastruktur för laddningsbara fordon respektive vätgasfordon har en del helt olika förutsättningar och problem.

El

- Det går att ladda en batteribil där det finns el framdragen. Laddning hemma är vanligt och en enkel teknik.
- Många uppskattar att slippa köra till tankstationen, i synnerhet i länder där tankstationen inte upplevs som en trygg plats.
- För tätorter med endast begränsat med privata parkeringsplatser och mycket gatuparkering är laddplatser svårare att etablera.
- Det är tekniskt okomplicerat att bygga ut laddstationer och det är därför lämpligt även för privata initiativ.
- Snabbladdningsstationer kräver större investeringar och en placering där elnätet har tillräcklig kapacitet.
- Batteribilarna får allt längre räckvidd på flera 10-tals mil. Ökad räckvidd kräver allt annat lika längre laddningstid.
- Batteribytesteknik kan komma i framtiden men det kräver utveckling och juridiska lösningar.

Vätgas

- Det finns ännu bara ett fåtal modeller av vätgasbilar och de är svårtillgängliga för vanliga konsumenter. Det gör att intresset för att idag bygga ut infrastrukturen är begränsat i större delen av världen.
- Att tanka ett vätgasfordon kräver inget förändrat beteende hos användaren som idag tankar ett flytande drivmedel eller gas.
- Att etablera vätgasstationer är kostsamt och kräver i regel någon form av subventioner. Idag är utbyggnaden av infrastrukturen till stor del finansierad av EU, DOE i USA eller NEDO i Japan.
- Eftersom det går snabbt att tanka en vätgasbil och körsträckan kan vara relativt lång så krävs det inte så många tankstationer och utbyggnaden och koncentrationen av tankstationer kan ökas i takt med antalet fordon,
- Ökningen av vätgasstrycket ombord från 350 bar till 700 bar har ökat den möjliga körsträckan men fördyrat tankstationerna och komplicerat tankningsförloppet.

För båda teknikerna krävs i startskedet politiska beslut och styrmedel för att kunna konkurrera med befintlig teknik som bensin och diesel. Industrin måste också vidareutveckla teknikerna speciellt lagring ombord och tankningsförfarande.

2.3 FRAMTIDEN FÖR BRÄNSLECELLER I TUNGA FORDON

Vätgas dominerar som tänkt drivmedel för bränslecellsfordon. En viktig faktor för lämpligheten för olika drivmedel och drivlinor är hur energiförsörjningen till landet eller regionen ser ut. El men även vätgas är dyrt att lagra i jämförelse med kol, olja och naturgas. Samtidigt innebär utvecklingen mot mindre andel fossila

bränslen för elproduktion gör att lagringsbehoven snarare ökar än minskar. Vattenkraft är i detta avseendet mycket bra då det är lätt att variera uttaget av el direkt beroende av behovet. Elproduktion från vind och sol varierar av naturliga skäl över dygnet och över säsongerna, vilket gör att lagringsbehov uppstår.

Att använda vätgas som lager för el är sannolikt inte någon idealisk lösning på grund av de två energiomvandlingar som krävs, vilka innebär förluster. Vätgas från överskotts el är mer intressant om vätgasen också används direkt, exempelvis som drivmedel. Japans planer på att importera vätgas för att använda både som drivmedel och för elproduktion är givetvis också ett upplägg som motiverar vätgas som energilager.

Tunga fordon används enligt andra principer än privatbilar. Tunga fordon är främst produktionsmaskiner som ska användas så mycket som möjligt till en låg kostnad och med hög driftsäkerhet. Tunga fordon både för fjärrtransporter och lokala transporter har krav på minskade utsläpp både lokala emissioner och även klimatutsläpp ökat och är idag viktiga parametrar för val och användning av tunga fordon. Främst de lokala emissionerna påverkas av olika styrmedel till exempel tillgänglighet till stadskärnor.

I princip är tyngre batteri- och bränslecellsfordon mest lämpade för användning i områden som är känsliga för luftföroreningar och för ljud från trafik. Det är typiskt stadskärnor och andra bebodda områden som har denna typ av krav till exempel sjukhus, turistområden m.fl. Det kan också vara industriellt känsliga områden med tunga fordon som används inomhus, i tunnlar och gruvor. Tekniken har också stor fördel i områden som har problem med luftföroreningar. Det kan vara stora städer i till exempel Kina, USA då speciellt i Kalifornien, Korea m.fl.

Om el och/eller vätgasen är producerad från förnybara råvaror är det naturligtvis en fördel ur klimatsynpunkt att använda förnybara bränslen istället för fossila. Den största drivkraften för användaren är den lokala miljön, både emissioner och ljud.

Intresset för att använda tyngre fordon med batteri- och bränslecellsdrift har börjat vakna och flera olika tekniker används, demonstreras och diskuteras. Hittills så är batteri- och bränslecellsdrift mest lämpat för lokala fordon. Den önskade användningstiden, räckvidden och tankningsmöjligheter sätter gränser för dagens teknik. Vid begränsade områden som exempel hamnområden eller lokaltrafik så kan batteridrift och bränslecelldrift användas utan större problem eftersom de kan laddas och tankas i närområdet.

De tunga transporterna i stora städer är ofta i anslutning till stora hamnområden. Där är det i regel inte möjligt att undvika tunga transporter. En amerikansk studie gjord av Port of Long Beach, en av USA största hamnar, visar att de känsliga områdena och bränslecellsteknikens praktiska möjligheter är för transportavstånd på upp till 320 km, enligt Jon Slingerup keynote speech FCS2015. Distributionsfordon i städer är ett lämpligt användningsområde för bränslecellsfordon. Då täcks stora delar från Long Beach till industriområden i södra Kalifornien.

Hybridfordon med både kraftfulla batterier och bränsleceller kan komma att bli en konkurrenskraftig produkt eftersom kombinationen gör fordonet mer mångsidigt.

Som nämnts i tidigare avsnitt så varierar elproduktionen kraftigt mellan olika globala områden. Fortfarande är det i Europa, USA och Asien fossila bränslen som kol och naturgas dominerande för elproduktion. Trenden är dock att de förnybara alternativen med sol- och vindkraft ökar kraftigt och tar marknadsandelar. I Tabell 4 sammanfattas några aspekter.

Tabell 4: Jämförelse fordonstyper och infrastrukturbehov

	Batterifordon	Bränslecell laddhybrid	Diesel
Räckvidd	Kort (max ca 150 km)	Medel lång (max ca 300 km)	Lång
Lokala emissioner	I princip inga lokala emissioner. Ljudnivån mycket låg.	I princip inga lokala emissioner. Ljudnivån mycket låg.	Partiklar, Kolväten mm. Ljudnivån kan vara störande.
Klimatpåverkan	Beroende av elmix. Potential till att bli helt förnybar.	Beroende av elmix och typ av vätgasproduktion. Potential att bli helt förnybar.	CO2 utsläpp beror av verkningsgrad och ev. inblandning av biobränslen
Tankningstid	Varierar från flera timmar till halvtimme	Minuter	Minuter
Infrastruktur drivmedel	Relativt enkel att bygga ut men ännu ej fullt etablerad.	Det finns idag ett begränsat antal tankställen och utbyggnaden är kostsam.	Fullt utbyggd
Livslängd	Batteriets livslängd är beroende av laddningstider urladdningar mm	Bränslecellens livslängd medellång x000 h 350 bar tankar lång livslängd. 700 bar ännu ej bekräftad.	Lång
Säkerhet	Li-jon batterier risk för brand?	Li-jon batterier risk för brand? Vätgastankarna anses säkrade jämförs med konventionell CNG-teknik.	Väl beprövad

Zero Emission Trucks

What are the differences?

	Balqon	TransPower	US Hybrid	Vision
Transmission	Automatic (dual mode)	Automated Manual Transmission	Automatic	Direct Drive two-speed rear end
Battery Pack/ Fuel Storage	380 kWh LiFePO ₄	269 kWh LiFePO ₄	300 kWh Li-ion (NCA)	130 kWh LiFePO ₄ / 20 kg H ₂
Charger	160 kW FC; DC-DC FC with 500 kWh energy storage unit	Two 70 kW on-board Inverter-Charger Units (ICU)	120 kW FC; 6.6 kW on-board Level 2 charger (backup)	Level 2 charger
Recharge/ Refuel Time	3 hrs (160 kW) 1 hr (DC-DC FC)	4 hrs (70 kW ICU)	3 hrs (120 kW FC)	8 hrs (Level 2)/ 10-15 min H ₂
Range	100-150 miles	70-100 miles	100 miles	200 miles

Figur 7: Nollemissionslastbilar enligt South Coast AQMD

Figur 7 visar olika typer av tunga elfordon i Kalifornien. De stora skillnaderna mellan tunga batterifordon och tunga bränslecellsfordon är räckvidd och laddningstid. Vision påstår nu att räckvidden enkelt kan ökas till 400 miles (64 mil) för bränslecellsmodellen med dubbla vätgastankar. Den kortare laddningstiden för bränslecellsfordonen gör att de kan användas för långa sträckor liknande dagens tunga lastbilar om infrastrukturen för vätgas är utbyggd längs körsträckan. Det bästa alternativet för fordon som ska användas för längre sträckor är förmodligen bränsleceller och ett kraftfullt batteri som används i samverkan.



- 320 kW electric motor
- Direct drive w/ two-speed rear end
- Parallel hybrid system with 33 kW PEM fuel cell
- 130 kWh battery pack (Lithium Iron Phosphate)
- 20kg hydrogen storage

Figur 8: Vision Tyrano FC

Vision hävdar att deras Class 8 lastbil är tre gånger så tyst som motsvarande diesellastbil, driftskostnaderna är hälften så stora som en LNG driven lastbil. Vision Tyrano testas nu i södra Kalifornien av flera olika företag. Det finns ca ett tiotal lastbilar i drift, se <http://www.hydrogencarsnow.com/index.php/vision-tyrano-truck/>



Figur 9: Nikola Motor Class 8 truck (Nikolamotor.com)

Kanske mer känd men ännu inte ute på marknaden är Nikola Motors lastbil. Det är också en stor Class 8 truck som kommer att finnas i flera olika versioner från eldriven dagbil till Sleeper med hotellkomfort. De versioner som ska användas mer än 100 miles per dag kommer att förses med bränsleceller och vätgastankar. I konceptet ingår att bygga upp en infrastruktur för vätgas längs de vägar som är avsedda för Nikola Motors fordon.

Lastbilen kommer att ha en räckvidd av 1 200 miles motsvarande 200 mil mellan tankningar. Från början hade Nikola Motor tänkt ha en gasturbin som räckviddsförlängare men det konceptet har de nu lämnat. Den första lastbilarna kommer att testas ute på fältet hösten 2017 och full produktion beräknas komma igång 2020.

Både Vision Tyrano och Nikola Motor har samma principer att om fordonen ska användas mer än 100 miles per dag så kan en räckviddsförlängare i form av en vätgasdriven bränslecell användas. Båda koncepten har kraftfulla batterier så de är en typ av laddhybridfordon. Batterierna kan även behövas till exempel i uppförslut med tung last. Vätgas är det enda bränslet som nämns tillsammans med PEFC bränsleceller. I ett längre perspektiv kan kanske flytande bränsle och möjligtvis även SOFC bränsleceller användas som räckviddsförlängare.

Tillverkarna och användarna är också överens om att vid längre sträckor så är det med dagens teknik inte lämpligt att enbart använda batterier eftersom laddningen tar för lång tid och det är inte ekonomiskt försvarbart. Däremot om den dagliga körsträckan är mindre än ca 100 miles (16 mil) så kan batterier med fördel vara den enda drivkällan.

Att det finns och kommer att finnas behov av batteri- och bränslecellsdrivna tunga fordon är uppenbart för att dels förbättra den lokala miljön, dels minska utsläppen av växthusgaser.

Det pågår flera andra demonstrationer och försök med bränsleceller som drivkälla i tunga fordon. Det europeiska projektet med MAN och PowerCells S3 stack bör nämnas.

- Basfordon: MAN TGS 18.320, som elektrifierats av holländska Emoss och försetts med vätgastanksystem av schweiziska Esoro. Därefter har Swiss Hydrogen ersatt halva batterikapaciteten med en Powercells S3-prototyp, vilket sänkt fordonsvikten med 1,5 ton
- Batterier: Litiumjon, 2 st, på sammanlagt 120 kWh från kinesiska Calb
- Vätgastankar: 7 st, med 350 bars tryck, totalkapacitet 34,5 kg. Tankas fullt på ca 10 min
- Motor: 250 kW synkronmotor från kanadensiska TM4
- Maxvikt: 34 ton
- Räckvidd: 375-400 km

Ett annat projekt involverar Scania som ska bygga vätgasdrivna bränslecellslastbilar till det norska företaget Asko.

Var kan då bränsleceller komma till bäst användning inom den tunga sidan av transportsektorn? Bränslecellsfordon kommer att jämföras med i första hand batteridrivna fordon och olika typer av hybridfordon. Huvudmålet är att minska användning av fossila bränslen. I första hand för att minska klimatutsläpp och lokala emissioner. Andra skäl kan vara att vara självförsörjande med lokalt producerade bränslen och inte vara beroende av olje- och gasindustrin.

En del frågor som kan ha avgörande betydelse för bränsleceller tunga fordon är till exempel:

- Fordonets räckvidd mellan tankningar eller laddningar.
- Tid för bränslepåfyllning respektive laddning av batterier. Den totala transporttiden inklusive laddningar eller tankningar
- Tillgång till tank- och laddningsstationer längs transportvägen
- Tillgång och kostnader för att köpa och använda fordonen
- Livslängd för batterier respektive bränsleceller och vätgastankar.
- Säkerhetsfrågor, brand och explosionsrisker
- Underhåll
- Miljöaspekter

En osäkerhet speciellt för tunga fordon som används regelbundet är hur länge ett batteri håller som används dagligen och hur många laddningar kan göras. Vad händer med batteriets livslängd och prestanda vid kraftiga urladdningar?

Hittills så använder tunga fordon 350 bars tankar men Nikola Motor har nämnt 700 bars tankar. För DOE i USA är kostnaden och livslängden för 700 bars vätgastankar prioriterade forskningsfrågor.

Vätgastankar 350 bar som idag används i tyngre fordon typ Vision Tyrano har en väsentligt längre livslängd och lägre kostnad än 700 bars tankar. Att 700 bars tankarna används i personbilar beror naturligtvis på att utrymmesskäl och att den förväntade livslängden och belastningen är lägre än för kommersiella fordon. Det går att få plats med större mängd energi i 700 bars tanken.

För vätgasfordonen är också 700 bars tankarnas livslängd en osäkerhet. De kraven som US/DOE och EU har idag är att de ska tåla 1500 cykler vilket är vad som krävs för en personbil men för tunga fordon är detta inte tillräckligt. De uppsatta kraven

på 1500 cykler går dock ännu inte att nå med kraven på en kommersiell kostnadsnivå för lagringssystemet se t.ex. <https://energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-onboard-hydrogen-storage-light-duty-vehicles> ;
https://energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/fcto_myrrdd_storage.pdf

3 Fordonstillämpningar med bränsleceller

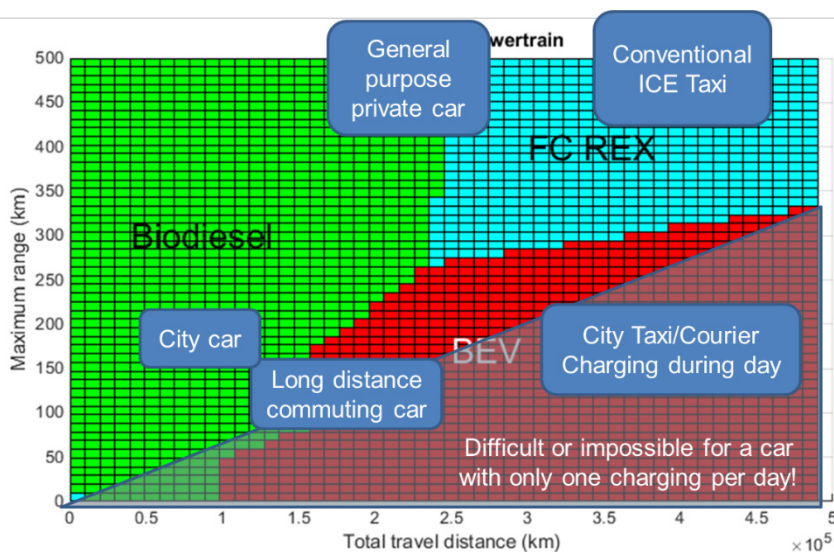
Kapitlet försöker besvara frågan om i vilka tillämpningar som bränslecellsdrift passar.

3.1 DRIVLINEKONFIGURATIONER

Delvis parallellt med detta projekt har RISE Viktoria, SHC/Chalmers tekniska högskola och Vätgas Sverige studerat vilka drivlinor med bränsleceller som förekommer samt tagit fram ett verktyg för att studera under vilka förhållande som olika elektrifierade drivlinor är kostnadseffektiva.

Den inledande halvan av projektet indikerar att bland det hundratal olika fordon som visats med bränsleceller i drivlinan dominerar icke laddbara hybridlösningar kraftigt bland personbilar och bussar. Bara ett fåtal lastbilar har visats och därför är det svårt att dra några slutsatser för dem. Beaktas dessutom vilka fordon som även har tillverkats är dominansen för hybridlösningarna ännu mycket större.

Den andra halvan av projektet, simuleringsverktyget, indikerar resultat av intresse inte bara för bränslecellsfordon utan för alla typer av elektrifiering. Ganska självklart men likafullt väsentligt resultat är att batteridrivna fordon måste köras mycket för att den låga drivmedelskostnaden ska uppväga batterikostnaden. Det betyder också att batteriet helst ska användas mycket, dvs. köras många fulla cykler. Fordon med mycket stora batterier har svårt att bli attraktiva rent ekonomiskt eftersom det är svårt, åtminstone för privatbilisten, att använda dessa batterier i tillräcklig utsträckning. Fordon som kan ladda ofta och klarar sig med relativt små batterier har bäst förutsättningar att bli kostnadseffektiva. Stadsbussar med ändhållplatsladdning är ett sådant exempel.



Figur 10: Resultat av drivlinekonfigurationsprojektet

Figur 10 visar en totalkostnadsanalys med olika drivlinor (biodiesel = förbränningsmotorfordon, BEV = batterifordon och FC REX = batterifordon med vätagasdriven bränslecellsräckviddsförlängare). Mot bakgrund av en del antaganden jämförs kostnaden för investering och drift av bränslecellsfordon, batterifordon, förbränningsmotorfordon med biodrivmedel, samt två olika varianter av batterifordon med räckviddsförlängare, en med bränsleceller och en med förbränningsmotor.

Analysen visar på karaktärsskillnad i hur kostnaden för bränslecellsfordon och batterifordon varierar i förhållande till dimensionerna räckvidd per tank och total körsträcka under fordonets livslängd. Det är tydligt att batteridrift är bäst när räckviddskraven är måttliga och den totala körsträckan är lång. Konsekvensen av detta är att batterifordon bör laddas flera gånger om dagen för att bli kostnadsmässigt attraktiva.

En jämförelse av alla alternativen visar att förbränningsmotorfordonet med biodiesel i kraft av sin låga investeringskostnad är attraktivast för tillämpningar med kort och måttlig körsträcka under fordonets livstid. I hörnet med lång total körsträcka och hyfsad räckvidd per tank (eller laddning) hamnar batterifordon med bränsleceller som räckviddsförlängare. Denna del av marknaden omfattar inte så många fordon men då de används mycket omfattar den en icke försumbar del av totalt transportarbete. Dock sträcker sig tillämpningsområdet ner till att tangerar den stora bulken av personbilar idag, dvs fordon som totalt körs cirka 20 000 mil och har en räckvidd på 50 mil.

Viktigt att notera är att analysen studerar kostnader. Fordonsmarknadens utveckling styrs som bekant av fler faktorer än kostnader, bland dem tycke och smak. Härvidlag skiljer sig kommersiella fordon från privata bilar då användarna av de förra gör mer rationella investeringar. Dessutom har politiken stort inflytande då kostnaden för och utbudet av drivmedel har stor betydelse för alternativens konkurrenskraft.

Jämförs projektets första och andra del kan några skillnader noteras. En viktig skillnad är att bränsleceller som räckviddsförlängare uppvisar bättre totalekonomi än den idag dominerande lösningen med bränsleceller, dvs. ej laddbara bränslecellshybrider. Avgörande för denna slutsats är emellertid antagandet om att ett batterifordon med räckviddsförlängare till 67 procent körs på el från elnätet. Detta kan vara svårt i praktiken då det precis som för batterifordon torde innebära behov av mycket frekvent laddning, i synnerhet som batteripaketet som antagits i analysen bara är på 10 kWh.

En annan skillnad är att batteridrift ofta positioneras som lämpliga för små fordon som inte kör så långt medan bränslecellsdrift är för stora fordon med längre körsträckor. Kostnadsanalysen tar inte hänsyn till storlek (och vikt) men avseende körsträckor så bör batteribilar köras mycket för att vara konkurrenskraftiga. Det matchar inte segmentet stadsbil särskilt bra med undantag för taxi, möjligtvis. Bränslecellsfordonen ligger mer rätt i detta avseende.

3.2 TUNGA FORDON OCH ARBETSFORDON

Drivlinestudien vars slutsatser redovisas i föregående avsnitt bygger till stor del på uppgifter hämtade från personbilstillämpningar. Merparten av uppgifterna fungerar även för tyngre fordon men det finns skillnader, exempelvis brukar bränslecellsstackar för tunga fordon åsättas en väsentligt högre kostnad per effektenhet för att återspegla lägre produktionsvolym och krav på längre livslängd.

I en rapport från en tongivande forskningsgrupp inom området miljöanpassade transporter vid UC Davis analyseras möjligheterna att nå klimatmålet om 80 procent reduktion av växthusgasutsläppen till 2050 avseende lastbilstransporter i USA (Fulton and Miller, 2015). Forskarna konstaterar att det redan framstår som svårt att hinna med en övergång till fullständig eldrift eftersom det skulle kräva en hög utbytestakt mycket snart för att alla fordon ska hinna bytas ut. Således menar de att dieselmotorer drivna med biodrivmedel troligen kommer att behövas ända fram till 2050. Bland de elektrifierade lösningarna bedöms bränslecellsdrift dominera över batteridrift eftersom det senare inte betraktas som relevant för längre lastbilstransporter. Dessutom bedöms bränslecellsfordon kosta mindre.

En intressant jämförelse avser volymbehovet för olika drivmedel till en lastbil för långväga transporter år 2030. Rapporten indikerar att det behövs ungefär fyra gånger mer volym för den flytande vätgasen jämfört med (bio)diesel för samma räckvidd. Flytande naturgas hamnar i samma jämförelse på knappt dubbla volymen jämfört med diesel. Varken komprimerad vätgas eller batterier finns med i jämförelsen eftersom de bedöms som orealistiska alternativ.

En annan tabell jämför kostnaderna för motsvarande fordon år 2030. Dieselbilen uppskattas kosta 160 000 USD, naturgasbilen (LNG) 187 000 USD och bränslecells bilen 216 000 USD. I ett par figurer redovisas även totalkostnaden för att köra lastbilar med olika drivmedel och drivlinor och de helelektriska alternativen ligger något högre än övriga för 2030. Författarna noterar dock att kostnadsbilden överlag är ganska lika.

I Europa är dragbilen kompaktare på grund av ett annat regelverk och utrymmet för stora tankar mindre. Då trailern är standardiserad i mycket hög utsträckning är det lämpligt att drivmedlet är på dragbilen. Fordonen rullar en stor andel av dygnets timmar och planeringen av användningen utgår primärt från regelverket för förarens arbetstider. Stopp för att tanka innebär ytterligare bivillkor i planeringen och således merkostnader. Minst 1 000 km räckvidd krävs, helst längre.

Körningen präglas av långa perioder med höga effektuttag. Dagens dieselfordon är undermotoriserade och man tvingas alltså acceptera lägre hastigheter i längre motlut. Möjligheterna att med batterier jämna ut belastningen på den huvudsakliga energiomvandlaren i en seriehybridlösning (dieselmotor eller bränsleceller) begränsas därmed.

Den extrema årliga körsträckan gör att fordonen inte kör så många år i denna tillämpning. Det medför en snabb omsättning i fordonsflottan, vilket är positivt om ny teknik ska introduceras.

Kostnaden för användaren fördelar sig med ungefär en tredjedel för fordon inklusive service, en tredjedel för drivmedel och en tredjedel för föraren.

De tillämpningar som framstår som mest aktuella, om några, är skräddarsydda fordon för specifika transporter. Bränslecellsdrift kan också vara en lösning att beakta som komplement till elvägar.

Distributionslastbilar används för ett brett spektrum av transportbehov. De är kompletta fordon och således finns det mer utrymme för drivmedelstankar. Samtidigt är räckviddskraven normalt sett inte så höga. Tysta och lokalt utsläppsfria fordon åtnjuter fördelar i vissa lokala regelverk, se 2.1.2. Beroende på tillämpning är eldrift i olika former inklusive bränslecellsdrift tekniskt möjliga.

Stadsbussar har under minst tio år lyfts fram som mycket lämpliga för vätgas och bränsleceller. Olika demonstrationsprojekt har också visat att tekniken fungerar. Stadsbussar rullar många timmar per dygn men inte så många mil per år eftersom medelhastigheten normalt sett är mycket låg. Det innebär att en stadsbuss förväntas hålla cirka 15 år och att räckviddskraven är måttliga.

Kollektivtrafiken är ofta politiskt styrd och det betyder ibland att det finns utrymme för att prova nya långsiktigt lovande lösningar, även om de i nuläget inte är kommersiellt konkurrenskraftiga fullt ut. En annan fördel är att stadsbussar tankas på bestämda platser vilket underlättar utbyggnaden av drivmedelsinfrastruktur. Liksom för distributionslastbilar värderas tyst och utsläppsfri trafik högt för stadsbussar.

Kostnadsbilden för en stadsbusstillämpning är cirka 10% för drivmedlet och 45% vardera för förare och fordon.

Batteribussar med frekvent laddning indikerar idag potential att vara konkurrenskraftiga med konventionella drivlinor. Det betyder att denna 'idealiska' nisch för bränslecellsbussar inte längre är självklar. Då egenskaperna för dessa båda elektrifierade bussar i många avseenden är lika kokar kalkylen för den som upphandlar transporten ner till en jämförelse mellan bränsleceller + vätgastankar + hybridbatterier + vätgasförsörjning å ena sidan och batterier + elförsörjning å andra. Allt detta under förutsättning att båda lösningarna ger tillräcklig livslängd.

Empiriska data samlas och tillhandahålls för bussprojekt i USA av National Renewable Energy Laboratory (Eudy, 2016). I den senaste rapporten som publicerades i november 2016 redovisas erfarenheterna från tre olika bussprojekt omfattande totalt 17 40-fots bussar i drift på olika platser i Kalifornien. Två olika typer av bränslecellssystem används; UTC Power och Ballard. Stackarna är på 150 kW och de kompletteras med batterier på mellan 11 och 21 kWh. Trots batteriernas storlek klassas drivlinorna som 'fuel cell dominant'.

Erfarenheterna är bland annat att livslängden på en del system fortfarande i drift närmar sig målet om 25 000 timmar. Förbrukningssiffrorna är sådana att man kommer cirka 40% längre än med motsvarande diesalbuss, dock noteras en långsam försämring i siffrorna. Orsaken är okänd och förklaringar som nämns är att drivsystemet åldras eller att bussarna körs annorlunda.

I en tabell listas 44 bussar som planeras komma i drift under 2017 och 2018. Bränslecellssystemen kommer från Ballard respektive Hydrogenics och de första som sätts i drift år 2016/17 är av typen batteridominanta.

I ett kommande SHC-projekt under 2017 fördjupas diskussionen kring drivlinestudiens implikationer för tyngre fordon.

4 Fordonstillverkarnas ord och handling

Kapitlet redovisar hur en handfull tillverkare av fordon med bränsleceller arbetar idag samt deras planer och strategier. Primärt behandlas Toyota, Nissan, Honda, Hyundai och Daimler.

4.1 TOYOTA

Toyota inledde försäljning av Mirai i december 2014 i Japan. Under 2015 och 2106 blev bilen även tillgänglig för kunder på andra marknader där vätgasinfrastuktur finns. I november 2016 var det inte möjligt att teckna order på en Mirai i Japan eftersom alla bilar för leverans till och med 2019 redan var bokade. I Europa och USA finns det fortfarande möjligheter, dock gäller åtminstone i Europa att bilen inte säljs utan erbjuds i ett fullserviceleasingavtal. Det enda kända avtalet i Sverige är med Dagens Industri till en kostnad om 10 000 kr/månad. Leasingalternativet gäller eftersom Toyota vill säkerställa att bilarna hamnar där det finns möjlighet att tanka dem och ge service. Det handlar inte om att Toyota vill ha tillbaka bilarna när avtalsperioden löpt ut, vilket tidigare ofta har varit fallet i de olika demonstrationsverksamheter som bränslecellsbilar har använts i.

I USA kostar bilen USD 57 500 och den är endast tillgänglig för köpare i Kalifornien. Leasingalternativet kostar USD 349 per månad plus USD 2 499 vid kontrakt. Drivmedel med mera ingår i priset under tre år.

Bilen är fyrsitsig, lyxigt inredd (snarare Lexus än Toyota på insidan), och har goda prestanda. Instrumenteringen liknar den i Toyota Prius. Ljudnivån i bilen är mycket lik den i en batteribil, dock kan man vid ordentligt gaspådrag höra kompressorn som matar stacken med luft. I regnigt och nollgradigt väder med all komfort igång och tre personer i bilen gick det lätt att köra i stadstrafik med många stopp på 1 kg vätgas per 100 km, enligt bilens egen mätare.

Toyota siktar på att tillverka 30 000 Mirai år 2020. Då ska bilen kosta som en hybridbil modell Prius. I nuläget är bilen handbyggd i stor utsträckning, vilket begränsar produktionstakten. Nu bygger man 2 000 per år men snart är takten uppe i 3 000 per år. I september 2016 hade över tusen bilar levererats i Japan, cirka 500 i USA och ett hundratal i Europa. Nästa bränslecellsbil från Toyota blir en Lexus, att döma av tillgänglig information.

Varför gör då Toyota vätgasbilar? Det korta svaret på frågan levererade Katsuhiko Hirose, Project General Manager, R&D Management Division; "Fuel cells are much better than batteries". Då Toyota är en central aktör i batteribranschen ligger det förmodligen mer än bara tyckande i det uttalandet.

Bengt Dalström, informationschef på Toyota i Sverige, förklarade närmare hur man ser på batterier visavi bränsleceller. Batteribranschen lovar i nuläget mer än den kan hålla. Nästan inga företag går med vinst. Kostnads- och prisuppgifter bör tolkas med försiktighet. Medan batterikostnaden till 80 procent består av materialkostnader är denna kostnad bara 20 procent för bränslecellerna. Det är lättare att minska kostnaden för arbetsinsats än för material. Enligt Bengt finns det

en uppenbar risk att dagens batteribilsägare inom några år kommer att drabbas av en tråkig överraskning när batterierna inte längre är så bra och ska bytas. Å ena sidan vill man på Toyota associeras med batteribilarna eftersom det i stora delar av policyvärlden är liktydigt med en miljöanpassad bil. Å andra sidan vill man tydliggöra att bränslecells-bilar inte är batteribilar med tanke på det eventuella bakslag som kan komma.

Bengt Dalström visade den sedvanliga positioneringen av olika drivlinetyper med små batteribilar för stadstrafik, laddhybrider för litet större fordon och längre sträckor och bränsleceller för ytterligare längre sträckor och fordonsstorlekar upp till distributionslastbilsstorlek och bussar.

Veckan efter mötet med Bengt Dalström kom nyheten att Toyota ska börja sälja batteribilar kring 2020 med räckvidd över 300 km och storlek som en Corolla eller Prius. Förvisso finns batteribilar med på kartan över fordon som Toyota bedömer ha en roll framöver men likafullt blir budskapet från Toyota otydligare. Det är naturligt att en av världens största biltillverkare ser till att täcka alla segment på den framtida marknaden. Samtidigt, om nu en bränslecells-bil inom några år ska kosta som en hybridbil typ Prius, då måste en batteribil bli billigare för det räckviddsområde som den görs för. Annars finns det liten anledning att köpa batteribilen. Samtidigt finns det givetvis en period då tillgången på vätgas för fordon är mycket begränsad. Under denna period är en batteribil som huvudsakligen laddas hemma attraktivare för många, även om den kostar något mer i inköp. Dessutom är drivmedlet billigare, vilket dock har begränsad betydelse för bilar för stadstrafik.

Toyota samarbetar med BMW. Exakt vad samarbetet består i är det svårt att få besked om men enligt Bengt så kommer BMW att använda Toyotas bränslecellsdrivlina när företaget väljer att introducera sådana fordon.

Toyota har även gjort några bussar med bränslecellsdrift. Till OS 2020 ska 100 bussar levereras och en del av dem kommer redan under 2017. De använder tio vätgastankar med en total invändig volym på 600 liter.



Figur 11: Toyota Fuel Cell Bus

Tekniskt sett är dessa bussar till stor del baserade på lösningarna i Mirai. Två stackar och fler vätgastankar används dock. Andra bussar använder 350 bars tryck för vätgasen men Toyota kommer att använda 700 bar. Hirose menade att det är kostnadseffektivt att göra så. På frågan om bränslecellerna håller för den längre körsträcka som stadsbussar normalt ska klara så svarade Hirose att det gör de nog. Om det skulle bli aktuellt med ett byte av stackar så skulle det inte vara något problem.

En detalj i specifikationen är att Toyota även i bussen använder nickelmetallhybridbatterier. Även om data för batterierna inte ges så talar det för att det är renodlade hybridbatterier, dvs. fordonet är på samma sätt som Mirai gjort för att primärt hämta energin från bränslecellerna. Jämfört med data för andra bussar har Toyotas buss tillgång till hög maxeffekt (228 kW) och elmaskinerna är dimensionerade med samma maxeffekt.

I Japan bidrar biltillverkarna Toyota, Honda och Nissan med pengar till driften av vätgastankstationerna.

4.2 NISSAN

I september 2016 besökte en mindre delegation Nissan i deras Advanced Technology Center i Atsugi en bit utanför Tokyo. Vi träffade Haruhito Mori, Head of the EV System Research Institute. Han var således inte bara involverad i bränslecellsfordon utan i hela Nissans forskning och utveckling för eldrivna fordon.

I nuläget har Nissan inga bränslecellsfordon i drift utanför den egna testverksamheten. I gengäld har man enligt Mori tagit täten i introduktionen av batteribilar. Trots att flera år har gått och många bilar har tillverkats är det fortfarande en utmanande affär för Nissan. Lönsamheten är dålig och därför vill man inte ta stora kostnader genom att gå ut tidigt med bränslecellsfordon. Utveckling pågår dock och den dag som infrastrukturen är mer komplett kommer Nissan att ha fordon att sälja.

Mori ägnade en del tid åt de svårigheter som uppbyggnaden av en vätgasinfrastruktur innebär och det framgick att han inte var helt glad över att Nissan så tydligt har en annan strategi jämfört med huvudkonkurrenterna Toyota och Honda.



Figur 12: Nissan SOFC REX

Strax före OS i Brasilien 2016 annonserade Nissan att man år 2020 kommer att börja sälja en bränslecellsbil som tankar etanol. Den använder etanolen efter en reformer i fastoxidbränsleceller på 5 kW. Drivlinekonceptet är räckviddsförlängare och det handlar om en batteribil modell Nissan e-NV200 med batterier på 24 kWh som på detta sätt ges en bättre räckvidd. Stacken kommer från brittiska Ceres Power Holdings (GreenCarCongress, 2016). Vid mötet med Nissan tonades denna lösning ner och det betonades att huvudspåret är bränslecellsbilar som tankar vätgas.

4.3 HONDA

Honda och Toyota bevakar och följer varandra noga. På bränslecellssidan har initiativet skiftat mellan tillverkarna. Toyota var förmodligen en bit före Honda när första bränslecellsbilen visades vid EVS i Osaka 1996. Hondas första bränslecellsbilar som visades senare var med bränsleceller från Ballard. När första generationens Clarity lanserades och Honda talade om att den skulle leasas ut i ganska stora antal verkade Honda plötsligt ha initiativet bland tillverkarna. Det var den första dedikerade bränslecellsbilen. Dessutom en ganska lyxig sådan. Dock blev det inte så stora antal som kom ut på vägarna. Honda menade att bristen på tankmöjligheter gjorde att större volymer inte var aktuella.

Toyota återtog initiativet med Mirai och Honda fick precis som på hybridbilsfronten komma som andra tillverkare med sin version. Denna Clarity generation två leasas ut sedan våren 2016 på utvalda marknader. Volymerna är inte tydligt angivna men hittills är indikationen att det är klart lägre siffror än för Toyota.

I Clarity har stack, kraftelektronik, kompressorer och elmaskin packats så att det tar samma utrymme som en V6-motor. Trycket i tankarna har fördubblats till det som merparten använder, dvs 700 bar. En liten tank ligger under baksätet och en

större bakom baksätet. Elmaskinen är på 130 kW och övriga data är häpnadsväckande svåra att hitta med tanke på att bilen faktiskt är på vägarna i Japan.

Bilen ska bli tillgänglig i Kalifornien i slutet av 2016 och räckvidden enligt USEPA är 589 km, vilket är den bästa räckvidden något eldrivet fordon uppnått hittills. Det är möjligt att anmäla intresse för en Clarity med leasingkostnaden USD 369 per månad plus 2 868 USD vid kontraktsskrivning. Då ingår vätgas med mera.

Hondas kommunikation om bränslecellsfordon handlar mycket om helheten. Företaget tillverkar solceller, elektrolysörer och andra teknologier vilket gör att man kan erbjuda en komplett och miljömässigt attraktiv lösning. Tyvärr är den inte lika attraktiv ekonomiskt än så länge. Men flera av teknikerna tillverkas i stora volymer och kostnaderna reduceras kontinuerligt.

Till 2020 ska Honda och GM, vilka samarbetar i bränslecellsutvecklingen, ha fått fram en kostnadseffektiv lösning. Närmare detaljer om detta eller dessa fordon saknas än så länge.

4.4 DAIMLER

Daimler har en gång framstått som ledande i bränslecellssammanhang. Det var mot slutet av nittiotalet. Då lovade man masstillverkning till 2004 och lanserade nya generationer av bränslecellsfordon med hög frekvens; NECAR I, II, III och NEBUS med mera. Särskilt spännande var den NECAR som tankade metanol. Sedan dess har ett antal personbilar i modellerna A-klass och B-klass kommit ut på vägarna med bränslecellsdrift. De tankar numera komprimerad vätgas. Det har dock inte på lång väg blivit någon masstillverkning ännu. På bussidan har Daimler varit och är huvudleverantör till flera EU-projekt. Teknologivalen börjar konvergera mellan bussar och bilar, vilket inte minst för bussidan öppnar för rejäla kostnadsminskningar.

I juni berättade företaget att man under 2017 ska introducera en laddhybrid med bränsleceller. Bilmodellen är en SUV Mercedes GLC och den finns även som laddhybrid med förbränningsmotor. Med ett batteri om cirka 9 kWh uppges den klara upp till 50 km utan användning av vätgas. Kombinerad räckvidd uppges till cirka 500 km. De två vätgastankarna rymmer cirka 4 kg. Bränslecellsstacken förmodas leverera cirka 100 kW.

Precis som Honda har Daimler förpackat merparten av drivpaketet under motorhuven och till skillnad från Honda är det i detta fall klart motiverat eftersom bilmodellen även säljs med förbränningsmotor.

Störst leverantör av stadsbussar till EU-projekt är Daimler genom EvoBus. Den Citaro som företaget tillverkar har levererats i ett antal olika generationer sedan NEBUS presenterades år 1997. Några har rullat inom ramen för CUTE-projektet i Stockholm. Totalt gjordes 40 bussar till CUTE med systerprojekt och därefter har ytterligare ungefär lika många bussar av senare generationer tillverkats. Bussarna inom CUTE använde bränsleceller från XCELLSIS Fuel Cell Engines, en teknologi som numera ingår i Ballard. Senare generationer uppges använda samma bränslecellsstackar som Mercedes personbil B-klass F-Cell, dock två per buss.

Dessa kommer från Automotive Fuel Cell Corporation (AFCC), ett företag samägt av Daimler och Ford.

Rent tekniskt så ska en buss hålla för betydligt fler driftstimmar än en bil. Det gör att bränslecellerna bör konstrueras eller användas annorlunda. Ett sätt att förlänga livslängden är att använda mer katalysatormaterial. Med hjälp av större batterier kan man också tänka sig att den dynamiska belastningen på bussarnas bränsleceller kan minskas, vilket i sin tur reducerar slitaget. Daimlers buss har relativt stora batterier. Dessutom är effekten per bränslecellsstack satt till 60 kW, vilket är lägre än de effekter som personbilslösningarna haft.

Daimler samarbetar med Ford och Nissan/Renault.

4.5 HYUNDAI

År 2013 var Hyundai först med att erbjuda bränslecellsfordon till den bredare publiken med modellen Hyundai ix35 FCV. Då sattes målet att leverera 1 000 bilar till och med 2015. I mitten av 2015 hade knappt 300 bilar levererats i Europa, USA och Korea. Målet reviderades till att gälla 2017 och prissänkning genomfördes. I mars 2016 uppgick antalet bilar i Europa till cirka 250 (Autocar.co.uk, 2016).

Hösten 2016 visade Hyundai en konceptbil några nummer större. Denna skåpbil eller mindre buss modell H350 tar upp till 14 personer eller drygt 10 kubikmeter gods. Med 7 kg vätgas i fyra tankar under golvet uppges räckvidden vara drygt 400 km.

Hyundai har även gjort några större stadsbussar med bränslecellsdrift. Den valda tekniska lösningen påminner om Toyotas men vätgastankarna har dock för bussar sedvanliga 350 bars tryck.

Det finns information om att Korea funderar på att byta ut cirka 2 000 av de 26 000 naturgasbussarna mot drift med vätgas och bränsleceller. Tidsperspektivet för denna storsatsning är oklart. (CHIC, 2016) Mer konkret är att Hyundai ska ta fram ett antal bussar till OS 2018 vinterspelen i Pyeongchang i Sydkorea

4.6 ANDRA EUROPEISKA BILBYGGARE

BMW har visat några konceptfordon och skiljer sig från andra genom att utveckla tankar för flytande vätgas. Dessa "cryo-compressed" termosar klarar dessutom tryck upp till 350 bar. I kommunikationen från BMW under hösten 2016 meddelas att BMW kommer att introducera bränslecellsfordon i mycket liten skala från 2020 och framåt. Först kring 2025 förväntar företaget sig att större volymer kan vara möjliga genom lägre kostnader och bättre tillgång på vätgasmackar.

Volkswagens kommunikation handlar av olika skäl mycket om elektrifiering av fordonen. En stor del handlar om olika batterilösningar och en mindre del om bränsleceller. Volkswagen har nyligen utsett Audi att arbeta med bränslecellsfordon. Företaget samarbetar med Ballard på bränslecellsområdet.

En annan kund till Ballard är Solaris, som ska sätta bränsleceller i trådbussar för att klara sträckor där trådar saknas. Totalt är 10 enheter om vardera 85 kW beställda. Bussarna ska rulla i Riga.

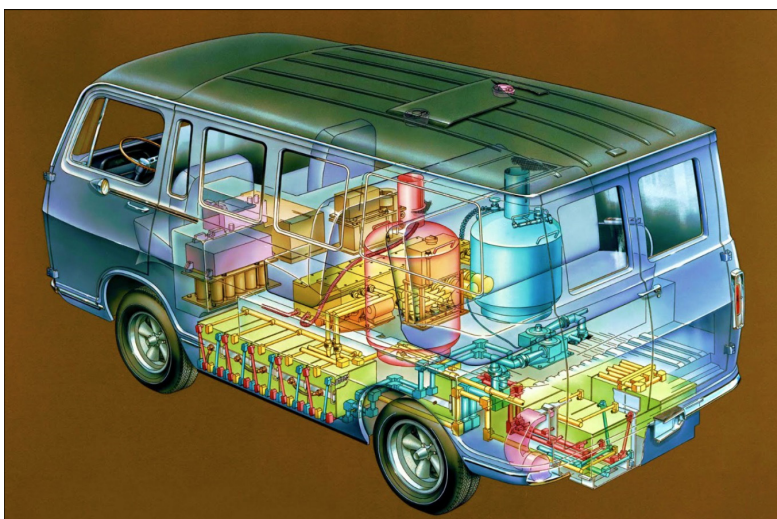


Figur 13: Solaris Trollino REX

4.7 AMERIKANSKA BILINDUSTRIN

Amerikanska bilindustrin hade en mycket stark period för ganska länge sedan. Nu ska rostbältet åter stärkas men frågan är om det blir med fokus på miljöteknik. För 50 år sedan (år 1966) lanserade General Motors sin första bränslecellsbil. Skåpbilen hade två sittplatser och lastutrymmet var fullt med utrustning, se Figur 14.

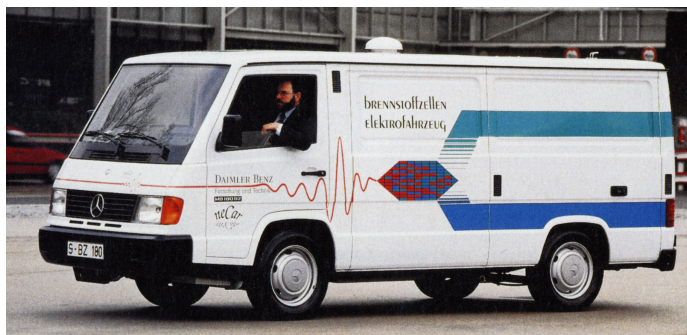
Sedan dess har GM investerat 2,5 miljarder USD i vätgasdrivna bränsleceller, sedan 2013 i samarbete med Honda.



Figur 14: GMs första bränslecellsbil (Källa:GM)

Daimlers första bränslecellsfordon (NECAR 1) presenterades 1994, även det med skåpet fyllt av teknik, se Figur 15. Bränslecellssystemet vägde exempelvis 800 kg.

Uppenbarligen ägnades de mellanliggande 28 åren inte i så stor utsträckning åt utveckling av bränsleceller.



Figur 15: Daimlers första bränslecellsbil (Källa: Daimler)

Åter till USA. GM presenterade hösten 2016 ett nytt bränslecellsfordon, vilket var det första på flera år, bortsett från en obemannad ubåt som också premiärvisades i år. Bilen är utvecklad för militärt bruk och det handlar i nuläget inte om någon serietillverkning, se Figur 16. En kul detalj är att möjligheten att tillvarata vattnet som bränslecellerna producerar nämns som en fördel. Detaljer för drivlinan är inte givna. Likt Toyotas och Hondas bränslecells-bilar kan även denna bil leverera el för andra apparater, hela 25 kW.



Figur 16: Chevrolet Colorado ZH2

Dessa utflykter vid sidan av vägarna från GM kommenterades så här "We will have at least one car in the 2020 time frame, but we're not racing to big production numbers. While we develop a hydrogen infrastructure, we're looking at other opportunities for fuel cells as well." Alan Adler, autonomous and R&D communications at GM (Fuelcellcars.com, 2016).

Ford stoppade en relativt storskalig satsning på en demonstrationsflotta under 2007 och har sedan dess inte visat mycket aktivitet på bränslecellsområdet. Ford och Daimler samäger bränslecellstillverkaren AFCC, Automotive Fuel Cell Corporation, vilket torde borge för att Ford har god tillgång till viktiga delar av tekniken (Forbes.com, 2016).

5 Diskussion – när är bränsleceller konkurrenskraftiga i fordon?

5.1 POLICYPERSPEKTIVET – VAD KRÄVS

Merparten av den policyutveckling som pågår gynnar introduktionen av bränslecellsfordon, då den fokuserar mycket på utsläpp av växthusgaser. Hårdare krav på de lokala utsläppen, minskat buller, högre krav på energieffektivitet och lägre klimatpåverkan är alla faktorer där bränslecellsfordon har goda möjligheter att överträffa merparten av existerande drivlinelösningar. I gott sällskap har den vätgasdrivna bränslecells bilen batteribilen, vilken har liknande och vanligen till och med bättre dylika egenskaper. Den ändrade fordonsbeskattning som införs i Sverige gynnar eldrivna fordon av olika slag.

Problematisksamt med en stor del av policies och regelverk samt än mer med olika demonstrationsinsatser i samband med olympiska spel exempelvis, är att de inte är så långsiktiga som ett teknikskifte av denna dignitet egentligen kräver. Det leder till att aktörerna ofta blir ganska avvaktande och snarare reaktiva än proaktiva.

Viktig och till stor del policydriven är energisektorn. Produktionen av vätgas (eller el) kan göras mer eller mindre miljöanpassat och för att lösningar med vätgas eller el totalt sett ska bli riktigt hållbara krävs det att hela kedjan från primärenergi till utförd transporttjänst är förnybar. I avsnitt 2.2 diskuteras kopplingen mellan energisystemet och bränslecellsfordon.

Nära kopplat till energisektorn är beskattningen av drivmedel. Skatter utgör en stor del av kostnaden som kunderna betalar för fossila drivmedel och en något mindre del som betalas för el. Inte minst etanoläventyret illustrerar att skatteregler har mycket stor påverkan på kundernas val av fordon och drivmedel (vid pumpen).

Mer tekniks specifik policy existerar också. I Sverige ägnar policymakers laddbara bilar stort intresse och en del pengar har satts av för investeringar i laddinfrastruktur. Sverige och en del andra länder med inflytelserik kraftindustri, exempelvis Frankrike, har sedan mycket länge (i perioder) ägnat laddbara fordon stort intresse. Dylik policy underlättar något för bränslecellsfordon genom att den kan bidra till att öka tillverkningsvolymerna för viktiga gemensamma delsystem som elmaskiner och kraftelektronik. Dessutom bidrar den till att låra kunderna att uppskatta eldrift. Men risken finns att den undantränger offentliga investeringar som behövs göras för vätgasdrivna fordon. Även om mycket talar för att både laddbara fordon och vätgasfordon kommer att få en roll på marknaden så kan intresset för att investera i ytterligare en infrastruktur för vätgasfordon minskas om mycket offentliga pengar läggs på laddstationer.

Något långväga förmodligen men icke desto mindre synnerligen tilltalande är att tillverka och tanka vätgasen själv vid villan. I takt med att solceller blir allt billigare och installationerna ökar i antal så blir frågan om självförsörjning av el mer aktuell. En del investerar i batterier för att kunna spara överskott av el. Ett alternativ vore

att konvertera elen till vätgas att ha både som energireserv och för att tanka fordonet. Honda håller på med sådana lösningar.

I avsnitt 2.1.4 ges ett exempel på policy som kan ha stor betydelse för vätgasdrivna fordon; säkerhetsregler för vätgasanläggningar. Japan är i detta avseende motsägelsefullt, å ena sidan aviserar man att vätgas och bränsleceller är nyckellösningar för landet framöver, å andra sidan har man ett regelverk som bland annat kräver att vätgastankstationer måste vara ständigt bemannade. Av detta och andra skäl kostar därför tankning av vätgas kanske dubbelt så mycket i Japan som i andra länder. Förmodligen kommer regelverket att ändras.

På samma tema i Sverige så har lokalisering av tankstationer i centrala lägen planerats bort i mycket hög utsträckning. Enligt avsnitt 2.2 är det troligt att vätgasfordon tankas på samma ställen som dagens fordon som drivs med flytande kolväten. Om tankstationerna flyttas bort från städerna kan det bidra till att bränslecellsfordon, som ju genom sina låga emissioner av ljud och avgaser är lämpade att köra centralt, minskar något i attraktivitet. Men i takt med att räckvidden per tank för bränslecellsbilar börjar närma sig den för förbränningsmotorfordon är det nog ingen stor fråga.

En annan form av policy finns exempelvis i Kalifornien, där ett system av krediter beroende på fordonets räckvidd utan emissioner och annat söker påverka biltillverkarnas utbud av fordon på marknaden. Denna policy är ganska nära kopplad till olika drivlineteknologier och det finns även bidrag till såväl laddstationer som tankstationer för vätgas.

Gröna korridorer och nollemissionszoner framstår som effektiva verktyg för att påverka fordonsutvecklingen. Lokalt kan kommuner och regioner vanligen agera betydligt snabbare och offensivare än vad nationella eller internationella policymakers klarar av. Nollemissionszoner påverkar direkt vilka typer av fordon som får köra i området och det leder snabbt till köp av sådana. Beroende på zonens storlek och typen av transporter som krävs i zonen kan såväl laddbara fordon som bränslecellsfordon vara aktuella.

Lokal policy i form av gynnsammare parkeringsvillkor, lägre trängselskatter, att köra i buss- eller snabbfiler med mera har använts en hel del men verkar i nuläget mindre aktuell, kanske för att dylika incitament är mest lämpade för de riktigt tidiga faserna i introduktionen av nya fordonstyper.

5.2 TEKNO-LOGISKA TILLÄMPNINGAR

Först och främst, det som framstår som logiskt ur ett tekno-ekonomiskt perspektiv behöver inte alls vara det som slår igenom på marknaden. Användarna har sina preferenser som tydligt påverkar vad som går att sälja. På personbilssidan är det helt uppenbart att få köpare gör strikt rationella beslut när fordon ska köpas. På den kommersiella sidan är köpen sannolikt i betydligt högre grad baserade på ekonomiska kalkyler. Även här skiljer sig dock olika köpare åt, exempelvis i termer av långsiktighet och vilja att miljöanpassa verksamheten.

Policyaktörer har också flera faktorer att ta hänsyn till när förändringar i regelverket för fordon och transporter är på gång. I synnerhet för nationella

aktörer väger ofta eventuell påverkan på landets bilindustri och andra transportnäringar in. Helst ska ju förändringarna gynna den egna industrin i förhållande till utländska konkurrenter. Även åsikter från närliggande industrier, i det här fallet kanske i synnerhet kraftindustrin, väger in. Lokala policyaktörer är friare att fatta beslut efter egna preferenser. Helt klart har energiförsörjningssituationen i olika länder stor betydelse för hur policy utvecklas. Japan har en stor omställning på gång, påskyndad av stängningen av nästan alla kärnkraftverk. Där är vätgas som energibärare en viktig del av den övergripande strategin, inte bara för transporterna. Tyskland har satsat stort på vindkraft och solceller för elproduktion och en stor fråga där är regleringen av elproduktionen så att överskott undviks. Sverige har nästan hälften av sin el från vattenkraft och dessutom stora arealer för odling av biomassa.

Biltillverkarnas beslut handlar om en bedömning av vilka lösningar och teknologier som väntas efterfrågas framöver. Delvis beror efterfrågan på hur regelverket då ser ut, delvis beror efterfrågan på kundernas preferenser. Inte minst det senare kan tillverkarna påverka med marknadsföring och annat. Bedömningen handlar också om att skatta hur olika teknologier utvecklas i termer av prestanda och kostnader.

Jämförelsen mellan infrastrukturbehoven för batteri- respektive vätgasfordon visar på såväl likheter som skillnader. En likhet är att mångfalden i lösningar för att tillhandahålla energin till fordonet är stor och osäkerheten är likaledes stor avseende vad som ska bli långsiktigt hållbara lösningar. Även kostnadsbilden är osäker.

Laddbara bilar har fördelen att de kan laddas där de står parkerade och grundbehovet av drivmedel är därför förhållandevis enkelt att möta, åtminstone i Sverige. Publik snabbladdning å andra sidan har flera utmaningar att hantera, exempelvis är effektbehovet för att ladda lika många km/h vid en elmack som en ordinär tankstation kan erbjuda är i storleksordningen 15 MW.

Tankstationerna för vätgas fungerar i flera avseenden som tankstationer för flytande drivmedel och givetvis mycket likt tankstationer för metangas. Dock är det dyrare att etablera stationen och dimensioneringen är svårare eftersom ökade leveransvolymerna kräver högre kapacitet för att komprimera vätgasen alternativt större buffertlager. För att hålla kostnaden nere är det önskvärt att kompressorer och buffertlager arbetar med hög nyttjandegrad.

Vår analys visar att batteridrift är ekonomiskt intressant om batterierna kan hållas små och laddas ofta. Många stadsbusslinjer torde kunna passa utmärkt för batteridrift. För annan stadstrafik med tunga fordon kan bränsleceller passa bättre, eftersom ökad räckvidd inte påverkar kostnaden och vikten lika mycket.

För personbilar visar analysen att bränslecellsdrivna privatfordon kan bli aktuella i stora marknadssegment. Analysen indikerar vidare att bränsleceller som räckviddsförlängare vanligen är den billigare lösningen. Det förutsätter dock att en stor andel av sträckan körs på el från nätet. En fördel med dylika fordon är att de är något mindre beroende av tankstationer för vätgas.

För långväga transporter i Europa är komprimerad vätgas förmodligen inte något bra alternativ i nuläget eftersom energitätheten är ganska låg och möjligheterna att få plats med tillräckligt stora tankar på dragbilen begränsade. Med flytande vätgas förbättras situationen något men fortfarande krävs det förmodligen större förändringar i fordonen än att bara byta ut bränsletankar och drivlina för att bränslecellsdrift ska fungera i praktiskt i de bredare tillämpningsområdena. Därmed torde inledningsvis endast skräddarsydda transportlösningar vara aktuella.

Tunga fordon har idag ett användningsmönster som gör att vätgas i gasform eller flytande förmodligen inte fungerar utan stora ändringar i fordonet. Hur påverkar automatisering möjligheterna att använda tunga vätgasdrivna bränslecellsfordon?

Konsekvenserna av ökad automatisering av vägtransporterna är svårbedömda liksom hur snabbt förändringen kommer att äga rum. Här bedöms endast ett par aspekter som kan tänkas påverka valet av drivlina och drivmedel.

Ökat fordonsutnyttjande. Med automatisering ökar möjligheterna för olika lösningar där många personer delar på fordonet. Ju mer fordonet används, desto mindre betydelse har investeringskostnaden och desto större betydelse har driftskostnaden. Eldrivna fordon, i synnerhet batteribilar men även bränslecellsbilar är normalt sett dyrare i inköp och billigare i drift och de torde därmed gynnas av ökad användning. Medan en bränslecellsbil kan rulla dygnet runt måste en batteribil laddas emellanåt, vilket kan kompensera för att vätgasen är och sannolikt förblir dyrare än elen per körd kilometer.

Minskade kostnader för förare. Om fordonen klarar sig helt utan förare blir kostnaderna för kommersiella transporter mycket lägre, mellan 30 och 50 procent av kostnaden faller normalt sett bort. Det betyder rent generellt att vägtransporter får förstärkta konkurrensfördelar jämfört med andra trafikslag. Långväga transporter planeras i nuläget till stor del efter regelverket för förarens arbetstider. Utan förare underlättas planeringen och fordonen kan rulla ännu fler timmar per dygn. Kostnaden för att stanna vid tankstationer blir också mindre, vilket ökar möjligheterna för mindre energitäta drivmedel som vätgas. För stadsbussar påverkar automatiseringen inte nämnvärt valet av drivlina.

Sammantaget framstår det som troligt att automatisering skulle underlätta införandet av bränslecellsdrift för tunga fordon, inte minst eftersom automatiseringen i sig skulle innebära att hela logistiksystemet ändå måste ses över.

5.3 BILINDUSTRINS STRATEGIER

Denna rapport visar att många av de stora biltillverkarna ägnar sig åt utveckling av bränslecellsfordon. Om de samarbeten som finns fungerar som avsett framstår det som troligt att följande stora biltillverkare har förutsättningar att leverera bränslecellsfordon inom fem år: Hyundai (sedan 2013), Toyota (sedan 2014), Honda (sedan 2016), Daimler (2017?), Nissan, Renault, GM, Ford och BMW. Volkswagen ingår inte i dessa samarbeten utan har istället samarbete med Ballard, som är den största leverantören av bränsleceller till tyngre fordon.

Att tillverkarna har förutsättningar att leverera fordon är inte liktydigt med att de kommer att eller ens vill leverera. I en del fall kan investeringarna i aktiviteter kopplade till bränsleceller snarare ses som ett slags försäkring; om det visar sig att marknadsutvecklingen tar fart måste de åtminstone ha hyfsad koll på tekniken.

Hyundai, Toyota och Daimler har även gjort tyngre fordon med bränslecellsdrift, både skåpbilar och stadsbussar. Till stor del används samma lösningar som för personbilarna i de tyngre fordonen. Det framstår som kostnadseffektivt i nuläget men på sikt torde det behövas specifika lösningar för respektive tillämpning.

I USDOEs analys genomförd av Strategic Analysis inkluderas i 2012 Update 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. Av dessa skäl landar kostnaden per kW för bränslecellssystemet för busstillämpningar ungefär fyra gånger högre än motsvarande bedömda kostnad för personbilar (James & Spisak, 2012).

Alla bränslecellsfordon har batterier i drivlinan för att kunna återvinna bromsenergi och jämna ut belastningen på bränslecellerna. Hyundai, Toyota och Honda har små effektbatterier och det har även varit fallet i de fordon som exempelvis Daimler och GM tillverkat. Nu har Daimler aviserat en annan lösning för den SUV som företaget ska introducera 2017 med väsentligt större batterier som dessutom är laddbara från nätet. Även flera bussmodeller har batterier med kapacitet att lagra mer elektrisk energi än vad som framstår som motiverat för att ta hand om bromsenergin. Frågan är vad som ligger bakom denna förändring i teknikvalet? Specifikt för Daimler har vi flera olika förslag till motiv, utöver det som Daimler redan har kommunicerat att laddmöjligheten ska ge bättre energieffektivitet och lägre koldioxidutsläpp. Flera olika förklaringsmodeller har diskuterats, bland dem:

- Det blir billigast att använda denna lösning eftersom den i stor utsträckning redan finns framme och antalet unika detaljer minimeras därmed. Daimler har samma fordon som laddhybrid med förbränningsmotor.
- Daimler litar inte på stackens livslängd och genom denna lösning förlängs livet på den väsentligt. Dels undviks en hel del start och stopp genom att bilen tar sig fram enbart med batteridrift. Dels gör det stora batteripaketet att den dynamiska belastningen på stacken kan begränsas kraftigt.
- Daimler behöver ta till denna lösning för att kunna leverera tillräcklig effekt under litet längre tid, exempelvis för att kunna ta bilen i hög fart uppför en längre uppförsbacke. Alternativet hade varit att skala upp stacken och det verkar vara så att alla biltillverkare av någon anledning har hamnat på en stack kring 100 kW. Kanske är skalbarheten och modulariteten inte så enkel som det tidigare har hävdats?

Vilket eller vilka motiv som stämmer lär framgå när den kompletta specifikationen av fordonet blir tillgänglig. Det kan förmodligen också vara så att kostnaden för energibatterier har utvecklats nedåt snabbare än kostnaden för effektbatterier, varför merkostnaden för denna lösning inte är så stor. Dock blir bilen garanterat tyngre.

Daimler har också skrivit att det kan vara bra att ha några mil med batteridrift för att komma fram till tankstationen för vätgas. Även om det är glest mellan sådana tankstationer i nuläget framstår det inte som en plausibel motivering. Dels spelar någon mil hit eller dit liten roll i jämförelse med räckvidden på vätgas (cirka 45 mil), dels borde bilen om den ska köras energioptimalt först köra slut på batteriet och sedan köra på vätgas.

För tyngre fordon framstår den kombinerade lösningen med bränsleceller och batterier som mer intressant. Med hjälp av ett rejält batteripaket och ganska stora bränsleceller för elproduktion hävdar exempelvis Nikola Motors att fordonet får egenskaper som är bättre än dieselsversionen i nästan alla avseenden. Mycket återstår innan det är bevisat om Nikola Motors lyckas nå sin vision att bli en Tesla för tunga fordon.

Särskilt intressant vore det om bränslecellerna kunde drivas med något annat än vätgas. För stationära tillämpningar används fastoxidbränsleceller (SOFC), vilka kan drivas med många olika kolväten utan alltför komplicerade reformer. En nackdel med SOFC och reformering är begränsningar i dynamik och att den helst bör vara ständigt i drift eftersom uppstarten både tar tid och sliter på cellerna. Många tunga fordon rullar nästan kontinuerligt och ibland behövs det energi även när de står still för komfort eller kylning av lasten. Således bör SOFC plus batterier fungera utmärkt i det avseendet. En annan nackdel med SOFC är att tekniken är mindre mogen än PEFC. Det gör svårt att bedöma om och när en kommersiellt konkurrenskraftig lösning kan bli aktuell. En fördel är att SOFC förväntas ha bättre livslängd än PEFC, vilket också passar bra för tunga fordon som ska hålla flera gånger längre än personbilar. Kanske borde Sverige givet bilindustrins struktur investera i forskning och innovation med större fokus på SOFC-området?

6 Slutsatser och rekommendationer

Regelverken för lokala och globala emissioner utvecklas, dock normalt sett med utgångspunkt i vad som är tekniskt och ekonomiskt rimligt att klara med förbränningsmotorer och fossila drivmedel. I takt med att kraven skärps och gäller på allt fler marknader får biltillverkarna allt bättre möjligheter att få avsättning för sina miljömässigt högkvalitativa fordon. Det betyder att olika former av elektrifiering får ökad konkurrenskraft, primärt för att minska utsläppen av växthusgaser.

Det finns områden med speciella krav på utsläppen. Rena nollemissionszoner är dock små och ovanliga och bedöms inte öka i en sådan omfattning att det påverkar OEMernas produktportföljs utformning de närmaste åren. Viktigare att hålla under noggrann uppsikt när det gäller lagar och regler är nog Kina, Japan och Kalifornien, som kombinerar stora volymer med tydlig vilja att påverka tillverkarnas utbud.

Flertalet policyinsatser som gynnar batterifordon gynnar även bränslecellsfordon. En viktig skillnad är dock insatser riktade mot infrastrukturen. I nuläget byggs det många laddstationer av olika slag. En del vätgastankstationer byggs också i några områden, exempelvis Japan, Kalifornien och Tyskland. Utbyggnadstakten är dock långsammare än för laddbara fordon och mer geografiskt begränsad. Detta trots att bränslecellsfordon till skillnad från batterifordon måste ha tankstationer för vätgas för att kunna användas. Publika laddstationer är inte lika avgörande för laddbara fordon, som ofta kan laddas hemma eller vid arbetsplatsen.

Utbyggnaden av tankstationer för vätgas kan jämföras med den för metangas. En viktig skillnad är dock att det på många håll redan fanns ett ledningsnät för metangas innan utbyggnaden av tankstationer började. Nät för vätgas finns än så länge bara i mycket begränsad omfattning. I jämförelse med laddstationer är möjligheten att försörja många fordon med en tankstation för vätgas betydligt bättre eftersom tanktiden är i samma storleksordning som för flytande drivmedel.

Vätgas är i vissa fall attraktivt som en lösning för att lagra el. Således gynnas vätgas i scenarier där elförsörjningen till stora delar bygger på sådan produktion som är svår eller rentav omöjlig att reglera, exempelvis merparten av den förnybara elproduktionen.

Bränsleceller är utmärkta energiomvandlare med hög verkningsgrad och låga utsläpp. Vätgas är billigare att lagra ombord än el i batterier. Likafullt tar vätgastankar stor plats och de kostar mycket mer än tankar för flytande drivmedel. Stadsbussar har körts och körs med vätgasdrivna bränsleceller. Denna tillämpning fungerar bevisligen rent tekniskt men ekonomiskt finns det analyser som indikerar att bussar med batterier och frekvent laddning blir mer attraktivt. Detta är givetvis avhängigt kostnaden för el respektive vätgas men normalt sett är el klart billigare än vätgas per fordonskilometer.

Jämfört med lastbilar för fjärrtransport passar distributionslastbilar bättre för vätgasdrift av minst tre skäl:

- De har möjlighet att placera tankarna för vätgas över hela fordonet och inte bara på dragbilen (denna begränsning avser främst Europa)
- De använder normalt sett inte så mycket energi per dygn
- De rör sig i miljöer där tyst och utsläppsfri drift är mycket välkommet.

Utöver detta kan det finnas speciella tillämpningar med skräddarsydda fordon där vätgasdrivna bränsleceller kan vara attraktiva. I dessa fall är ofta elvägar viktiga alternativ att jämföra med.

En ganska allmängiltig slutsats av ett tidigare projekt på temat drivlinekonfigurationer indikerar att bränslecellsdrift är intressant vid krav på relativt lång räckvidd per tank/laddning och en lång samlad körsträcka över fordonets livslängd. Batterifordon gynnas än mer av en lång körsträcka över livslängden, helst i kombination med låga eller måttliga krav på räckvidd per laddning. Denna kombination är givetvis utmanande men med regelbunden körning och frekvent laddning kan det gå att hitta fall där totalkostnaden för laddbara fordon blir lägst.

Merparten av de stora OEMerna arbetar med både bränsleceller och laddbara fordon. Toyota, Honda och Hyundai betonar bränslecellerna framför renodlade batterifordon. Daimler och GM har gjort sammalunda men är numera förmodligen mer konkreta när det gäller batterifordon. Nissan har i än högre grad kommit att betona laddbara fordon. BMW har delvis rört sig åt andra hållet och har nu med traktionära bränsleceller i planerna för framtiden. Bidragande till dessa positionsförändringar är förmodligen de samarbeten inom bränslecellsområdet som nu har funnits under några år. Toyota och BMW, Honda och GM, respektive Daimler, Ford och Nissan/Renault utgör tre viktiga grupperingar kring utvecklingen av bränslecellsfordon. Inom Volkswagen är Audi det märke som ska gå före när det gäller bränsleceller. Dock verkar företaget prioritera batteridrift i nuläget.

På den tunga sidan har Toyota, Hyundai och Daimler även stadsbussar med bränslecellsdrift. Bussarna använder i princip dubblerade system från bilarna och än större vätgaslager. Det finns andra aktörer som bygger bränslecellsbuskar. De använder vanligen stackar från Ballard. Toyota släppte nyligen en lastbil för demonstrationsdrift i hamnen i Los Angeles.

Det finns några andra aktörer som under senare år har visat och ibland även tillverkat tunga lastbilar med bränsleceller och batterier, bland dem Vision och Nikola Motors. Den senare har fått mycket uppmärksamhet men det verkar fortfarande vara en ganska lång och spännande resa tills fordonen blir kommersiellt tillgängliga (om de blir det).

7 Referenser

- Australian Government, 2014. *Light Vehicle Emissions Standards for Australia Research Report*, u.o.: Climate Change authority.
- Australian Government, 2015. *Final report on Australia's future emissions reduction targets*, u.o.: Australian Government Climate Change Authority.
- Behling, N., Williams, M. C. & Managi, S., 2016. *Japan's Hydrogen Society Policy: Near-term prospects*. Los Angeler, Fuel cell seminar and Energy exhibition.
- Bhatia, K. K. & Riddell, W. T., 2016. Identifying and modeling key trade-offs between hydrogen fuel cell and electric vehicles. *International Journal of Sustainable Engineering*, pp. Vol 9, No 3, 215-222.
- C2ES, 2013. *Center for climate and energy solutions*. [Online]
Available at: <http://www.c2es.org/node/7782>
- Califorina Fuel Cell Partenership, 2016. *Stationmap*. [Online]
Available at: <http://cafcp.org/stationmap>
[Använd 02 11 2016].
- California Air resource board, 2016. *California's Hydrogen Transportation Initiatives*. [Online]
Available at: <https://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/hydrogen/hydrogen.htm>
[Använd 02 11 2016].
- California Environmental Protection Agency, 2016. *Scoping plan*. [Online]
Available at: <http://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/scopingplan.htm>
- Civitas, 2016. *Civitas*. [Online]
Available at: www.civitas.eu/
- de Wilde, H. & Kroon, P., 2013. *Policy options to reduce passenger cars CO2 emissions after 2020*, u.o.: ECN.
- Dillon, L. & Megerian, C., 2016. *Los Angeles Times*. [Online]
Available at: <http://www.latimes.com/politics/la-pol-ca-clean-vehicle-rebate-project-no-money-20160616-snap-story.html>
[Använd 03 10 2016].
- Diselnet, 2016. *Diselnet-Standarder*. [Online]
Available at: <https://www.dieselnet.com/standards/>
[Använd 04 11 2016].
- Environmental Canada, 2013. *Canada's Emission Trends*, u.o.: Environmental Canada.
- Eudy, L. P. M. J. M., 2016. *Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2016*, u.o.: NREL.
- European Commision c, 2016. *A European Strategy for Low-Emission Mobility*, u.o.: European Commission.
- European Commision d, 2014. *eur-lex*. [Online]
Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0540>
[Använd 03 11 2016].
- European Commission a, 2016. *European Commission Climate action*. [Online]
Available at: http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050/index_en.htm
- European Commission b, 2016. *Road transport*. [Online]
Available at: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/index_en.htm
- Fortis BC, 2016. *Fortis BC -Medium and heavy-duty fleet incentives*. [Online]
Available at:
<https://www.fortisbc.com/NaturalGas/Business/NaturalGasVehicles/Howwecanhelp/Incentives/MediumHeavyDutyFleetIncentive/Pages/default.aspx>

Government of Hong Kong, 2016. *Environmental Protection Department - Tax incentives for Environment-friendly Commercial vehicles*. [Online]

Available at:

http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/prob_solutions/environment_friendly_commercial_vehicles.html

[Använd 05 10 2016].

Green car congress, 2016. *Québec moves forward with a zero-emission vehicle standard*.

[Online]

Available at: <http://www.greencarcongress.com/2016/10/20161029-quebeczev.html#more>

H2 & FC, 2016. *Hydrogen/Fuel cells Codes & Standards*. [Online]

Available at: http://www.fuelcellstandards.com/vehicle_apps.html

Hagiwara, Y. & Jie, M., 2015. *Japan Times - Tokyo to spend ¥45 billion on hydrogen stations, subsidies ahead of Olympics*. [Online]

Available at: <http://www.japantimes.co.jp/news/2015/01/20/business/tokyo-to-spend-%C2%A545-billion-on-hydrogen-stations-subsidies-ahead-of-olympics/#.WBh4rhCUk>

[Använd 02 11 2016].

Holmström, L., 2008. *Sydsvenskan*. [Online]

Available at: <http://www.sydsvenskan.se/2008-11-28/10-fragor-och-svar-om-gas>

Hyapproval, 2008. *Handbook for Hydrogen Refuelling Station Approval*, u.o.: u.n.

Hydrogen London, 2013. *Hydrogen london*. [Online]

Available at: <http://www.hydrogenlondon.org/projects/london-hydrogen-bus-project/>

ICCT, 2016. *United States Efficiency and Greenhouse Gas Emission Regulations for Model Year 2018-2027 Heavy-Duty Vehicles, Engines, and Trailers*, u.o.: International council on clean transportation.

JAMA, 2009. *JAMA- Japan Automobile Manufacturers Association*. [Online]

Available at: <http://www.jama.org/japanese-government-incentives-purchase-environmentally-friendly-vehicles/>

[Använd 05 10 2016].

Kodjak, D., 2015. *Policies to reduce fuel consumption, air pollution, and carbon emissions from vehicles in G20 nations*, u.o.: International council on clean transportation.

Kwan, I., Lutsey, N., Slowik, P. & Jin, L., 2016. *Identifying the leading regional electric vehicle markets in the United States*, u.o.: ICCT.

Lajunen, A. & Lipman, T., 2016. Lifecycle cost assesment and carbondioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. *Energy* 106, pp. 329-342.

Larsson, M., 2015. *The role of methane and hydrogen in a fossil-free Swedish transport sector*, Stockholm: KTH, Akademisk avhandling.

Li, M., Zhang, X. & Li, G., 2016. A comperative assesment of battery and fuel cell electric vehicles using a well-to-wheel analysis. *Energy* 94, pp. 693-704.

Lutsey, N., 2015. *Global climate change mitigation potential from a transition to electric vehicles*, u.o.: ICCT.

Lutsey, N., Muncrief, R., Sharpe, B. & Delgado, O., 2015. *U.S. efficiency and greenhouse gas emission regulations for MY 2018-2027 heavy-duty vehicles, engines, and trailers*, u.o.: ICCT.

Lönnqvist, T., Grönkvist, S. & Sandberg, T., 2016. *HOW CAN FOREST-DERIVED METHANE COMPLEMENT BIOGAS FROM ANAEROBIC DIGESTION IN THE SWEDISH TRANSPORT SECTOR?*, u.o.: F3 Report.

Maruta, A., 2016. Current Status: Global. i: *Hydrogen Energy Engineering*. Japan: Springer, pp. 37-51.

- Miljöbyrå Ecoplan AB, 2013. *Styrmedel för tunga miljöfordon - en internationell utblick*, u.o.: Innovatum AB.
- Miller, J., 2016. *Reducing CO2 emissions from road transport in the European Union: An evaluation of policy options*, u.o.: ICCT.
- MSB, 2011. *Tankstationer för Metangasdrivna fordon*, u.o.: MSB.
- MSB, 2012. *Myndigheten för samhällsskydd och Bredskap*. [Online]
Available at: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26186.pdf>
- MSB, 2014. *MSB - Transport av farligt gods*. [Online]
Available at: <https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Transport-av-farligt-gods/Var-far-jag-kora/>
- MSB, 2016. *MSB - Brandfarlig gas*. [Online]
Available at: <https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Brandfarligt-explosivt/Brandfarliga-gaser/>
- Skulasson, J. B., 2016. *Hydrogen Mobility Europe*. Sandvik, HFC Nordic.
- Statens offentliga utredningar, 2016. *regeringen.se*. [Online]
Available at: <http://www.regeringen.se/rattsdokument/statens-offentliga-utredningar/2016/04/sou-201633/>
- Stockholms stad, 2016. *Nyheter/Ny definition av miljölastbilar*. [Online]
Available at: <http://www.stockholm.se/Fristaende-webbplatser/Fackforvaltningssajter/Miljoforvaltningen/Miljobilar/Nyheter-och-press/Nyheter-och-press/Nyheter/Ny-definition-av-miljolastbilar-i-Stockholms-stad/>
- Strompen, F., 2016. *Sustainable transport in China*. [Online]
Available at: <http://sustainabletransport.org/ev100-forum/>
[Använd 03 10 2016].
- SVEBIO, Svenska Bioenergiföreningen, 2016. *Regeringen.se, Remissyttrande*. [Online]
Available at:
<http://www.regeringen.se/contentassets/3a99eec385014ac59259b8fc918328f7/svebio.pdf>
[Använd 04 10 2016].
- Svergies regering, 2013. *Fossilfritt på väg (SOU 2013:84)*, u.o.: Statens offentliga utredningar.
- Sveriges regering-energiöverenskommelsen, 2016. *regeringen.se*. [Online]
Available at:
<http://www.regeringen.se/contentassets/b88f0d28eb0e48e39eb4411de2aabe76/energieoverenskommelse-20160610.pdf>
- Tietge, U., Mock, P., Lutsey, N. & Campestrini, A., 2016. *COMPARISON OF LEADING ELECTRIC VEHICLE POLICY AND DEPLOYMENT IN EUROPE*, u.o.: ICCT.
- Toyota, Nissan & Honda, 2015. *Toyota, Nissan, and Honda Agree on Details of Joint Support*. [Online]
Available at: <http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2015/STORY/150701-02-e.html>
[Använd 02 11 2016].
- Trafikverket, 2016. *Trafikverket-Klimat*. [Online]
Available at: <http://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/miljo-och-halsa/klimat/>
[Använd 03 10 2016].
- Törnquist, S., 2016. *Mail korrespondens med Transportstyrelsen*, Stockholm: u.n.
- UNFCCC, 2016. *INDC-submissions*. [Online]
Available at:
<http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>
- United States EPA, 2012. *EPA and NHTSA Set Standards to Reduce Greenhouse Gases and Improve Fuel Economy for Model Years 2017-2025 Cars and Light Trucks*, u.o.: United States Environmental Protection Agency.

van Hoof, R., van der Meer, J. P. & van der Woude, J., 2015. *HIT-2 Corridors Activity 3 Strategic Corridor analyses and plans*, u.o.: u.n.

Wind, J., 2015. *IPHE Workshop: Energy and transportation systems –A 2020 perspective*, Grenoble, 03rd December 2015. [Online]

Available at:

[http://iphe.net/docs/Meetings/SC24/Workshop/IPHE%20Wkshp%20Pres%20Daimler.p
df](http://iphe.net/docs/Meetings/SC24/Workshop/IPHE%20Wkshp%20Pres%20Daimler.pdf)

[Använd 02 11 2016].

BRÄNSLECELLERS KONKURRENSKRAFT I VÄGFORDON

Under vilka förutsättningar är olika typer av drivlinor med bränsleceller konkurrenskraftiga? Här redovisas resultat från skriftliga källor och från en handfull intervjuer med aktörer i Japan där de stora fordonstillverkarna arbetar med både bränsleceller och laddbara fordon.

I takt med att regelverken skärps ökar konkurrenskraften för olika former av elektrifiering, framför allt för att det minskar utsläppen av växthusgaser. Bland områden med speciella krav på utsläppen återfinns nollemissionszoner. De är dock små och ovanliga och bedöms inte få en stor marknadspåverkan de närmaste åren. Flertalet policyinsatser som gynnar batterifordon gynnar även bränslecellsfordon. En viktig skillnad är insatser riktade mot infrastrukturen eftersom vätgasfordon, till skillnad från batterifordon, är beroende av en offentlig infrastruktur för drivmedel.

Stadsbussar med vätgasdrivna bränsleceller fungerar rent tekniskt, men ekonomin varierar framför allt beroende på drivmedelskostnaden. Distributionslastbilar, som vanligen inte använder så mycket energi per dygn, kan vara aktuella för vätgasdrift. De rör sig i miljöer där tyst och utsläppsfri drift efterfrågas och de kan placera tankarna för vätgas över hela fordonet.

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



Energiforsk