

BRÄNSLECELLER SYNTESRAPPORT 2016 – 2019

RAPPORT 2019:606



TEKNIKBEVAKNING
BRÄNSLECELLER



Bränsleceller syntesrapport 2016 - 2019

Teknik och omvärldsbevakning bränsleceller

BENGT RIDELL

HANS POHL

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 och genomförs under 2016 – 2019 som ett temaområde inom kompetenscentret Swedish Electromobility Centre med Energiforsk som koordinator och projektledare.

I denna syntesrapport av teknikbevakningens hela etapp 2016-2019, har verksamheten i de 14 genomförda projekten beskrivits översiktligt. Resultaten har analyserats och övergripande lärdomar av resultaten har också dragits. Syntesarbetet har genomförts av Hans Pohl, RISE Research Institutes of Sweden AB ICT Viktoria och Bengt Ridell, Sweco Energiguide.

Styrgruppen för teknikbevakningsprojektet har bestått av följande ledamöter: Pontus Svens/Annika Ahlberg-Tidblad, Scania, Mats Andersson/Staffan Lundgren/Johan Svenningstorp, AB Volvo, Stefan Bohatsch, Volvo Cars, Jörgen Westlinder, Sandvik Materials Technology, Andreas Bodén, Powercell, Bengt Ridell, Sweco Energy, 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 2019

Bertil Wahlund Energiforsk AB

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.



**Swedish
Electromobility
Centre**

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

Sammanfattning

Teknikbevakningen av bränsleceller med organisatorisk hemvist på Swedish Electromobility Centre och med programledning från Energiforsk har nu avslutat en andra etapp. Totalt sedan 2014 har 29 olika projekt genomförts, varav 14 under den andra etappen som pågick under åren 2017-2019. Rapporten avser främst denna andra etapp. Syftet är att översiktligt beskriva verksamheten och den globala statusen, och dra övergripande lärdomar av resultaten.

Marknadsutvecklingen är positiv inom de tre huvudområden som används, stationära, mobila och portabla bränsleceller. Till stor del är dock marknaden fortsatt avhängig olika former av offentliga stöd. Det finns flera hundra tusen stationära anläggningar för småskalig kraftvärmeproduktion i drift, merparten i Japan men en ökning av antalet har även skett i Europa. Antalet bilar med bränsleceller var cirka 13 000 vid utgången av 2018. Den portabla sidan är kanske mest turbulent och svårbedömd, med nya aktörer, nya tillämpningar och teknikskiften.

Rapporten beskriver hur verksamheten inom IEA och EU utvecklar sig samt hur Sverige är representerat i dessa viktiga internationella sammanhang. Energimyndigheten har en central roll som länk mellan IEA-verksamheten och svenska aktörer.

Bland projekten inom teknikbevakningen handlar de flesta om fordonstillämpningar. Flera olika analyser av specifika tillämpningar som bulktransporter i städer, logistik vid intermodala terminaler, sopbilar samt lastbilar för citydistribution är några exempel. Ett par mer allmänna analyser av olika drivlinors konkurrenskraft görs också. Ett generellt resultat är att i många fall visar batteridrift lägre kostnader förutsatt att en sådan lösning fungerar rent praktiskt. Detta baserat på energikostnader i Sverige.

Ett projekt av demonstrationskaraktär var konstruktion och test av en lastcykel med vätgas och bränsleceller. Den når en räckvidd om 300 km och lyfts fram som ett smidigt alternativ för transporter i städer.

Utöver fordonstillämpningarna finns det några projekt som i första hand adresserat fastoxidbränsleceller (SOFC), vilka vanligen görs för stationära tillämpningar. Snabb teknikutveckling beskrivs och under förutsättning att kostnaderna kan pressas, exempelvis genom massproduktion, väntar kommersiella genombrott. Även elektrolysörer baserade på bränslecellsteknik, vilka är särskilt viktiga för produktion av vätgas, omfattas.

I den avslutande SWOT-analysen betonas bland annat de synergier mellan personbilar och tunga fordon som nu framhålls av många aktörer. Medan personbilarna gör så att bränslecellssystemen tack vare stora volymer går ner i pris gör lastbilarna att vätgasen blir mer tillgänglig och billigare, tack vare deras stora och mer förutsägbara användning.

Ett hot och en möjlighet är att det nu på flera håll i världen, inte minst Tyskland, finns ganska många tankstationer för vätgas men få bränslecellsfordon. Hotet är att

om det inte relativt snart kommer ut fordon som använder tankstationerna kommer det bli svårt att hålla dem öppna. Möjligheten är givetvis att nu finns det goda möjligheter att sälja bränslecellsfordon i dessa regioner.

Ur ett svenskt perspektiv finns det all anledning att hålla ögonen på bränslecellstekniken. Flera företag har verksamhet som omfattar bränslecellslösningar och många andra företag kan väntas påverkas rejält om och när bränslecellstekniken får ett stort genomslag.

Summary

The fuel cell technology watch organisationally based at the Swedish Electromobility Centre and programme coordination by Energiforsk has now ended its second phase. In total since 2014 have 29 projects been carried out, whereof 14 during the phase 2017-2019. The report deals with the second phase. The purpose is to give an overview of the activities and distil some general learnings from the results.

The development of the market is positive in the three main areas used; stationary, mobile and portable fuel cells. However, to a large extent the market is still depending on public support in different forms. There are several hundred thousand stationary devices producing heat and power in operation, the majority in Japan but an increase in the numbers has also taken place in Europe. The number of vehicles with fuel cells was approximately 13,000 at the end of 2018. The development on the portable side is perhaps the most challenging one to assess, with new actors, new applications and changing technological approaches.

The report describes how the activities within IEA and EU develop and how Sweden is represented in these important international organisations. The Energy Agency has a central role as a link between the IEA activities and the Swedish actors.

Among the projects carried out within the technology watch, most of them deal with transport applications. Several analyses of specific applications such as bulk transports in cities, logistics at intermodal terminals, garbage collection trucks and trucks for city distribution are some examples. A couple of more general analyses of different powertrains' competitiveness are also carried out. One common result is that in many cases battery electric propulsion gives the lowest costs, given that such a solution also works in reality. This is based on the energy costs in Sweden.

One demonstration project designed and tested a cargo bike propelled by hydrogen and fuel cells. It has a range of 300 km and it is forwarded as a convenient option for city transports.

Apart from the transport applications there are also some projects primarily addressing solid oxide fuel cells (SOFC), which typically are used for stationary applications. A rapid development in technology is highlighted and provided that the cost can be decreased, by mass production for example, commercial breakthroughs are expected. Electrolysers based on fuel cell technologies, important for hydrogen production, are also covered.

In the final SWOT analysis, it is emphasized that there are synergies between light and heavy vehicles. Whereas the passenger cars reduce the costs of the fuel cell systems thanks to large volumes, the trucks make hydrogen more accessible and cheaper, thanks to their large and more regular use of hydrogen.

One threat and opportunity is that there are now in some regions in the world, not least Germany, a rather large number of refuelling stations but few fuel cell vehicles. The threat is that if the number of users of the refuelling stations does not

increase soon, it will be difficult to keep them open. And the opportunity is of course that now there are excellent possibilities to sell fuel cell vehicles in these regions.

From a Swedish perspective, there are very good reasons to monitor the fuel cell technology. Several firms have businesses including fuel cell solutions and many other firms will be clearly impacted if or when the technology becomes mainstream.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Bränslecellstekniken	9
1.3	Användningsområden	10
2	Teknik och marknad, status bränslecellstekniken	12
2.1	Marknadsläget	12
2.2	Fordonstillämpningar	15
2.3	Stationära tillämpningar	17
2.4	Portabla bränsleceller	20
3	Program och projekt	22
3.1	FFI-projekten	22
3.1.1	Hållbara polymermenbran	22
3.1.2	Kostnadseffektiva IT-SOFC bränsleceller för mobila applikationer	22
3.2	IEA Advanced Fuel Cells	22
3.3	IEA Hydrogen	24
3.4	EU FCH 2JU	25
4	Uppdrag inom Teknikbevakningsprojektet 2017-2019	29
4.1	Projekt 2017 - 2019	29
4.1.1	Fuel cell vehicles and systems for transport of construction materials in cities	30
4.1.2	Praktiska tillämpningar med bränsleceller i tunga fordon	31
4.1.3	Teknikbevakning bränslecellsområdet med speciellt fokus på stationära tillämpningar	31
4.1.4	Teknikbevakning SOFC och FC modellering	32
4.1.5	Teknikbevakning SOFC och SOEC, energi och material	33
4.1.6	Heavy duty trucks 2030+, An exploratory study	34
4.1.7	Hydrogen and fuel cell trucks – next step	34
4.1.8	Projektering av el- och bränslecellsdrivna dragfordon	35
4.1.9	Kostnadsfunktion för traktionära bränslecellssystem	35
4.1.10	Att lagra vätgas ombord fordon	36
4.1.11	Bränslecellsdrivna lastcykelfordon med extra funktionalitet	37
4.1.12	Bränsleceller i fordon och hanteringsmaskiner i intermodala transportsystem	38
4.2	Projekt föregående etapp 2014 – 2016	39
5	Syntes teknikbevakning bränsleceller	40
5.1	SWOT globalt för området	40
5.2	Kommentarer ur ett svenskt perspektiv	43
6	ORDLISTA	45

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Den offentligt finansierade forskningsverksamheten och teknikbevakningen i Sverige inom bränslecellsområdet har numera i första hand genomförts inom Swedish Electromobility Centre (SEC) med Energiforsk som projektledare, och inom FFI. Den internationella verksamheten där svenska företag och andra intressenter är involverade sker i första hand inom IEA och EUs program FCH JU2.

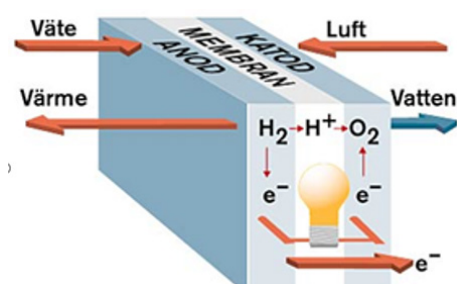
I rapporten presenteras denna verksamhet inom bränslecellsområdet under verksamhetsperioden 2017 - 2019. Programmet inom SEC avslutas vid halvårsskiftet 2019. Teknikbevakning av bränslecellsområdet har sedan 2014 organiserats inom SEC och finansieras i huvudsak av Energimyndigheten. Energiforsk har koordinerat och projektlett verksamheten. Ett långsiktigt syfte är att bidra till kompetensförsörjning för industrin i Sverige.

Under åren 2017–2019 har 14 olika uppdrag slutförts. Tillsammans med den första etappen har 29 olika projekt genomförts inom Teknikbevakningen. Högskolorna KTH och Chalmers har projekt finansierade genom FFI Energi och miljö för forskningsinsatser inom bränslecellsområdet. I rapporten Energiforsk 2017:463 beskrivs teknik- och omvärldsbevakningens första etapp 2014–2016.

Dessutom rapporteras verksamheten inom IEA Advanced Fuel Cells och EU FCH JU2 där flera experter och företag från Sverige är aktiva inom olika områden.

Hela verksamheten presenterades vid ett seminarium i maj 2019 i Stockholm. Information om detta seminarium finns på Energiforsks websida.

1.2 BRÄNSLECELLSTEKNIKEN



Figur 1: Principskiss bränslecell

Bränslecellens arbetsprincip är en elektrokemisk process där vätgas förs till en anod och syrgas till en katod. Via ett membran produceras el och värme och restprodukten blir vatten, se Figur 1.

Vätgasen kan produceras på många olika sätt från förnybara och fossila bränslen. Biomaterial kan rötas eller förgasas och användas som bränsle. Vätgas kan enkelt tillverkas med elektrolys av vatten. Det vanligaste sättet globalt sett idag är att tillverka vätgas genom reformering av naturgas.

Bränslecellerna har flera fördelar gentemot konkurrerande tekniker i samma storleksklass:

- Bränsleflexibilitet, vätgas kan liksom el produceras på en mängd olika sätt, från fossila eller förnybara energikällor. En del bränslecellstyper kan dessutom direkt använda andra bränslen än vätgas som metan, metanol, etanol mm.
- Hög verkningsgrad för sin storlek även vid delast.
- Låga emissioner, i princip enbart vattenånga om vätgas används som bränsle. Det gör att bränsleceller kan placeras i urbana miljöer och där luftkvaliteten är viktigt och även inomhus i lagerlokaler mm.
- Liten signatur, tyst gång, litet värmeläckage och ingen störande lukt.

Bland nackdelarna med bränsleceller är främst fortfarande höga kostnader och lågtemperaturteknikens beroende av vätgas. Kostnaderna utvecklas dock i rätt riktning och är nu till stor del en volymfråga.

Det finns fyra huvudtyper av bränsleceller och deras vanligaste förkortningar är polyelektrolytbränsleceller (PEFC, PEMFC), fastoxidbränsleceller (SOFC), smältkarbonatbränsleceller (MCFC) och fosforsyrebränsleceller (PAFC). Av dessa räknas PEFC som lågtemperaturbränsleceller. De arbetar vid ca 80 °C. De går snabbt att starta upp och används i fordon och mindre reservkraftanläggningar. Oftast används vätgas som bränsle. Övriga typer arbetar vid högre temperaturer och har högre verkningsgrad där SOFC är den vanligaste typen som ofta har en arbetstemperatur över 700 °C. De används till exempel som kraftvärmeverk, kraftverk eller reservkraft.

Det finns bränsleceller som använder metanol utan reformering DMFC. Det var en typ som länge hade svårt att fungera ordentligt men idag är det en väl etablerad teknik för små bränsleceller upp till kWe-klass.

1.3 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN

Bränsleceller kan användas inom många olika områden där det finns ett elbehov. Inom fordonsområdet används bränsleceller idag främst som drivkälla för bilar. Det finns andra möjliga användningsområden till exempel som APU, ett extra kraftaggregat som i tyngre fordon kan ersätta en motor och en generator eller i mindre fordon som ersättning för batterier.

Bränsleceller används alltmer som drivkälla för arbetsfordon, speciellt de som arbetar inomhus typ gaffeltruckar eller liknande. Antalet bränslecellsdrivna truckar är i storleksordningen 25 000 i Nordamerika och användningen i Asien och Europa har börjat öka.

Bränsleceller med vätgas som bränsle har även börjat användas i större fordon till exempel tunga lastbilar och olika typer av distributionsformen, ännu så länge dock bara i pilotskala. Ett exempel där tunga fordon med bränsleceller prioriteras är hamnområden där luftkvaliteten kan ha stor betydelse.

Inom det stationära området kan bränsleceller användas för produktion av el till elnätet eller till icke nätanslutna anläggningar. En stor växande marknad är som reservkraft till olika sorters anläggningar, vanligast är telekom och datacenter. Den volymmässigt största marknaden idag är olika typer av små kraftvärmeanläggningar

avsedda för bostäder i främst Japan. Korea och nu även i Europa där Tyskland är den största marknaden.

Olika områden har olika krav på bränslecellerna som hög verkningsgrad, bränsleflexibilitet, ljudnivå m m. Den förmodligen största potentialen för bränslecellstekniken är inom transportområdet för framdrivning av bilar. Det är det området som växer snabbast.

Inom transportområdet ska bränslecellerna vara kompakta, ha hög krafttäthet och vara driftsäkra. De ska hålla bilens livslängd det vill säga i storleksordningen 5 000 – 10 000 timmar och betydligt mer för tunga fordon. De måste kunna starta snabbt och ha mycket god lastföljning. Idag är det bara PEFC-tekniken som kan uppfylla de kraven. För tyngre fordon som lastbilar är den dimensionerade körsträckan betydligt längre upp till ca 10 ggr längre eller upp till 2 000 000 km.

De stationära bränsleceller som tillverkas idag är i storlekar från ca 1 kWe upp till multi-MW anläggningar har andra typer av krav. Stackens livslängd och anläggningens verkningsgrad har hög prioritet. Livslängder för stacken från 40 000 timmar upp till 80 000 timmar är vanliga specifikationer. För stationära bränsleceller kan det också vara viktigt att kunna använda olika sorters bränsle som biogas och flytande bränslen till exempel metanol, diesel och fotogen. Små lokala emissioner och en låg ljudnivå en stor fördel. För de bränsleceller som används för kraftvärme är kraven på uppstartstid och lastföljning inte så stora.

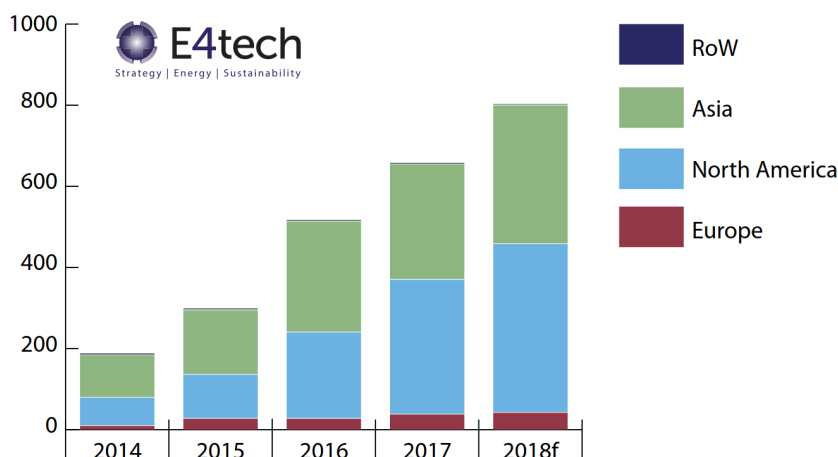
Portabla bränsleceller ska vara enkla att hantera och så små som möjligt. De ska kunna använda ett bränsle som kan hanteras säkert av alla. Kraven på livslängd och övrig prestanda är måttliga. För militära ändamål ska portabla bränsleceller vara tysta och ha liten signatur, det vill säga inte kunna upptäckas på grund av värme, avgaser, ljud, lukt m m. Konkurrensen från så kallade powerpack eller powerbank, uppladdningsbara batteripaket, är mycket svår för de minsta enheterna.

2 Teknik och marknad, status bränslecellstekniken

2.1 MARKNADSLÄGET

Avsnittet behandlar primärt utvecklingen för stationära och portabla bränsleceller.

Megawatts by region of adoption 2014 - 2018



Figur 2: Leveranser av bränsleceller – effekt (E4tech 2018)

Den största marknadstillväxten sker i Nordamerika och Asien med Japan och Korea som de stora dragloken och leverantörer, se Figur 2. Nordamerika med USA och Kanada är viktiga för utveckling av PEMFC och för de riktigt stora bränslecellerna i MW-klass.¹

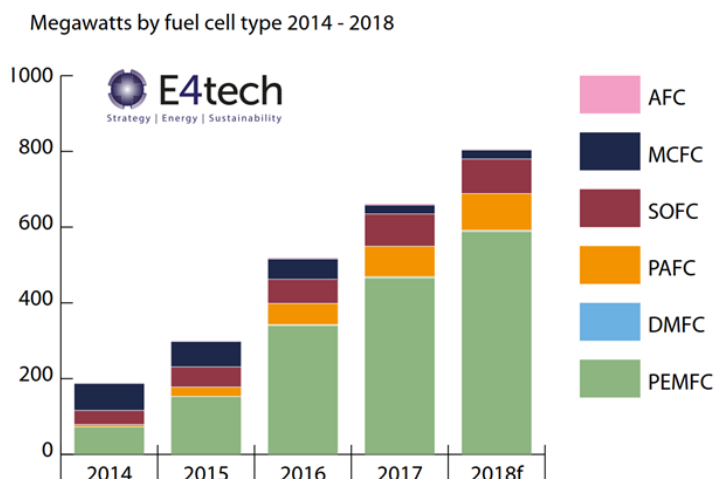
Det som händer är att kostnaderna är tydligt på väg ner och att en industriell struktur bland tillverkare och leverantörer av stackar och system håller på att etableras. Flera stora komponent- och systemleverantörer har investerat kraftigt i bränslecellsteknik som Erling Klinger, Bosch, AISIN och Michelin. De har ingått samarbeten med teknikleverantörer, speciellt utvecklare av bränslecellsstackar.

Marknaderna, som ofta bärs upp av offentliga stöd, utvecklas långsammare i Europa än i Asien och Nordamerika. I USA är marknaden och forskningen starkt beroende av olika former av bidrag. De viktigaste bidragen där är investeringsbidrag, vilket gör att marknadsvolymerna ökar. I Europa är bidragen riktade till FoU- och demonstrationsprojekt

Trots att den nya regimen i USA försökte ta bort bidrag som tax credit systemet och väsentligt minska omfattningen av statliga forskningsprogram så är dessa stöd nu i princip tillbaka till tidigare nivåer. Tax credit systemet är ett investeringsstöd som tillfaller användaren.

¹ The Fuel Cell Industry Review 2018, E4tech

Det är fortfarande en bit kvar innan vi kan se en kommersiell marknad utanför Asien. Men de skeppade volymerna av bränsleceller ökade kraftigt också under 2018. Det är viktigt för utveckling av tekniken. De större volymerna tvingar fram bättre tillverkningssteknik och materielutveckling samtidigt som installationer och kringutrustningen optimeras även underhåll och driftserfarenheter förbättras.



Figur 3: Skeppade bränsleceller i MW för olika typer (E4tech 2018)

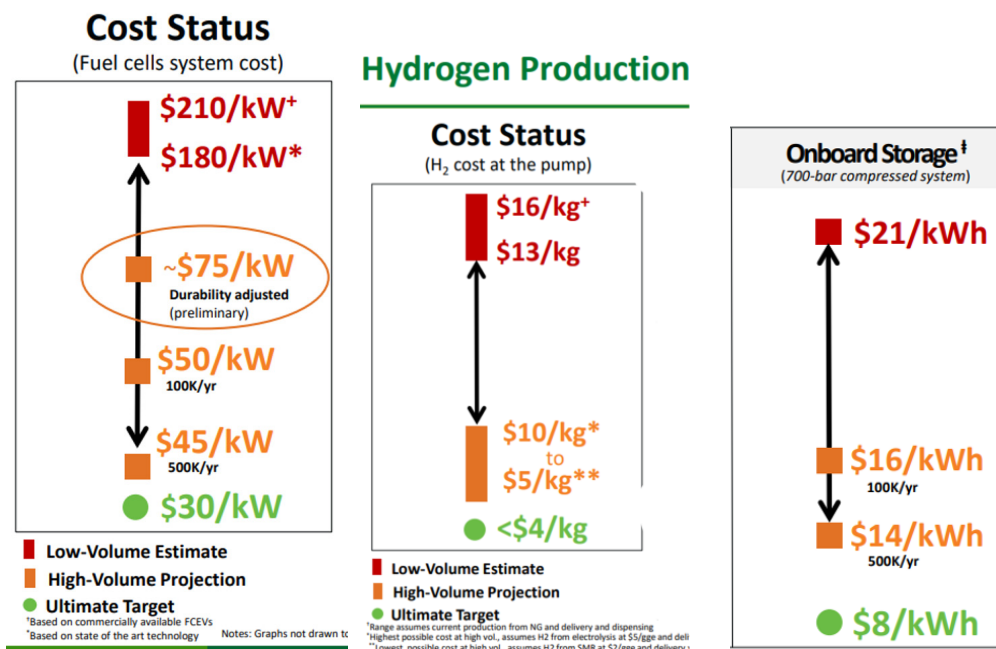
2018 var ytterligare ett bra år för bränsleceller. De skeppade volymerna ökade med 145 MWe och är var mer än 800 MWe, det skeppades 4500 fler bränsleceller än föregående år. Den stora ökningen i antalet skeppade MW kan till stor del härledas till bilindustrin. Ökningen av PEMFC är främst Toyota Mirai och andra bilar. Även antalet gaffeltruckar i USA och Ene-Farm programmet med små CHP för bostäder i Japan fortsatte med oförminskad styrka.

De stora anläggningarna inom det stationära området, ofta i MW-storlek, med MCFC från Fuel Cell Energy och POSCO i Korea samt SOFC från Bloom Energy och PAFC från Doosan ger även de stora volymer. MCFC som idag egentligen enbart utvecklas av Fuel Cell Energy i USA minskade i volym under 2018. De har dock nyligen fått en del större beställningar nyligen för leverans senare. Det japanska Ene-Farm programmet fortsätter att imponera med ca 50 000 installerade enheter. Idag finns mer än 300 000 installerade anläggningar i Japan. Den stora prognostiserade ökningen med 100 000-tals anläggningar per år har dock ännu inte kommit igång. Antalet skeppade MW förväntas stiga ytterligare under kommande år. Det är främst några stora anläggningar i USA och Korea samt Ene-Farm programmet som kommer att fortsätta.

I Europa är det stora glädjeämnet att de långsiktiga programmen KFW433 organiserat av NIP i Tyskland och EU FCH JU2 fortsätter med finansiering av demonstrationsprojekt och forskningsaktiviteter.

Den globala försäljningen av portabla bränsleceller har ännu inte visat på någon ökning, tvärtom snarare en minskning även under 2018. Kommersialiseringen har svårt att komma igång. myFC har gjort ett modellbyte som ännu inte har blivit framgångsrikt. Konkurrensen från laddbara batterier, typ power-pack, är svår. Portabla

bränsleceller har dock en del fördelar som inte kan nås med power pack, de behöver till exempel inte laddas med el utan använder ett enkelt bränsle.



Figur 4: Teknikläget enligt US Department of Energy²

Figur 4 visar forsknings- och utvecklingsläget för vätgas- och bränslecellstekniken inom transportområdet i USA. Den översta punkten är i läget idag, mellanpunkterna visar läget med dagens teknik om den tillverkas i stora volymer och den nedersta punkten är det uppsatta målet för en kommersiell teknik.

Kostnads målet för bränslecellssystemet för bilar har skärpts väsentligt från 40 USD/kW till 30 USD/kW. Skälet till detta är att forskningen för att ta fram platinumfria membran har varit framgångsrik och det finns nu en potential att kunna ta fram bränslecellssystem för fordon till en lägre kostnad.

Kostnaden för att producera förnybar vätgas bör komma ner till ca 4 USD per kg. Detta kan nästan göras redan idag vid storskalig industriell produktion av vätgas producerad genom reformering av naturgas. Om vätgas ska vara förnybar och producerad från sol, eller vind eller biogas så är det högre priset som gäller.

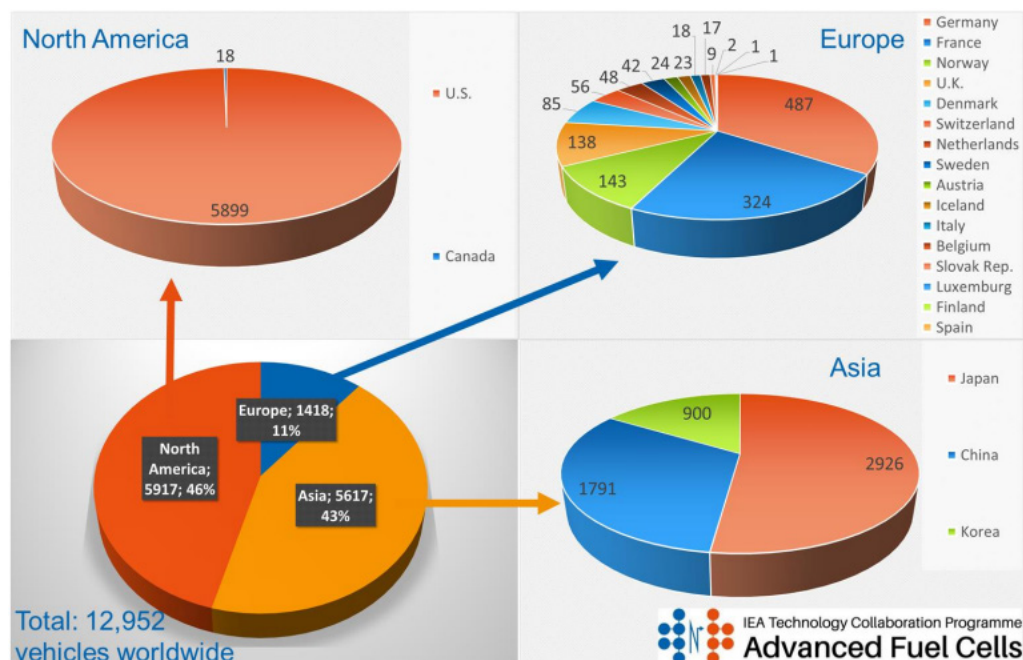
Att tanka och lagra vätgas vid 700 bars tryck ombord ett fordon kräver speciella tankningsrutiner, tankar och kompressorer, som är mer kostsamma än tidigare standard som var 350 bar. Det krävs betydande utvecklingsinsatser för att kunna nå det uppsatta målet 8 USD/kWh. Den dominerande kostnaden är kolfibermaterialet som används i Type IV tankar avsedda för 700 bars lagring.

² Hydrogen and Fuel Cells Overview Dr. Sunita Satyapal Director U.S. Department of Energy Fuel Cell Annual merit review, Crystal City VA April, 2019

2.2 FORDONSTILLÄMPNINGAR

Bränsleceller i fordon är av typen PEM och drivs av trycksatt vätgas. I personbilar dominerar lösningar med cirka 100 kW bränslecellssystem och små hybridbatterier. I tyngre fordon har ännu inte en dominerande lösning etablerat sig men det finns en del som talar för att fordonen får batterier som ger tillräcklig effekt för driften och bränsleceller som med råge kan leverera motsvarande genomsnittsförbrukningen. Då avgörs räckvidden primärt av hur mycket vätgas som finns ombord.

Sverige hade enligt en sammanställning gjord av IEA 42 bränslecellsfordon på vägarna vid utgången av 2018, se Figur 5. Totalt rullade cirka 13 000 sådana fordon i världen, med USA som den största marknaden med knappt 6 000 fordon, varav den absoluta merparten i Kalifornien. Japan var näst störst med 2 900 fordon, sedan Kina med 1 800. Europa har med cirka 11% en liten andel av bränslecellsfordonen i världen.



Figur 5: Bränslecellsfordon i världen (IEA 2019)

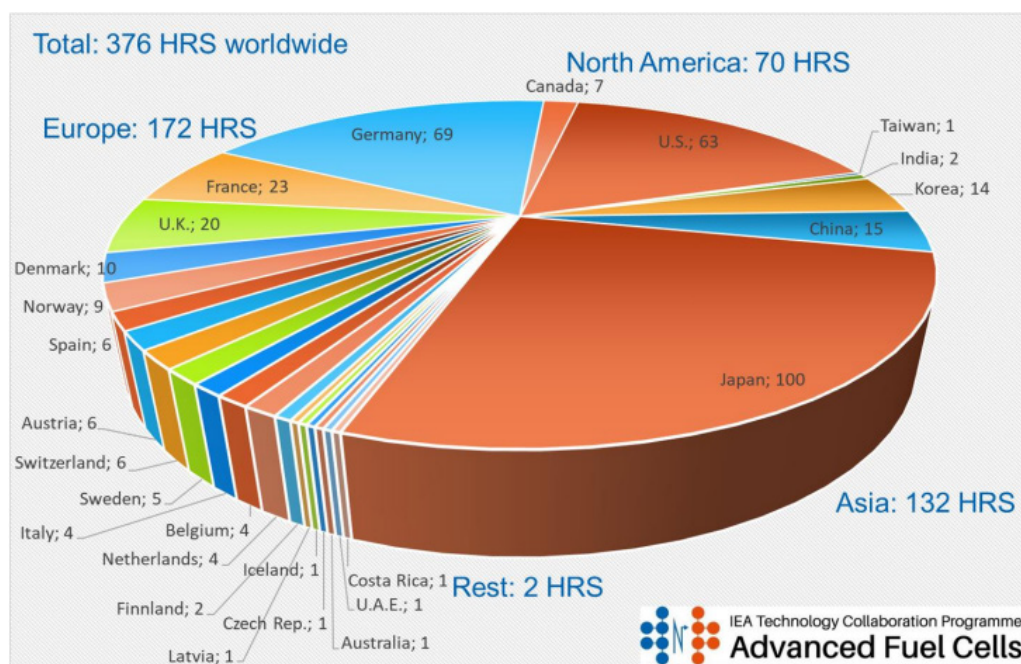
Enligt samma källa fanns det 376 tankstationer för vätgas i världen när 2019 inlededes, se Figur 6. Jämförs antalet fordon med antalet tankstationer framgår det att det går cirka 100 fordon per tankstation i USA och Kina, medan det i Tyskland och Sverige är färre än 10 fordon.

Statistik från SPBI anger att det fanns 2 659 försäljningsställen för drivmedel i Sverige år 2018. Samtidigt fanns det enligt SCB knappt 4,9 miljoner personbilar i trafik. Det betyder att knappt två tusen fordon samsas om varje försäljningsställe. Då typisk räckvidd för en bränslecellsbil är ganska lik förbränningsmotorfordon bör de tanka ungefär lika ofta.

Siffror från Toyota i Kalifornien anger en medelförbrukning på 0,55 kg vätgas per dag och personbil. Det betyder att tankstationerna i medel levererar cirka 55 kg vätgas per

dygn. Spridningen mellan tankstationerna är säkert stor och enligt Toyota är det nu flera tankstationer som levererar maxkapacitet varje dag.

Utrymmet för leveranser av fler vätfordon är att döma av antalet tankstationer ganska stort. Det är naturligt att utbyggnaden av tankstationer går före försäljningen av fordon. Men det får inte dröja för lång tid tills tankstationerna når hyfsad beläggning.



Figur 6: Tankstationer för vätgas i världen (IEA 2019)

Vid sidan av personbilarna, som utgör den absoluta merparten av de fordon som finns på vägarna, har stadsbussar under många år rullat i olika projekt. Erfarenheterna är överlag goda från projekten och exempelvis har bussar i USA visat att bränslecellssystemen kan hålla över 20 000 timmar. För att ta nästa steg från demonstrationsprojekt till marknadsintroduktion genomförs nu upphandlingar av bränslecellsbussar, se exempelvis JIVE-projekten i EU.

Lastbilar med vätgas och bränsleceller har snabbt stigit på agendan. Huvudskälet är att elektrifiering bedöms nödvändigt och lämpligt för i princip alla vägtransporter och renodlade batterilösningar har väsentligt större begränsningar i räckvidd och lastkapacitet än vätfasdrivna bränslecellslastbilar. Företag som Nikola Motor Company, som lanserar sig som en Tesla för tunga fordon, gör förmodligen också att intresset ökar. Men även etablerade aktörer som Toyota och Hyundai är involverade i lastbilsverksamhet. Hyundai ska exempelvis leverera 1 600 tunga bränslecellslastbilar i Schweiz med start 2019.

Synergier mellan lätta och tunga fordon framhålls. Lätta fordon leder till stora volymer av bränslecellssystem som därmed blir kostnadsmässigt attraktiva. Tungas fordon drar nytta av det genom att använda samma eller kanske dubbelade bränslecellssy-

stem. Tunga skapar fordon genom sin stora och regelbundna vätgasanvändning förutsättningar för stora tankstationer för vätgas, vilket gör att kostnaden per kilo vätgas reduceras. Det kan personbilarna dra nytta av.



Figur 7: Hyundai Nexo

Den senaste personbilen som lanserats av de stora tillverkarna är Hyundai Nexo, se Figur 7. Några data för bilen återfinns i Tabell 1.

Tabell 1: Några data för Hyundai Nexo

Räckvidd	666 km (WLTP)
Effekt elmaskin	120 kW
Effekt bränslecellssystem	95 kW
Effekt batterier	40 kW
Acceleration 0 – 100 km/h	9,2 s
Tankar vätgas	6,3 kg i tre tankar

2.3 STATIONÄRA TILLÄMPNINGAR

Bränsleceller i stationära tillämpningar används till exempel för kraftvärme, som reservkraft eller helt enkelt som kraftverk. Det är idag en ganska stabil och växande marknad som dock i de flesta fall är subventionerade av exempelvis EU program, USDOE eller NEDO i Japan. Den totala volymen av sålda stationära bränslecellssystem ökade något även 2018, nivån var ca 240 MWe fördelad på 57 500 anläggningar.



Figur 8 Bränsleceller från SOFC AISIN för Ene-Farm i Japan och Panasonic-Viessman installerad i Tyskland

De stora antalet anläggningar domineras av PEFC till Japans Ene-Farm program, totalt finns det nu mer än 300 000 bränsleceller som microCHP i Japan varav i storleksordningen ca 35 000 är SOFC högtemperaturbränsleceller. Idag är dessa bränsleceller avsedda för enfamiljsbostäder eller lägenheter, de har effekten 700 We. Nu kommer större modeller i Japan för andra byggnader, med effekter på 3–5 kWe och mer. I Europa har microCHP också börjat etableras med Tyskland som ledare. Det är olika demonstrationsprogram inom EU-projekten EneField och PACE samt de tyska Callux och KfW233. Antalet anläggningar i Europa börjar närma sig storleksordningen 10 000.

Effektmässigt, antalet MW, dominerar MCFC-anläggningar från Fuel Cell Energy och dess partners POSCO Korea samt SOFC från Bloom Energy som levererar anläggningar multi-MW storlek. Doosan, som har tagit över UTCs 400 kWe PAFC system, har en del beställningar i pipeline. Totalt har de levererat eller har beställningar på ca 250 MWe fördelat på mer än 550 anläggningar. De tillverkas fortfarande i USA av Doosan America i UTCs gamla verkstäder men nu tillverkas de även i Korea.

Tax credit systemet i USA som togs bort under en period är nu tillbaka till samma nivå 3 000 USD/kWe eller 30% av projektkostnaden, men det kommer att reduceras något fram till 2021. USDOE har fått tillbaka sina FoU-anslag för forskning kring vätgas och bränsleceller. I Japan fortsätter subventionerna till Ene-Farm programmet. Det går inte så fort fram som det var planerat men det är trots allt det ojämförligt största bränslecellsprogrammet. Nu planerar tillverkarna i Japan att lansera anläggningar för kraftvärme i olika storlekar upp till 50 kWe för att kunna nå en större marknad. Dessa bränsleceller kan då användas i större byggnader.

En betydande och växande marknad för stationära bränsleceller är reservkraft för anläggningar som är känsliga för strömavbrott. Det är i första hand telekom-anläggningar och datorhallar. Bränsleceller används även för anläggningar som ligger långt från stora elnät, till exempel radiolänksystem och olika typer av telekomsystem. Det kan också vara i avlägsna områden där elnätet är svagt och bränsleceller används som primärkraft. Dessa anläggningar, som vanligtvis är i storleksordningen 1–10 kWe är ofta av typen PEFC med vätgas som bränsle. Det finns i storleksordningen 10 000 sådana anläggningar i drift. Reservkraftsanläggningar för datorhallar, hotell och sjukhus används större anläggningar som kan vara på flera MWe. De körs då i regel parallellt

med elnätet och då används till exempel SOFC från Bloom Energy, MCFC från Fuel Cell Energy eller PAFC från Doosan.

Kraftvärmemarknaden med biogas som bränsle är betydande, speciellt i Kalifornien där det finns kraftiga subventioner för denna typ av anläggningar. Enstaka anläggningar finns också i Tyskland och i Asien. Det finns flera bränsleceller i MW-klass som använder biogas från vattenreningsanläggningar som bränsle. Även bryggerier och annan livsmedelsindustri producerar biogas från sitt avfall som sedan används som bränsle till större bränslecellsanläggningar. Idag är de flesta bränslecellerna MCFC från Fuel Cell Energy men SOFC från Bloom Energy har också levererat stora bränsleceller för biogas, se Figur 9.



Figur 9 Bloom Energy multi-MW SOFC Equinix Data center och LG 250 kWe SOFC med gas turbine demo

Inom SOFC-programmet i USA har två stora SOFC-anläggningar kommit igång; Fuel Cell Energy 200 kWe och LG 250 kWe med en gasturbin i processen. Även om det har tagit lång tid så kan det bli ett stort steg framåt för SOFC-tekniken. Idag finns det egentligen ingen som bygger större stackar. Bloom Energys SOFC teknik för MW anläggningar är en samling av många små stackar. SOFC-programmet finansieras av Departement of Fossil Energy.

För Europas del är satsningen på stationära bränsleceller mer långsiktig och domine-ras av publikt finansierade EU projekt och det tyska NIP med KfW233-programmet. Det nya stora flaggskeppet är EU-projektet PACE där 2 600 bränsleceller kommer att placeras i byggnader i olika länder i Europa som kraftvärmeanläggningar i olika länder i Europa. De japanska företagen Panasonic, AISIN-Seiki och till viss del även Toshiba har nu stor erfarenhet av tillverkning, installation och drift och underhåll av bränsleceller, vilket har gjort att de har expanderat kraftigt på exportmarknaden. De japanska tillverkarna har ingått olika joint ventures i Europa och de levererar nu stackar till EU-projekten PACE och EneField.

De mest betydande stacktillverkarna för stationära SOFC bränsleceller i Europa är SOLIDPower i Italien som har vidareutvecklat högeffektiva små SOFC stackar på 1,5 kWe som från början togs fram av CFCL i Australien. De tar nu även fram större stackar. Företaget har expanderat och har tillverkning i både Italien och Tyskland där anläggningarna har vardera en kapacitet på 50 MW per år. De utvecklar nu större

enheter. Andra tillverkare i Europa är Ceres Power i Storbritannien som har metalliska SOFC och Convion i Finland som i samarbete med Elcogen har tagit fram en 60 kWe modell med hög prestanda. Hexis finns kvar men deras teknik har låg verk-ningsgrad och används mest som CHP i EU-finansierade projekt. Sunfire i Tyskland fokuserar mest på SOEC elektrolysörer med SOFC teknik. Ballard Electra-Gen ME bränslecell för ett telecom system i Indien finns som 2,5 eller 5 kWe, se Figur 10. Den använder metanol som bränsle.



Figur 10: Ballard Electra-Gen ME

2.4 PORTABLA BRÄNSLECELLER

Begreppet portabla bränsleceller är ganska brett. Den vanliga definitionen är små bränsleceller, i regel under 1 kWe. I praktiken är de ofta i storleksordningen 10 We. Portabla bränsleceller för flera olika användningsområden och med en mängd olika tekniker är under stark utveckling. Konkurrenten från laddningsbara batterier är mycket stor och tekniken är ännu inte färdigutvecklad. För portabla bränsleceller är vikten och storleken av stor betydelse. De ska också vara robusta och ha relativt långa drifttider samt tåla en del omild behandling. Ett intressant utvecklingsspår är att hybridisera bränsleceller och batterier.

Idag används och utvecklas portabla bränsleceller som har flera olika användningsområden.

- Större portabla system som används utanför elnätet som mindre kraftaggregat till fritidsändamål eller industriella tillämpningar där tillfällig kraft behövs. De kan också användas som kraftkälla för övervakningskameror eller liknande.
- Laddare till mobiltelefoner eller PC. Flera olika företag har försökt utveckla system men det är mycket svårt att konkurrera med uppladdningsbara batterier.
- Det finns flera olika militära användningsområden för portabla bränsleceller. Det kan vara den enskilde soldaten som behöver en kraftkälla för sin utrustning eller något större kraftaggregat för användning i fält.

Marknaden för portabla bränsleceller har gått åt många håll under de senaste åren. Det finns flera företag som har utvecklat bränslecellsladdare till mobiltelefoner. Tyvärr har det varit en svår marknad för de flesta företagen och nu senast har även myFC från Sverige beslutat att avsluta tillverkningen av konsumentprodukter. MyFC tekniken har i regel fungerat men priset har varit högt jämfört med de powerbanks som består av laddningsbara batteripaket. Powerbanks säljs i alla elektronikaffärer till en låg kostnad. Även om bränslecellerna kan ha en del fördelar så är det svårt att nå

en marknad, speciellt eftersom det är en marknad i första hand för privata konsumenter där priset har stor betydelse.



Figur 11 SFC EFOY portabla bränsleceller.

Det har gått betydligt bättre för portabla kraftpaket i storlekar upp till 1 kW. SFC Energy i Tyskland, tidigare Smart Energy, har tagit fram flera olika produkter avsedda för fritidsbruk, industrin och för militära användningsområden, se Figur 11. Effekterna är från några 10-tals Watt upp till några hundra Watt. Bränslecellerna är av DMFC-typ, direktmetanol, och drivs med metanol. Det är ett av få bränslecellsbolag som har visat vinst.

Protonex har liknande produkter och även portabla SOFC. De ägs numera av Ballard i Kanada. Deras största kunder är inom försvarsindustrin.

3 Program och projekt

3.1 FFI-PROJEKTEN

3.1.1 Hållbara polymermembran

Projektet löper under 2018-2021 med den kompletta titeln Durable polymer membrane fuel cells for vehicles - Lifetime studies on components, cells and stacks. KTH leder projektet och Lunds universitet, Chalmers, Sandvik, Cell Impact, Scania, MyFC, PowerCell, Intertek och Vätgas Sverige medverkar.

En del av projektet handlar om alkaliska bränsleceller, vilka har potentialen att ge bättre reaktionskinetik vid katoden, användning av billigare katalysatorer än platina och andra typer av membran. De kan kort sagt ge billigare celler. Problemet är dock att jonledningsförmåga, hållbarhet och vattenhantering än så länge bjuder på utmaningar.

Bland angreppssätten för att komma tillrätta med utmaningarna återfinns sökandet efter stabila membran och välfungerande katalysatorer, detaljstudier av hur cellerna fungerar, och utveckling av porösa elektroder.

3.1.2 Kostnadseffektiva IT-SOFC bränsleceller för mobila applikationer

Chalmers leder detta FFI-projekt. Därutöver medverkar även AB Volvo, Sandvik och den finska bränslecellstillverkaren Elcogen. Med lägre temperaturer kan fastoxid-bränsleceller förbättras på olika sätt. Då kan mindre känsliga, billigare material användas. Vidare tar uppvärmning och nedkyllning kortare tid, vilket i sin tur bidrar till fler möjliga tillämpningsområden. Slutligen och inte minst viktigt kan det leda till förbättrad livslängd.

I projektet undersöks möjligheterna att använda billigare metall vilken i kombination med skyddande skikt ska klara uppgiften. Då 'interconnectorena' står för upp till en tredjedel av kostnaden kan en sådan förändring ha stor betydelse för systemets konkurrenskraft.

3.2 IEA ADVANCED FUEL CELLS



IEA är en OECD-organisation som bildades i samband med oljekriserna 1973–1974 då oljepriset chockhöjdes och de oljeproducerande gick samman och bildade OPEC för att kunna upprätthålla ett högre oljepris och ha kontroll över produktionen. Inom IEA bildades forskargrupper och nätverk idag benämnda TCP, Technology Collaboration Programmes. Inom ett TCP ska olika grupper med forskare och andra intressenter arbeta tillsammans och bilda nätverk inom ett teknikområde för att nå de av IEA uppsatta målen. Det gäller speciellt att utveckla tekniker som inte är direkt beroende av

oljan, till exempel olika former av förnybara bränslen, solenergi, vindkraft, vattenkraft, vätgas, bränsleceller m m, men även kol och fusion har fått ett stort utrymme. Det finns idag ett 40-tal olika TCP. IEA Advanced Fuel cells och IEA Hydrogen är två av dessa. Sverige är idag med i 23 av 40 TCP.

Mer detaljerad information om olika TCP finns på websidan www.iea.org/tcp.

Sydkraft och Vattenfall var tidiga användare av bränsleceller i Europa. Sydkraft var med om att starta IEA Advanced Fuel Cells som är inriktat på forskning och användarfrågor däribland marknadsutveckling.

IEA Advanced Fuel Cells AFC, TCP startades 1990 med syfte att skapa ett internationellt globalt nätverk inom bränslecellsområdet med deltagare från Europa, Nordamerika, Asien och Australien. Detta för att hantera möjligheterna och hindren för en internationell kommersialisering bränsleceller, främja utvecklingen av bränslecellsteknik och deras tillämpning internationellt och överföra viktiga budskap till marknaden, samhället, beslutsfattare och allmänheten i förekommande fall. AFC TCP uppnår dessa mål genom att dela med sig av den senaste utvecklingen inom forskning, utveckling och distribution inom bränsleceller. Exekutivkommittén, ExCo, har bland annat som uppgift att sprida informationen till och inom respektive medlemsländer.

IEA Advanced Fuel Cells har idag 16 medlemsländer där Spanien och Kina nyligen har blivit medlemmar. Det är numera möjligt för organisationer och företag att direkt vara med i IEA AFC. Det ger en möjlighet att vara med även om landet officiellt inte är med. VTT från Finland är med som organisation. De har då möjlighet att vara med i ExCo men saknar rösträtt.

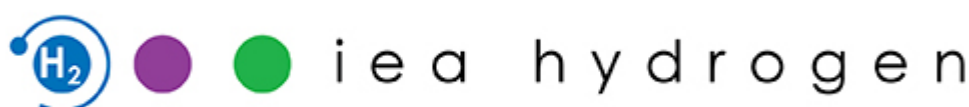
Mer information om IEA Advanced fuel Cells TCP finns på websidan www.ieafuel-cell.com. Svenska representanter i ExCo, Exekutivkommittén, är idag Hanna Sundkvist med Greger Ledung som ersättare, båda på Energimyndigheten.

I Tabell 2 visas annexen inom IEA Advanced Fuel Cells och vem som leder dem (Operating Agent) samt de svenska deltagarna.

Tabell 2: IEAs olika annex inom Advanced Fuel Cells

		Operating Agent	Svensk deltagare
Annex 30	Electrolysis	Dr Marcelo Carmo FZJ, Jülich, Germany	-
Annex 31	PEFC	Di-Jia Liu, Argonne NL, USA	Lars Pettersson, KTH
Annex 32	SOFC	Jari Kiviaho, VTT Fuel Cells, Finland	Martin Andersson och Bengt Sundén, LTH Jan-Erik Svensson, Chalmers
Annex 33	Stationary	Viviana Cigolotti, ENEA Italien	Per Ekdunge, Powercell
Annex 34	Transport	Rajesh Ahluwalia, Argonne NL, USA	Sandvik och Impact Coating
Annex 35	Portable	Fabio Matera, Italien	Eva Fontes, Intertek
Annex 36	System Analysis	Prof Detlef Stolten FZJ Jülich Tyskland Dr Nancy Garland Dep of Energy, USA	
Annex 37	Modelling of fuel cell systems	Steven Beale, FZJ Jülich, Tyskland	Martin Andersson, LTH

3.3 IEA HYDROGEN



IEA Hydrogen var ett av de första TCP, Technical Collaboration Programme. Det startades av IEA 1974. IEA Hydrogens vision är en ren hållbar energiförsörjning där vätegas har en nyckelroll som energibärare. IEA Hydrogen är till stor del forskningsinriktat.

IEA Hydrogen TCP har idag 29 medlemmar varav 22 länder inklusive EU och 7 organisationer, så kallade sponsorer eller företag som är aktiva medlemmar utan rösträtt i ExCo. Sverige var med och startade organisationen 1974 och är fortfarande medlem.

Representant för Sverige i ExCo, Exekutivkommittén är Mikael Lindqvist och ersättare är Hanna Sundqvist, båda Energimyndigheten, avd Hållbar Transport.

Mer detaljerad information om IEA Hydrogen finns på websidan.

<http://ieahydrogen.org/>

IEA Hydrogen arbetar med olika Tasks som pågår i regel 3–6 år där varje Task ska lösa en specifik uppgift som redovisas i en slutrapport. Det finns en del Tasks som ofta förnyas, det är till exempel Hydrogen Safety och Hydrogen Storage. Totalt har det startats ca 41 Tasks och av dessa är sju aktiva idag.

CURRENT TASKS

Task 34 - Biological Hydrogen for Energy and Environment

Task 35 - Renewable Hydrogen Production

Task 37 - Hydrogen Safety

Task 38 - Power-To-Hydrogen and Hydrogen-To-X

Task 39 - Hydrogen in Marine Applications

Task 40 - Energy Storage and conversion based on hydrogen

Task 41 - Data and Modelling

Sverige har experter från bland annat Stockholms Universitet, Lunds Universitet, Sweco Energy, Umeå Universitet, Uppsala Universitet som deltar i pågående Tasks.

Nyligen publicerades rapporten Global trends and outlook for hydrogen

http://ieahydrogen.org/pdfs/Global-Outlook-and-Trends-for-Hydrogen_WEB.aspx

IEAs analysgrupp har publicerat en roadmap för vätgas och bränsleceller. Rapporten beskriver de steg regeringar, industri och forskare behöver ta för att möjliggöra en bred introduktion av vätgas som energibärare före 2050. IEA Hydrogen har varit delaktiga i arbete med att ta fram rapporten. Den är sammansatt av IEA:s centrala analysgrupp. Rapporten går att hämta med länken nedan.

[http://ieahydrogen.org/pdfs/TechnologyRoadmapHydrogenandFuelCells-\(1\).aspx](http://ieahydrogen.org/pdfs/TechnologyRoadmapHydrogenandFuelCells-(1).aspx)

3.4 EU FCH 2JU



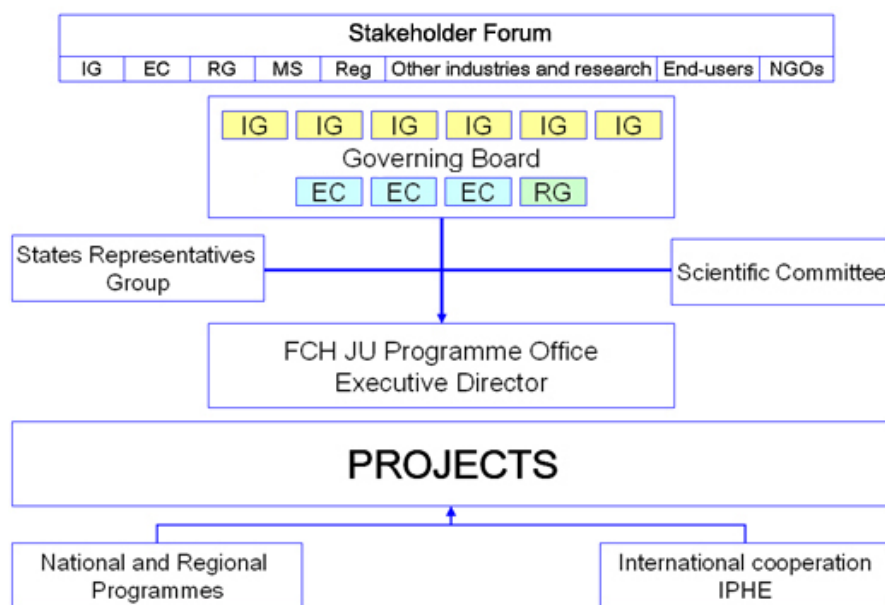
EUs verksamhet inom bränslecells- och vätgasområdet är sedan hösten 2008 samlad inom ett så kallat JU, Joint Undertaking. En ny period för åren 2014 – 2020 kallad FCH 2JU startades under 2014. Omfattningen för sjuårsperioden är 1 330 MEUR där 50 % ska finansieras med privata medel. Finansieringen från EC, EU-kommissionen görs via ramprogrammet Horizon2020. De uppsatta målen för FCH 2JU är nu mer marknadsinriktade än tidigare och framhäver Europa och europeisk industri. Forskningsdelen är mycket liten, för grundläggande forskning som inte är direkt knutet till industrins utveckling inom bränslecellsområdet hänvisas till andra utlysningar inom H2020. TRL3 är miniminivå för projekten inom FCH 2JU.

En vision med FCH 2JU är att vätgas som energibärare speciellt som transportbränsle ska vara en mogen och konkurrenskraftig teknik år 2020. Det ska uppnås genom ett samarbete som leds av industrin där forskning och utveckling samt demonstration av

tekniken ingår. Det betonas också att europeisk industri ska vara ledande och konkurrenskraftig inom området. Detta har varit svårt att uppnå. På marknadssidan ligger Europa fortfarande långt efter Asien och Nordamerika. Det område som Europa kan räknas som ledande är elektrolysörer som är ett växande och centralt område för att kunna införa en infrastruktur för förnybar vätgas som energibärare och transportbränsle.

Brexit kan komma att påverka det fortsatta arbetet inom FCH 2JU och även kommande program efter 2020. Storbritannien är en betydande finansiär av FCH 2JU och flera framgångsrika företag och organisationer från Storbritannien är med i projekten.

Sveriges officiella representanter i EU 2JU är från Energimyndigheten och finns representerade i States Representatives Group. Det är Hanna Sundqvist och Peter Kasche, båda från avdelningen Hållbar Transport på Energimyndigheten.



Figur 12: Organisationen för EU FCH2JU

I Figur 12, lägg märke till att nu har IG, Industrigruppen majoritet i Governing Board. I praktiken har dock EC veto-rätt eftersom EU finansierar 50% av budgeten.

För att ett projekt ska godkännas krävs att minst en av projektdeltagarna är med i antingen Industrigruppen eller Forskningsgruppen. Övriga projektdeltagare behöver inte vara med i dessa organisationer. Industrigruppen, som numera även heter Hydrogen Europe har idag 119 medlemmar från 21 olika länder. Industrigruppen är ett nätverk bland bränslecellrelaterade industrier i Europa och en betydelsefull lobbyorganisation. För mer detaljerad information se <http://hydrogeneurope.eu>.

Forskningsgruppen som har bytt namn till Hydrogen Europe Research. De har 68 medlemmar från olika forskningsinstitut och universitet i Europa. Mer information om organisationen och dess medlemmar finns på Hydrogen Europe Research websida www.hydrogeneurope.eu/research

Från Sverige är AB Volvo, PowerCell och Metacon med i Industrigruppen Hydrogen Europe och KTH är Sveriges enda medlem i Forskningsgruppen Hydrogen Europe Research.

Verksamhetens bakgrund, huvudprogram samt mål och visioner för FCH 2JU finns presenterade i dokumentet MAWP, Multi-Annual Work Programme. Dokumentet går att ladda ner från länken <http://www.fch.europa.eu/page/multi-annual-work-plan>.

Inom FCH 2JU görs det en årlig utlysning i storleksordningen 100 MEUR. Programmet är indelat i två lika stora huvudområden Transport och Energisystem. För övriga projekt finns ca 5 % av budgeten som används för Cross-cutting and Overarching issues.

Varje år publiceras en Annual Work Plan (AWP) som innehåller förutsättningarna för årets utlysning och årets budget för verksamheten. Alla AWP finns på websidan under fliken key documents, se länken <http://www.fch.europa.eu/node/843>.

Utlysningen för 2019 stängde den 23 april, den preliminära omfattningen av utlysningen är 80,8 MEUR. Det kom in 44 ansökningar varav 23 inom energiområdet och 11 för transportområdet. Utvärderingen av ansökningarna kommer att offentliggöras i augusti 2019. Detaljerad information om den senaste utlysningen finns på länken, <https://fch.europa.eu/page/call-2019>.

Det är nu 246 projekt som har godkänts och startat sedan början av FCH JU 2008. Flera projekt är under förhandling med EC och de förväntas starta senare under året. Det finns deltagare från Sverige i mer än 30 av dessa projekt.

De nyheter inom transportområdet som nämns för 2019 är att forskning inom platinumfria PEFC fortfarande kommer att prioriteras. FCH JU vill se fler demonstrationer för tunga fordon speciellt i stadsmiljö och för gaffeltruckar och liknande arbetsredskap. Marina applikationer, speciellt större system ombord fartyg kommer att ha prioritet, det gäller både framdrift och elförsörjning i hamn.

Inom energiområdet så kommer utveckling och demonstration av stora elektrolysörer att bli ett prioriterat område. Det är olika typer av elektrolysörer som producerar vätgas direkt vid tankstationer. Ett annat område är flytande vätgasbränslen. Förbättringar av kraftvärmeanläggningar och materialfrågor för SOFC är med i utlysningen för 2019.

JIVE2 är en utökning av på det tidigare beslutade JIVE projektet som omfattar 139 bränslecellsbussar. Den första delen omfattar 5 olika länder på 9 olika ställen i Tyskland, Storbritannien, Italien, Lettland och Danmark. Projektet finns beskrivet i detalj på websida <https://www.fuelcellbuses.eu/projects/jive>. <http://www.fch.europa.eu/project/joint-initiative-hydrogen-vehicles-across-europe>

JIVE2 är det sjätte större bussprojektet som finansieras av EU. Här kommer ytterligare 152 bränslecellsdrivna bussar att placeras i 14 olika städer i Europa. Det finns 5 bussar reserverade för Sverige. Från Sverige deltar Vätgas Sverige som projektmedlem. JIVE2 kommer att pågå under sex år fram till januari 2024.

Inom det stationära området är det nya stora flaggskeppsprojektet PACE där 2 650 bränsleceller ska placeras i bostäder som microCHP, se <http://www.pace-energy.eu>.

Det är 5 olika leverantörer av både PEFC och SOFC. Bränslecellerna ska i första hand placeras i Belgien, Frankrike, Italien, Storbritannien och Nederländerna men även andra länder som Storbritannien, Polen, Österrike och Schweiz kommer att ansluta till projektet.

Ett annat så kallt flaggskeppsprojekt är H2ME, Hydrogen Mobility for Europe. Det har utökats med H2ME-2 och tillsammans kommer minst 45 vätgastankstationer att placeras i Europa och enligt planerna ska mer än 1 400 bränslecellsfordon finnas i tillgängliga i Europa före 2022. Vid slutet av 2018 hade 15 tankstationer och 360 fordon, varav tre tankstationer har startats i Sverige; Sandviken, Arlanda och Mariestad. Skandinavien är en av fyra huvudregioner som är med i projektet. Från Sverige deltar AGA AB.

Ett annat viktigt prioriterat projekt är HYLAW med syftet att underlätta introduktionen av vätgas som energibärare genom att undersöka befintlig lagstiftning inom området. Det är 23 olika deltagande organisationer. Från Sverige deltar Vätgas Sverige. HYLAW har publicerat en sökbar databas som beskriver de legala förutsättningarna i olika länder i Europa, www.hylaw.eu/database.

Det finns en uppdaterad websida för FCH JU2. Där finns all information även för det tidigare programmet. Alla godkända projekt är presenterade. Det finns information om nödvändiga bestämmelser och dokument för att kunna göra ansökningar i FCH 2JU, se www.fch-ju.eu.

4 Uppdrag inom Teknikbevakningsprojektet 2017-2019

4.1 PROJEKT 2017 - 2019

De flesta projekten under denna perioden avser teknikbevakning eller analyserande studier om bränslecellsteknikens framtid. Ett undantag är demonstrationsprojektet av en lastcykel som försetts med en bränslecell.

4.1.1	Fuel cell vehicles and systems for transport of construction materials in cities, Peter Bark, Angelika Treiber, TFK Energiforskrappport 2019:600
4.1.2	Praktiska tillämpningar med bränsleceller i tunga fordon, Hans Pohl, RISE Viktoria Energiforskrappport 2019:605
4.1.3	Teknikbevakning bränslecellsområdet med speciellt fokus på stationära tillämpningar, Bengt Ridell, Sweco Energy Energiforskrappport 2019:602
4.1.4	Teknikbevakning SOFC och FC modellering, Martin Andersson, Bengt Sundén, LTH Energivetenskaperna Energiforskrappport 2019:601 (gemensam rapport)
4.1.5	Teknikbevakning SOFC och SOEC, energi och material Jan Froitzheim, Jan-Erik Svensson, Chalmers Energiforskrappport 2019:601 (gemensam rapport)
4.1.6	Can fuel cells become a mass-produced option globally for heavy-duty trucks 2030+ Magnus Karlström (projektledare), Elna Holmberg och Anders Grauers, SHC/Chalmers samt Hans Pohl, RISE Viktoria Energiforskrappport 2019:604
4.1.7	Hydrogen and fuel cell trucks – next step Hans Pohl (projektledare), RISE Viktoria, Magnus Karlström, Lindholmen Science Park, Magnus Lindgren, Trafikverket, Staffan Lundgren, Volvo Technology AB, Nils-Gunnar Vågstedt, Scania AB och Per Öhlund, Transportstyrelsen. Energiforskrappport 2019:603
4.1.8	Projektering av el- och bränslecellsdrivna dragfordon Bo Westerlund, BW Konstruktion AB Energiforskrappport 2019:559

4.1.9	Kostnadsfunktion för traktionära bränslecellssystem Hans Pohl, RISE Viktoria Energiforskrappport 2019:555
4.1.10	Att lagra vätgas ombord fordon Hans Pohl (projektledare), RISE Viktoria och Bengt Ridell, Sweco Energy Energiforskrappport 2019:553
4.1.11	Bränslecellsdrivna lastcykelfordon med extra funktionalitet Anders Lundblad, RISE Energiforskrappport 2019:554
4.1.12	Bränsleceller i fordon och hanteringsmaskiner i intermodala transportsystem Angelica Treiber, TFK Energiforskrappport 2018:478

4.1.1 Fuel cell vehicles and systems for transport of construction materials in cities

TFK, Peter Bark

Projektets syfte var att undersöka förutsättningarna för bränslecellsdrivna lastbilar för bulktransporter i städer samt studera vilka incitament som finns för sådana transportlösningar. Fyra olika drivlinor och tre konkreta tillämpningar där sten, asfalt respektive betong transporteras ut från Stockholms centrala delar studerades. Ett centralt antagande var att fordonens räckvidd skulle medge minst tre kompletta körcykler.

Det noteras att dylika bulktransporter utgör mer än 50% av allt gods som transporteras i Stockholmsregionen och dessa transporter skiljer sig från traditionella lastbilstillämpningar genom relativt korta körsträckor och stora krav på lastkapacitet.

Av de studerade alternativen medförde batterilösningarna begränsningar i lastkapaciteten, i synnerhet i fallen då lång räckvidd krävdes. Övriga (bränslecell, diesel och elväg) klarade uppgiften utan minskad lastkapacitet. I gengäld gav batterilösningarna lägst energikostnad per transporterat ton.

Gångse fördelar med eldrivna fordon utgör incitament för en övergång till sådana och i valet mellan bränslecellsdrift och batteridrift framhålls att bränsleceller är mest intressanta då kraven på räckvidd och lastkapacitet är höga medan batterifordon är att föredra annars.

Vätgasdrivna bränslecellslastbilar bedöms reducera energianvändningen och kostnaderna för drivmedel med cirka 30%. Koldioxidutsläppen kan reduceras med mer än 70%.

4.1.2 Praktiska tillämpningar med bränsleceller i tunga fordon

RISE Research Institutes of Sweden AB, ICT Viktoria, Hans Pohl

Syftet med projektet var att öka förståelsen för tillämpningar med bränsleceller i tunga fordon. Det gjordes med ett fokus på konkreta tillämpningar. Projektet ger underlag inför beslut avseende satsningar på bränsleceller i tunga fordon.

Metoden var primärt intervjuer med olika aktörer involverade i konkreta tillämpningar. En utmaning för projektet var att många av de intressanta projekten som involverar lastbilar med bränsleceller är i en tidig fas. Följande projekt eller verksamheter studerades:

- Asko i Norge: varudistribution med 4 lastbilar från Scania
- Renova i Sverige: sophämtning med 2 lastbilar från Scania
- Hamnarna i Los Angeles och Long Beach: godsdistribution från hamnen till kunder i området med 12 lastbilar från Toyota/Kenworth
- Nikola Motor Company: lastbilar och 700 vätgastankstationer i USA (och Europa?)
- Hyundai och H2 Energy: 1 600 lastbilar och tankstationer i Schweiz.

Gemensamt för alla projekt är att valet av bränsleceller i drivlinan grundar sig i en ambition att köra utsläppsfritt och klimatneutralt. Ambitionen har i samtliga fall varit att ta fram fordon som helt kan ersätta förbränningsmotordrivna fordon utan begränsningar annat än att de inledningsvis inte kan tankas på så många ställen.

Totalekonomisk bärkraft hävdas i de storskaliga upplägg som Nikola respektive Hyundai och H2 Energy format. Toyota bedömer att lösningen blir konkurrenskraftig kring 2030 och i övriga projekt finns än så länge inga sådana bedömningar. Dock verkar villkoren för bränslecellsfordon generellt sett vara gynnsamma i Norge.

4.1.3 Teknikbevakning bränslecellsområdet med speciellt fokus på stationära tillämpningar

Sweco Energy, Bengt Ridell

Uppdraget syfte var att bevaka, rapportera och analysera den globala utvecklingen och större aktiviteter inom bränslecellsområdet. För att genomföra uppdraget så skulle bland annat ett flertal viktiga konferenser bevakas aktivt samt även i vissa fall göra presentationer eller leda sessioner inom området. Följande sammankomster har bevakats. De har i huvudsak varit finansierade genom detta uppdrag men även Biogass2020 och Sweco Energuide har bidragit med finansiering.

- Biogass 2020 i Fredrikstad, Norge april 2018, här hölls även en presentation om bränsleceller och biogas.
- AMR, Annual Merit review Washington DC, USA juni 2018. Vid denna konferens presenterades de projekt US DOE finansierar inom området vätgas och bränsleceller.
- Expertmöte IEA Advanced Fuel Cells Annex 33 stationary applications, Augsburg, Tyskland.
- EU FCH JU2 Review Days och Stakeholder Forum, november 2018
- FC EXPO Tokyo 2019 med tillhörande konferens, februari 2019.

Bränslecellstekniken är fortfarande under stark utveckling men inom flera områden är tekniken tekniskt färdig och börjar bli kommersiell. Bränsleceller kan idag köpas med garantier och tillverkarna får positiva resultat. Den allmänna utvecklingen inom området är starkast i Asien och Nordamerika medan Europa fortfarande har stort fokus på forskning och demonstration.

Det finns idag flera olika vätgasdrivna bilar med bränsleceller som är tillgängliga för köp och leasing, främst från Toyota, Hyundai och Honda. Daimler har nyligen officiellt lanserat sin bränslecellsbil Mercedes Benz GLC F-Cell på marknaden. Till skillnad från de asiatiska bilarna kan den användas som plug-in hybrid.

För de mindre stationära anläggningarna och stackar för dessa har Japan den ledande rollen och de är numera även starka på exportmarknaden. Det är stora teknikkoncerner i Japan som Panasonic, Toshiba och AISIN som alla fokuserar långsiktigt för att utveckla och kommersialisera tekniken. Det gör de tillsammans med de stora gasbolagen i Japan och NEDO.

För större anläggningar i MW-klass är det teknik från USA som dominerar, en del av denna teknik vidareutvecklas av koreanska företag. I USA har DOE, Department of Energy länge på olika sätt subventionerat FoU och även marknaden genom subventioner av investeringar i bränsleceller. Flera delstater har också utöver de federala programmen generösa program för introduktion av bränsleceller speciellt i samband med användning av förnybar energi som olika former av biogas.

För Sveriges del är det viktigt att noga följa utvecklingen globalt av teknik och marknad. Det gäller speciellt för exportindustrin som redan idag till viss del är aktiv inom området flera svenska företag har kunder globalt. Det finns flera forskare på universitet och högskolor i Sverige som kan ha stor nytta av den kunskap som de kan få från teknikbevakningen

Ett nytt område som kan bli aktuellt i Sverige är Power to gas där överskottsel eller annan el lagras i gasform. Då kan bränslecellstekniken användas både vid produktion och återanvändning av gasen. I Sverige kan det vara aktuellt att använda tekniken vid industrier som kan använda vätgas i sin produktion. Det görs idag till exempel inom stålindustrin i Hy-Brit projektet.

4.1.4 Teknikbevakning SOFC och FC modellering

Lunds universitet, LTH Energivetenskaper, Martin Andersson/Bengt Sundén

Teknikbevakningen av SOFC med modellering har gjorts i två projekt, rtt på LTH och ett på Chalmers. Projekten är redovisade i en gemensam rapport sammanställd av Martin Andersson LTH och Jan Froitzheim Chalmers.

LTHs del av projektet avser teknikbevakning och analyser av fastoxidbränsleceller (SOFC) med fokus på fordon och stationära tillämpningar, samt elektrolysörer där det bedöms relevant. I rapporten presenteras de ledande tillverkarna av SOFC teknik och deras status och roll på marknaden. Tekniken har nu utvecklats mot kommersialisering av flera tillverkare, livslängder och degradering uppfyller ofta marknadens krav.

Den största utmaningen nu för SOFC-företagen är att minska kostnaderna med bibehållen prestanda. Flera företag har annonserat att de kommer att kraftigt utöka sin tillverkningskapacitet vilket i sin tur kan minska kostnaderna. Bland dem kan speciellt nämnas Ceres Power, Bloom Energy, AISIN och Solid Power. Dessa och flera andra tillverkare är alla beskrivna i detalj i rapporten.

En tydlig tendens är att storlekarna för stackarna ökar, bland annat för att kunna uppfylla den stationära marknadens krav för reservkraft och primärkraft till datacenters, Telecom och större CHP till byggnader. En annan är att SOEC elektrolysörer utvecklas mer och mer. De kan komma att fylla en viktig roll i kommande energisystem med hög verkningsgrad och möjlighet att inte bara kunna producera vätgas utan även syn-gas, vilket kan vara viktigt för till exempel metanisering och power to gas system.

Trots den relativt långa uppstarstiden från kallt tillstånd är det flera bilföretag och andra som utvecklar SOFC system för fordonsindustrin. Nissan har i Brasilien utvecklat en SOFC batterihybrid som använder grön metanol som bränsle. Honda, Weichai och AVL tar fram SOFC system som range extenders till batteribilar.

I rapportens analys lyfts fram att Bloom Energy är det klart största företaget med mer än 85 % av marknadsvolymen. De har förbättrat prestanda speciellt verkningsgraden de sista två åren. När det gäller antalet levererade system så är det AISIN-Seiki i Japan som har levererat flest till ENE-Farm programmet med mer än 35 000 system. Bloom Energy levererar stora system, de flesta i MW-klass.

Det finns ett flertal SOFC projekt som finansieras av EU FCH JU som PACE, ConSOS och DEMOSOFC. En klar trend är att tekniken närmar sig full kommersialisering även i Europa och att TRL nivåerna för projekten har ökat och ökar.

4.1.5 Teknikbevakning SOFC och SOEC, energi och material

Chalmers tekniska högskola, Jan Froitzheim och Jan-Erik Svensson

Chalmers del i arbetet har varit teknikbevakning inom SOFC/SOEC området, det vill säga fastoxidbränsleceller och -elektrolysörer med speciellt fokus på materialutveckling. Gruppen på Chalmers har forskat inom området i mer än 10 år. I arbetet har även ingått besök på konferenserna SOFC XV, WHEC2018, och European Fuel cell Forum.

Flera olika materialval har beskrivits. En trend är att gå ner i arbetstemperatur mot 600°C och då kunna ha metalliska material i stället för keramer. Flera olika större företag har ingått samarbeten med bränslecellsföretagen. Exempelvis har Nissan, Honda, Cummins, Weichai och även Bosch har startat samarbeten för att utveckla SOFC system. I Europa är det SolidPower i Italien som har vidareutvecklat BlueGen från CFCL och Ceres Power med metalliska SOFC som dominerar. Elcogen från Finland och Estland är på väg att expandera med stationära bränsleceller.

Sunfire från Tyskland utvecklar främst SOEC elektrolysörer. De har lång erfarenhet av SOEC teknik med bland annat med en stack som varit i drift mer än 30 000 timmar. De har inlett samarbeten med flera systemtillverkare till exempel Boeing, ThyssenKrupp och även Audi. Sunfire har utvecklat system för power to liquid och de har en demonstrationsanläggning i Dresden och uppför nu en större anläggning i Norge för produktion av syntetiska bränslen.

En annan tillverkare av SOEC är HTAS, Haldor Topsø i Danmark men de håller än så länge en låg profil. HTAS har startat en del demonstrationsprojekt bland annat med en elektrolysör kopplad till vindkraft. De har även börjat utveckla system för produktion av grön ammoniak från förnybara källor.

4.1.6 Heavy duty trucks 2030+, An exploratory study

SHC/Chalmers Magnus Karlström (projektledare), Elna Holmberg och Anders Grauers samt RISE Research Institutes of Sweden AB, ICT Viktoria, Hans Pohl

Fullständig titel är Can fuel cells become a mass-produced option globally for heavy duty trucks 2030+, An exploratory study. Projektet är huvudsakligen en kalkyl av ägandekostnader för fyra olika drivlinor för lastbilar för tre transportuppdrag, fjärrtransporter, regionaltrafik och stadsdistribution.

Drivlinetyperna var diesel, batteri, elväg och bränsleceller. Dessutom användes data för tre marknader; Tyskland, USA och Kina. Allt beräknades med kostnadsnivåer motsvarande läget 2030. Viktiga antagande var att det är volymproduktion av alla delsystem som t ex bränsleceller och batterier, och god utnyttjandegrad av vätgasstationer, laddinfrastruktur och elvägar.

Resultaten visar att elvägar ger lägst totalkostnader, följt av batterifordon (beroende på antagen kostnadsnivå för batterierna). Bränslecellsfordon ger lägre kostnader än diesel i regional- och stadstrafik. Det finns många osäkerheter i beräkningarna och kostnadsskillnaderna är inte så stora.

En viktig del av projektet handlade om att bedöma vilka stora osäkerhetsfaktorer som kan ha stor påverkan på framtida kostnader. Följande faktorer listades: Kostnad för drivmedel (vätgas, el och diesel), restvärden för fordon (ej diesel), fordonets förmåga att fullgöra transportuppdraget (inklusive räckviddsfrågan) och batterikostnader.

För att försöka få med kostnaden för de begränsningar som batteri- och bränslecellsfordon kan få i jämförelse med diesel, exempelvis i lastkapacitet på grund av tunga batterier, infördes en Less Function Factor (LFF). Det konstaterades att lastbegränsningar påverkar totalkostnaden för fordonet inklusive löner till förare eftersom det kan ses som att om varje fordon bara klarar cirka 90% av vad ett dieselfordon klarar så behövs det ungefär ett extra fordon för en flotta om tio fordon.

4.1.7 Hydrogen and fuel cell trucks – next step

RISE Research Institutes of Sweden AB, ICT Viktoria, Hans Pohl (projektledare), Magnus Karlström, Lindholmen Science Park, Magnus Lindgren, Trafikverket, Staffan Lundgren, Volvo Technology AB, Nils-Gunnar Vågstedt, Scania AB och Per Öhlund, Transportstyrelsen.

Syftet med projektet var att närma sig faktiska tillämpningar med fokus på laddbara bränslecellslastbilar, drivmedel och infrastruktur, samt kördata från verklig fordonsanvändning.

Kördata hämtades från det delvis parallella projektet ELLOG avseende sopbilar i centrala Göteborg respektive livsmedelsdistribution i centrala Stockholm. Projektet byggde vidare på tidigare analyser av fordon och infrastruktur, se exempelvis 4.1.6.

Genom studiebesök i Norge (ASKO, Statkraft och NEL) erhöles kompletterande perspektiv på förutsättningarna för lastbilar med bränsleceller.

Analysen av drivlinor med olika storlek på bränsleceller och olika storlek och typ på batterierna visade att i många fall ger fordonet med laddbara batterier och bränsleceller lägst kostnad. En kalkyl för 100 fordon med vätgas från elektrolysör för bränslecellslastbilar alternativt laddstationer för batterilastbilar indikerade att energi och infrastruktur för bränslecellsdrift kostar cirka 4,1 att jämföra batteridrift som kostar cirka 2,2 kronor per kilometer.

Ett analysverktyg kompletterades med bränslecellsdrift i två olika varianter och jämförelsen mellan bränslecellsfordon och motsvarande batterifordon för sophämtning visade hur räckviddsbegränsningar elimineras med bränslecellsdrift. ELLOG visade också att drivmedelskostnaden vid denna typ av tillämpningar är mindre än en tiondel av totalkostnaden och personalkostnaden dominerar tydligt, vilket talar för att det är avgörande att köra fordonen tidseffektivt.

I den avslutande diskussionen berördes bland annat automatisering med slutsatsen att förarlösa fordon sannolikt blir mindre än dagens fordon och mindre känsliga för ineffektivt nyttjande. Det talar för batterifordon. Men samtidigt så gör frånvaron av förare att fordonen kan och bör köra så stor del av dygnet som möjligt, vilket talar för bränslecellsfordon, som har längre räckvidd och kan tanka snabbt.

4.1.8 Projektering av el- och bränslecellsdrivna dragfordon

BW Konstruktion AB, Bo Westerlund

Projektets mål var att projektera en ny typ av bränslecellsbaseade eldrivna lastbilar, anpassade för aktuella behov i ett flertal större svenska bolag. De få eldrivna lätta och tunga lastbilar som finns har bara i begränsad omfattning kommit till Skandinavien och därför inte heller anpassats för den nordligaste delen av regionen med multipla krav på funktion i arktiskt klimat.

Projektets huvudsakliga uppgifter har varit att dokumentera svenska företags transportbehov, matcha behoven mot fordon och bränslecellsdrivlina, konstruera och kostnadsberäkna ett sådant mindre fordon för styckegodstransport i stadsmiljö. Vald teknisk lösning var batterifordon med bränsleceller som räckviddsförlängare.

Kravbilden grundar sig på information från martin&servera, som efterfrågar en lastbil med ett kylt lastutrymme med lastkapacitet på över 2 ton och en räckvidd på 10-20 mil/dag i nordiskt klimat, sommar som vinter.

Baserat på kravbilden bedöms en BE-lastbil av typen Clickloader vara mest lämpligt. Projektet visar att det redan idag är möjligt att ta fram prototyper och provserier av eldrivna lastbilar med bränslecellsbaseade räckviddsförlängare anpassade för samtliga lastbilstyper.

4.1.9 Kostnadsfunktion för traktionära bränslecellssystem

RISE Research Institutes of Sweden AB, ICT Viktoria, Hans Pohl

Syftet med studie var att analysera hur kostnaden för bränslecellssystem varierar med kraven på effekt och livslängd. Analysen omfattade också tillhörande energilagrar med vätgastankar och batterier. Studien fokuserade på fem aspekter som har stor påverkan på kostnaden, nämligen uteffekt, livslängd, energilagrets storlek och typ, driftsförhållande och tillverkningsvolym.

Förenklingen att baseras kostnaden för bränslecellssystem endast på uteffekten kan fungera inom begränsade effektintervall. Merkostnaden för livslängd anpassad för tunga fordon är cirka 30 – 50% jämfört med system för personbilar. Tankar för trycksatt vätgas ger en väsentligt lägre kostnad per lagrad kilowattimme jämfört med batterier som energilagrar. Driftsförhållandet i ett fordon är nästan alltid krävande men går det exempelvis att undvika hög effektbelastning av kalla bränslecellssystem har det stor betydelse för livslängden. Batterier och bränsleceller i kombination kan förlänga livslängden för båda. Tillverkningsvolymen har stor påverkan på kostnaden. En viktig förändring under senare år är att antalet tänkbara tillämpningar inom tunga fordon har ökat, vilket medför högre potentiella volymer, vilket i sin tur bidrar till att den bedömda kostnaden för bränslecellssystem för tunga fordon har reducerats ordentligt.

Det är små skillnader mellan personbilar med relativt stora batterier och litet bränslecellssystem och det omvända, även då drivmedelskostnaderna beaktas. Personbilar med endast batterier medför klart högre kostnader över livstiden. För tunga fordon som kör mer per år och använder mer drivmedel blir drivmedelskostnaden mer betydelsefull, vilket premierar fordon som till stor del går på el från elnätet.

4.1.10 Att lagra vätgas ombord fordon

RISE Research Institutes of Sweden AB, ICT Viktoria, Hans Pohl (projektledare), Bengt Ridell, SWECO Energiguide

Projektets syfte var att beskriva och diskutera olika sätt att lagra vätgas ombord på vägfordon. Dominerande metod idag är att lagra vätgas i trycktankar vid 350 bar (primärt tunga fordon) och 700 bar (primärt lätta fordon) och i dagsläget finns det i princip endast tankstationer för trycksatt vätgas.

Tankarna håller upp till 20 år och vid lägre tryck är antalet tillåtna tankningar mycket stort medan det vid 700 bar är maximalt 5 000 gånger. Även 5 000 tankningar räcker dock mycket långt för flertalet tillämpningar.

Bland övriga lagringsmetoder visade genomgången att kryokomprimerad vätgas kan ha fördelar med högre energilagringdensitet och lägre kostnader i jämförelse med vanliga trycktankar. Även lagring av vätgas i metallhydrider kan vara intressant. Övriga lagringsalternativ, exempelvis lagring i olika former av porösa material, bedömdes ha lång tid kvar till eventuell kommersiell tillämpning i fordon.

Vätgaslagret måste beaktas i relation till hela energikedjan för produktion och distribution av vätgas. Finns flytande vätgas på grund av faktorer uppströms i energikedjan blir exempelvis kryokomprimerade lösningar intressantare. Studien framhöll vidare de komplementära egenskaper som batterier och vätgastankar har.

Lagringsmetoden måste vara kompatibel med infrastrukturen för tankning. Tunga fordon har både större frihet i hur energilagret specificeras och bättre möjligheter att ta fram dedicerad tankinfrastruktur.

4.1.11 Bränslecellsdrivna lastcykelfordon med extra funktionalitet

RISE Research Institutes of Sweden AB, Anders Lundblad

Detta är ett demonstrationsprojekt där en lastcykel-modell från Velove bikes utrustats med en 150 We PEMFC bränslecell som nu har demonstrerats och testas. Tidigare har det inom detta teknikbevakningsprojekt gjorts en förstudie där designarbete för ett bränslecellsystem med en utbyttbar gascylinder har placerats i en befintlig lastcykel-modell från Velove bikes.

Komponenterna har placerats under chassit, mellan hjulen, därmed erhålls maximalt skydd mot åverkan vid tex kollision, utan att förlora lastvolym. Projektet inriktar sig mot lastcykelfordon med extra funktionalitet och energibehov. Denna mini-demo inriktar sig mot kyltransportapplikationen, men Velove bikes som är partner i projektet, vill även utveckla en lastcykel som borstar cykelvägar.



Placering av bränslecellssystemets komponenter. a) vänster: Färdig cykel med kylcontainer och extracontainer, (stående originalbatterier syns bakom föraren), b) mitten: bränslecell (svart) och vätgascylinder (röd), placerad mellan hjulen i underredet, c) höger: dosa för kraftelektronik (som sitter på sidan) med displayer för att visa/mäta spänning, ladd-effekt och verkningsgrad.

Bränslecellslastcykeln har testkörts 30 km på området vid RISE kontor i Borås och man har kunnat visa att en tank, en 20 liters 300 bar vätgascylinder, ger 30 mils räckvidd. Detta motsvarar 14 normala Litiumjonbatterier för detta fordon.

Resultaten visar att 42 gram vätgas konsumerats under 30 km körning. Detta betyder att vätgascylinderns totala mängd, 424 gram, skulle räcka till 300 km. Denna siffra är i nivå med vad Velove bikes har uppmätt i stadstrafik med vanlig batteridrift ^[3], men ca 1/15 av energikonsumtionen hos en elektrisk transportbil.

³ <http://velove.se/press/page/2/> (datum: 170731)

En ekonomisk bedömning som redovisas i rapporten visar att en lastcykel med bränslecellssystem kan ge lägre investeringskostnad, men högre driftskostnad än motsvarande batterilösning.

Enligt projektrapporten kan lastcykeltransporter ersätta upp till 51% av de transporter som företas i innerstaden. Lastcyklar erbjuder fördelar i innerstadstrafik på två sätt: dels genom sin tysta och avgasfria eldrift, dels genom att dessa fordon är smalare och därmed tar upp mindre av gatornas utrymme. Just god framkomlighet är något som poängterats från lastcykel-användare som intervjuats.

Projektet har genomförts med projektledare från RISE i Borås, Divisionen för säkerhet och transport. Velove bikes AB har ansvarat för teknisk implementering av bränslecellssystem och vätgaslager. AGA/Linde och BOC har tillhandahållit vätgastankar och bränslecellsystem.

4.1.12 Bränsleceller i fordon och hanteringsmaskiner i intermodala transportsystem

TFK, Angelica Treiber

Syftet med studien var att kartlägga och beskriva teknikutvecklingen i världen med fokus på dragbilar, hanteringsmaskiner samt växellok med bränsleceller. Baserat på det togs en ansats för uppbyggnad av vätgasinфраstruktur för intermodala anslutningstransporter fram, vilken inkluderar vätgasdrivna vägfordon, hanteringsutrustning samt växellok vid intermodala terminaler. Detta för att skapa underlag för ett effektivt utnyttjande av vätgasinфраstrukturen. Effekter som energianvändning, kostnad samt miljöpåverkan analyserades i ett system med vägfordon, hanteringsmaskiner samt växellok vid intermodala terminaler och jämfördes med andra drivmedel och drivlinor. Tre konkreta terminaler studerades.

Studien visar att en övergång från dieseldrift till bränsleceller och vätgasdrift ger en betydande reduktion av koldioxidutsläppen. Jämfört med dieseldrift kan vätgasdrift även medföra en lägre energianvändning. Batterielektrisk drift ger dock lägre energianvändning och driftkostnader, men är inte alltid en möjlig lösning.

Diesellok, som används för växling vid terminaler och inom industriområden, kan med fördel ersättas av lok med bränsleceller under förutsättning att andra maskiner och fordon inom området drivs med vätgas. I annat fall är det svårt att få investeringen att bli lönsam eftersom det ofta endast finns ett fåtal lok inom de aktuella områdena och de har dessutom ett begränsat antal drifttimmar.

Vätgasbaserade interna transportsystem bedöms vara möjliga att implementera vid stora industrianläggningar där energibehoven är stora och dygnet-runt-drift är vanligt förekommande. För intermodala terminaler med lågt energibehov och där maskinerna endast är i drift några timmar per dygn bedöms batterielektrisk drift vara en bättre lösning. Om anslutningstransporter på väg kan ske med vätgasdrift och att dessa fordon inräknas i underlaget för en vätgaspåfyllningsstation kan däremot vätgasdrift vara ett möjligt alternativ även för terminaler med få hanteringsmaskiner och lok.

4.2 PROJEKT FÖREGÅENDE ETAPP 2014 – 2016

Dessa projekt är beskrivna i en tidigare Syntesrapport som finns publicerad på Energiforsks och SECs websidor. Rapporten heter Bränsleceller Syntesrapport 2016–2017 Energiforsk rapport 2017:463.

Avslutade och rapporterade projekt, 2014-2016:

Left over hydrogen quality and cost, SP, Anna Alexandersson Energiforskrapport 2015:177
Teknikbevakning SOFC 2014, inkl IEA, Energivetenskaper, Lunds Universitet, Martin Andersson/Bengt Sundén Energiforskrapport 2015:136
Syntesrapport 2014 - teknik och omvärldsbevakning bränsleceller, Grontmij, (Sweco) Bengt Ridell Energiforskrapport 2015:129
Direct Ethanol Fuel Cells, Libergreen, Helena Berg Energiforskrapport 2015:137
Kravställning på kraftelektronik, Powercell, Andreas Bodén Energiforskrapport 2015:211
LCC FCV, Hans Pohl, Viktoriainstitutet Energiforskrapport 2015:166
Syntesrapport 2015 - teknik och omvärldsbevakning bränsleceller, Grontmij (Sweco), Bengt Ridell/Hans Pohl, Viktoria Energiforskrapport 2016:285
Konferensbevakning FCS 2015, Grontmij (Sweco) Bengt Ridell Energiforskrapport 2016:271
Tunga truckar inom processindustrin, TFK, Angelica Treiber Energiforskrapport 2016:335
Teknikbevakning SOFC 2015-2016 inkl IEA, Energivetenskaper, Lunds Universitet, Martin Andersson/Bengt Sundén Energiforskrapport 2017:359
Drivlinekonfigurationer, Hans Pohl Viktoria/ Anders Grauers, Chalmers Energiforskrapport 2017:366
Bränslecellsdrivna lastcyklar, MdH, Anders Lundblad Energiforskrapport 2017:368
Bränslecellers konkurrenskraft, Hans Pohl, Viktoriainstitutet, m fl Energiforskrapport 2017:404

5 Syntes teknikbevakning bränsleceller

5.1 SWOT GLOBALT FÖR OMRÅDET

SWOT-analysen beaktar i första hand de senaste årens händelser på marknaden och inom forskningen.

Styrkor

Rapporter inom teknikbevakningen på temat kostnader visar att bränslecellsbilar vid masstillverkning blir väsentligt billigare i inköp än andra bilar utan lokala utsläpp. Bilar drivna med el från elnätet blir normalt sett billigare i drift men det krävs långa körsträckor för att kompensera för den högre investeringskostnaden.

Tunga fordon använder mer drivmedel och har bättre möjlighet att dra nytta av billig nätel och effektiv drivlina i batterifordon. En viktig aspekt här är användbarheten, klarar batterifordonet att fullt ut genomföra transportuppdraget? Om det gör det visar beräkningarna att det kan vara det bästa alternativet. Men om batteridrift innebär begränsningar blir bränslecellsdrift snabbt mest attraktivt. Därutöver visar kalkylerna att en kombination av laddbara batterier och bränsleceller och vätgas har såväl kostnadsmässiga som driftsmässiga fördelar.

En styrka således med bränslecellsfordon är mångsidigheten, de verkar kunna klara i princip alla de tillämpningar som dagens fordon finns i.

Utvecklingen på senare år har handlat mycket om bränsleceller i tunga fordon. Ett par kommersiella satsningar med tusentals lastbilar i USA respektive Schweiz pågår. Satsningen i Schweiz framstår som tekniskt och ekonomiskt solid. Hyundai som ska leverera lastbilarna är en av de starkaste aktörerna bland fordonstillverkarna.

Synergier mellan lätta och tunga bränslecellsfordon betonas. Medan de lätta fordonen bidrar till att få upp volymerna av bränslecellssystem (vid ingången av 2019 rullade det drygt 13 000 bränslecellsfordon i världen) så bidrar de tunga fordonen till att det blir lättare att etablera kommersiellt bärkraftiga tankstationer för vätgas. Detta eftersom de tankar stora mängder dagligen och har ett mer förutsägbart trafikeringsmönster.

Bränslecellssystem utvecklas och tillverkas in-house av flera biltillverkare. Det skiljer från batteripaket, som flertalet biltillverkare köper från externa leverantörer, kompletta eller på modulnivå. Egen tillverkning ger bättre kunskap och större incitament att driva på kommersialisering. Dessutom är risken mycket mindre att man ska drabbas av mismatch mellan utbud och efterfrågan, vilket är något som oroar de som vill sälja batterifordon.

Antalet sålda och installerade stationära bränsleceller har nu nått så stora volymer att erfarenheterna av tillverkning, installation och underhåll har gjort att tekniken har mognat och exporten från de stora tillverkarna har expanderat. Produkterna utvecklas samtidigt och får bättre prestanda och livslängd samtidigt som kostnaderna minskar.

De portabla bränslecellerna som kan användas som små kraftaggregat används allt mer inom olika industrier och för fritidsändamål när tillfällig kraft behövs utanför

elnätet. Den militära sidan är med och utvecklar olika typer av flyttbara portabla bränsleceller, de kräver robust och användarvänlig teknik.

Stödet från staten till forskning och marknadssatsningar är åter på god nivå i USA och Japan. I Europa är det främst Tyskland och inom EU:s program FCH 2JU där stödet för FoU och demonstrationer fortfarande är viktigt och långsiktigt. Numera finansieras allt högre TRL nivåer för att skynda på kommersialiseringen av tekniken.

Svagheter

Bränslecellsfordon är vanligen helt beroende av tillgång på vätgas. Förvisso kommer troligen tunga fordon att använda bränslecellerna snarare för att ladda batterierna än för att direkt driva fordonet. Det medger en viss räckvidd vid batteridrift men bör betraktas som en nödlösning vid tillfällen då vätgas saknas eller bränslecellssystemet krånglar. Vätgasberoendet gör det omöjligt att sälja fordon på alla marknader till alla kunder.

Beräkningarna inom teknikbevakningen indikerar vidare att i länder som Sverige ger drift med vätgas nästan dubbla drivmedelskostnaden jämfört med el från nätet, under antagandet att allt annat är lika. Detta då verkningsgraden vid elbaserad vätgasproduktion och i bränslecellsfordonets drivlina är lägre än för batterifordonet med nattladdare.

I jämförelse med flertalet lösningar på transporternas miljö- och klimatpåverkan är bränslecellstekniken än så länge ganska oprövad. Bilar från i första hand Toyota kommer ut på vägarna i rask takt men antalet modeller och inte minst antalet tunga fordon som körs kommersiellt i verklig drift är än så länge mycket begränsat.

En väsentlig svaghet för stationära bränsleceller är att efter många år av utveckling behövs fortfarande olika former subventioner. Det finns egentligen inga renodlade bränslecellsföretag som går med vinst.

Små portabla bränsleceller avsedda för mobiltelefoner och PC har mycket svårt att konkurrera med uppladdningsbara batterier så kallade power banks. De flesta tillverkarna har nu lagt ner den verksamheten.

Hot

Ett hot mot bränslecellsfordon är enögd politik som inte klarar av att tänka på mer än en lösning för framtidens vägtransporter. I Sverige tvingas vi upprepade gånger konstatera att olika starka (lobby-)aktörer 'glömmer' att det finns olika typer av elektrifierade fordon i sin iver att få stöd till laddstationer och batteritillverkning. Så är det lyckligtvis inte i alla länder.

I Tyskland satsar man sedan länge seriöst på bränslecellstekniken och under 2.2 framgår det exempelvis att landet hade hela 69 tankstationer för vätgas när 2019 inledades. Ställs det i relation till de 487 bränslecellsfordon som rullar i landet finns det anledning att oroas en aning. Om inte volymerna fordon ökar snart blir det förmodligen svårt att försvara den stora investeringen som har gjorts i vätgasinfrastruktur. Vidare torde tyskarna ha svårt att leva med att merparten av bilarna kommer från Japan eller Korea så det är också viktigt att den tyska bilindustrin får upp leveransvolymerna. En

positiv omständighet i sammanhanget är att exempelvis Daimler är en av de aktörer som har finansierat delar av uppbyggnaden av vätgastankstationerna.

I Norge har det under våren 2019 brunnit vid en tankstation för vätgas. Ingen person skadades. NEL, som är det företag som är klart störst på området elektrolysörer och tankstationer för vätgas, har levererat till den tankstationen. Olyckor måste få inträffa men toleransen för olyckor i samband med ny teknik är låg och små händelser kan få enorm uppmärksamhet i media.

Ett hot mot bränsleceller som reservkraft kan den snabbt växande volymen av batterier från fordon vara. Batterier som anses uttjänta i fordon kan ha hyfsad kapacitet kvar och det finns tankar på att ge dem ett andra liv som stationär energi- och effekt-reserv.

Ett påtagligt hot som kan bromsa utvecklingen för speciellt stationära tillämpningar är att subventioner för FoU och demonstrationer samt nu även användarens investering kan komma att minska eller tas bort. Det kan göras av politiska skäl och har redan skett under kortare perioder.

För portabla och mindre stationära bränsleceller är konkurrensen från batterier och motorer en svårighet, främst beroende på pris och konservatism. Bränslecellernas miljöfördelar lyfts inte alltid fram.

Möjligheter

Medvetenheten om klimatutvecklingen ökar (med vissa dystra undantag) och det bidrar till ett fokus på konkreta lösningar. Enligt ovan utgör bränslecellsfordon en praktisk lösning på merparten av transportbehoven och även om det skulle kosta något mer på kort sikt är förutsättningarna för att det ska accepteras allt godare.

Precis som det i exemplet med Tyskland ovan är ett hot med omfattande nät av tankstationer för vätgas och bara få fordon är det också en möjlighet. Nu är det ju 'bara' att tillverka och sälja en massa bränslecellsbilar för att utnyttja den befintliga kapaciteten. Om det görs samtidigt som flottan med tunga fordon bidrar till att få upp tankstationer med väsentligt större kapacitet så kan marknaden snart vara igång i stor skala.

Kraven på luftkvalitet skärps och det är inte bara Hornsgatan i Stockholm som har problem. Detta leder till att fordon med förbränningsmotorer blir förbjudna i (delar av) städer, vilket direkt tvingar åkerier och andra att hitta utsläppsfria lösningar.

Det internationellt ökande elbehovet och allt högre krav på tillförlitlighet gör att bränslecellerna kan komma att få en kraftigt expanderande marknad. Klimatförändringarna kommer förmodligen att orsaka fler och allvarigare strömavbrott i det publika elnätet på grund av extrema väderförhållanden.

Reservkraft och mindre kraftanläggningar för till exempel telecom och datacenters är kraftigt expanderande marknader med mycket höga krav på tillförlitlighet. Bränslecellstekniken används sedan länge inom dessa områden. En annan möjlighet är att bränslecellstekniken används för att bygga upp tillfälliga laddstationer inom till exempel skogsbruk, militären, sjöfart eller andra ställen utanför det ordinarie elnätet.

Portabla bränsleceller som används som små kraftaggregat har stora möjligheter att användas där elkraft behövs utanför elnätet, exempelvis där batteritekniken inte räcker till och miljökraven inte tillåter motorer.

5.2 KOMMENTARER UR ETT SVENSKT PERSPEKTIV

Svensk industri har stora möjligheter att vara aktiv på exportmarknaden. Flera är välkända genom att de är aktiva inom EU-projekt och IEA samt genom direkta kontakter på världsmarknaden.

Det finns flera aktiva tillverkare, forskare, konsulter och andra intressenter inom bränslecellsområdet i Sverige. Fyra företag är listade på den svenska börsen PowerCell, Impact Coating, Cell Impact och myFC. Det finns dessutom andra större bolag som prioriterar bränslecellsområdet och deltar aktivt på exportmarknaden och i EU finansierade projekt som Sandvik och Höganäs som materialtillverkare, och även ABB som leverantör av kraftelektronik. På mjukvarusidan är COMSOL internationellt aktivt och Intertek har ett avancerat testcenter. Svenska forskningsinstitut och högskolor ligger långt framme inom forskningsområdet och är ofta involverade i EU-projekt och internationell forskningssamverkan.

I en pågående studie av hur elektrifieringen kan komma att påverka den svenska fordonsindustrin konstateras det att batteriförsörjningen är en strategisk fråga med många dimensioner. Även om ambitionen från biltillverkarna är att öka egen kunskap om och eget arbete med batterierna kvarstår faktum att en stor del av förädlingsvärdet i batteribilar ligger i batterierna, som importerats. AB Volvo har en historik med bränsleceller som har lett fram till företaget PowerCell, vilket nu är helt utan koppling till Volvo. PowerCell har gjort en spännande resa och halvmiljardkontraktet med Bosch är å ena sidan ett kvitto på att företags bränsleceller är konkurrenskraftiga men å andra sidan en signal att det sysselsättningsmässigt inte lär bli så stor ökning av personalstyrkan i Göteborg. Bosch kommer att köpa stackar från PowerCell och sätta ihop system med ensamrätt för leveranser till tillverkare av tunga och lätta fordon globalt.

De tre stora biltillverkarna i Sverige bevakar bränslecellsområdet och i nuläget är Scania mest aktivt med fordon hos Asko i Norge och sopbilar hos Renova i Göteborg på gång. Av dessa tre företag är det mest troligt att Volvo Cars skulle vilja etablera bränslecellstillverkning i egen regi. Detta då de har störst volym av fordon och kostnadsfördelarna kan då bli stora. Dessutom kan bränslecellssystemet i en personbil ungefär samma roll som förbränningsmotorn och definiera egenskaper hos bilen. Tunga sidan vinner snarare skalfördelar genom att köpa från någon annan och där pekar mycket på att bränslecellssystemet kommer att användas för att ladda batterierna och därmed inte påverka fordonets egenskaper nämnvärt.

För de svenska intressenterna är en kvalificerad teknikbevakning av hela bränslecellsområdet av stort värde. Den inhemska marknaden har inte alltid den högsta prioriteten.

Teknikbevakningen kan vara ett bra underlag för att kunna göra bedömningar om, när och i vilka tillämpningar som bränslecellstekniken kan komma att få genomslag,

vilket är avgörande kunskap såväl för industriella som offentliga aktörer. Det är viktigt att Sverige har en djup kunskap inom området eftersom det kan komma att utvecklas till en betydande marknad med stora exportmöjligheter och även viktiga användningsområden inom landet.

6 ORDLISTA

AEM	Anion Exchange Membrane
APU	Auxiliary Power Unit
BOP	Balance of Plant
CFCL	Ceramic Fuel Cells Ltd utvecklare av SOFC
CFD	Computational Fluid Dynamics
CHP	Combined Heat Power, kraftvärme
DEFC	Direct Ethanol Fuel Cell
US DOE	Department of Energy i USA
EU FCH JU	EU programmet Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking
FCS	Fuel Cell Seminar
FCV, FCEV	Bränslecellsfordon
FFI	Fordonsstrategisk forskning och innovation
GHG	Växthusgaser
H2020	Horizon 2020 EUs ramprogram för forskning 2014 - 2020
IEA	International Energy Agency
ICE	Internal Combustion Engine
kW	Kilowatt
kWe	Kilowatt el
kWh	Kilowattimmar
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
MW	Megawatt
NEDO	The New Energy and Industrial Technology Development Organization of Japan
NOx	Kväveoxider
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
PEFC, PEM	Polymer Electrolyte Fuel Cell även kallad PEMFC
SOEC	Solid Oxide Electrolyser
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
TCO	Total Cost of Ownership

TCP	Technical Collaboration Program inom IEA, tidigare Implementing Agreement
TRL	Technology Readiness Level
USD	Amerikanska dollar
USDOE	Department of Energy USA
UUV	Obemannade undervattensfarkoster

BRÄNSLECELLER SYNTESRAPPORT

2016 – 2019

Rapporten är en syntes av den verksamhet som bedrivits inom projektet Teknikbevakningen av bränsleceller under åren 2016-2019. I rapporten beskrivs verksamheten översiktligt och lärdomar dras av resultaten.

Synergier mellan lätta fordon som får ner kostnaden för bränslecellssystem och tunga fordon som underlättar uppbyggnaden av vätgasinfrastruktur och pressar vätgaspriset betonas. Många studier inom teknikbevakningen visar att på den tunga sidan ger fordon med nattladdade batterier lägst kostnader. Men för att denna slutsats också ska gälla i praktiken krävs det att batterifordonen klarar sitt uppdrag utan större inskränkningar, annars är bränslecellsfordon attraktiva då de är mer flexibla.

Sammantaget visar rapporten att bränslecellsområdet utvecklar sig snabbt och att det är av stor betydelse för svenskt näringsliv.

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