

PRAKTISKA TILLÄMPNINGAR MED BRÄNSLECELLER I LASTBILAR

RAPPORT 2019:605



TEKNIKBEVAKNING
BRÄNSLECELLER



Praktiska tillämpningar med bränsleceller i lastbilar

HANS POHL

ISBN 978-91-7673-605-0 | © ENERGIFORSK september 2019

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

Förord

I syfte att koordinera teknikbevakningen, men också för att sammanställa, analysera och sprida information om utvecklingen inom bränslecellsområdet finansierar Energimyndigheten projektet Teknikbevakning av bränsleceller. Projektet och dess resultat vänder till svenska intressenter och genomförs under 2016 – 2019 som ett temaområde inom kompetenscentret Swedish Electromobility Centre med Energiforsk som koordinator och projektledare.

I denna rapport, som har tagits fram inom teknikbevakningsprojektet, presenteras och analyseras ett antal konkreta tillämpningar med bränsleceller för tunga fordon i syfte att öka förståelsen för bränsleceller i tunga fordon. Projektet har genomförts av Hans Pohl, RISE Research Institutes of Sweden AB ICT Viktoria.

Styrgruppen för teknikbevakningsprojektet har bestått av följande ledamöter: Pontus Svens/Annika Ahlberg-Tidblad, Scania, Staffan Lundgren/Johan Svenningstorp, AB Volvo, Stefan Bohatsch, Volvo Cars, Jörgen Westlinder, Sandvik Materials Technology, Andreas Bodén, Powercell, Bengt Ridell, Sweco Energuide, Göran Lindbergh, Swedish Electromobility Centre/KTH, Peter Smeds/Magnus Lindgren, Trafikverket, Elna Holmberg, Swedish Electromobility Centre och Bertil Wahlund, Energiforsk. Energiforsk framför ett stort tack till styrgruppen för värdefulla insatser.

Samtliga rapporter från projektet kommer att publiceras och fritt kunna laddas ner från Energiforsks webbplats under Teknikbevakning bränsleceller på www.energiforsk.se och på Swedish Electromobility Centres webbplats www.emobilitycentre.se.

Stockholm juni 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

Syftet med projektet är att öka förståelsen för tillämpningar med bränsleceller i tunga fordon. Detta görs med ett fokus på konkreta tillämpningar, vilket kan sägas vara det omvända perspektivet jämfört med många tidigare studier, som främst utgått från ganska generella mer teoretiska underlag. Projektet ger underlag inför beslut avseende satsningar på bränsleceller i tunga fordon.

Metoden för att få in svar på frågorna är primärt intervjuer med olika aktörer involverade i konkreta tillämpningar. En utmaning för projektet är 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. Därmed reduceras valen till batterifordon eller bränslecellsfordon (eller en kombination). Batterifordon har valts bort eftersom sådana inte bedömts erbjuda tillräcklig kapacitet i termer av lastförmåga och räckvidd. 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 upplägg som Nikola respektive Hyundai och H2 Energy beskriver. 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.

Summary

The purpose of the project is to increase the understanding of applications with fuel cells in heavy vehicles. Focus is on concrete applications, which is rather the opposite perspective compared to most previous studies, which predominantly are based on generic rather theoretical studies. The project provides knowledge supporting decisions relating to fuel cells in heavy vehicles.

The method to answer the questions raised in the project was primarily interviews with actors involved in concrete applications. One challenge was that many of the most interesting projects with truck are in an early phase. The following projects or businesses were studied:

- Asko in Norway: grocery distribution with 4 trucks from Scania
- Renova in Sweden: refuse collection with 2 trucks from Scania
- The ports in Los Angeles and Long Beach: Drayage trucks in the area with 12 trucks from Toyota/Kenworth
- Nikola Motor Company: trucks and 700 hydrogen stations in the US (and Europe?)
- Hyundai and H2 Energy: 1,600 trucks and hydrogen stations in Switzerland.

All projects base the choice of fuel cells in the powertrain on the ambition to drive without emissions and climate neutral. This reduces the choices to battery or fuel cell electric vehicles (or a combination of batteries and fuel cells). Battery electric vehicles were not selected as they were not considered capable of giving sufficient cargo capacity and range. The ambition in all cases has been to develop vehicles that can replace diesel trucks without any compromises.

A competitive total cost of ownership is argued for in the concepts proposed by Nikola, and Hyundai and H2 Energy. Toyota estimates that their solution will become competitive around 2030 and in the other projects, such estimates are not available. However, the conditions for fuel cell vehicles appear supportive in Norway.

Will be made when the report has been approved.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte	7
1.3	Metod, omfattning och parter	8
2	Scania - Asko	10
2.1	Bakgrund	10
2.2	Specifikation av fordonet	11
2.3	Vätgasförsörjning	12
2.4	Erfarenheter	13
3	Scania - Renova	14
3.1	Bakgrund	14
3.2	Specifikation av fordonet	15
3.3	Vätgasförsörjning	15
3.4	Erfarenheter	15
4	Toyota Project Portal	16
4.1	Bakgrund	16
4.2	Specifikation av fordonet	17
4.3	Vätgasförsörjning	18
4.4	Erfarenheter	19
5	Nikola Motor Company	21
5.1	Bakgrund	21
5.2	Specifikation av fordonet	21
5.3	Vätgasförsörjning	22
5.4	Erfarenheter	23
6	Hyundai – H2 Energy	25
6.1	Bakgrund	25
6.2	Specifikation av fordonet	25
6.3	Konkurrenskraft	25
7	Jämförelse mellan studieobjekten	27
8	Avslutande diskussion	29
8.1	Varför bränslecellsfordon?	29
8.2	Ekonomi och erfarenheter	29

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Personbilar med bränsleceller finns på marknaden och utgör ett konkurrenskraftigt alternativ i områden där tillgången till tankstationer för trycksatt vätgas är tillräcklig. Tyngre fordon, i synnerhet lastbilar, finns ännu inte på marknaden på motsvarande sätt, utan rullar primärt inom olika demonstrationsprojekt. Samtidigt har intresset för tyngre fordon med bränsleceller i drivlinan ökat kraftigt under senare år.

I tidigare projekt har skattningar gjorts av under vilka förutsättningar som bränslecellsdrivna tunga fordon kan vara konkurrenskraftiga (Fuel cells for heavy-duty trucks 2030+, Energiforskrapport 2019:604 ELLER Kostnadsfunktion för traktionära bränslecellssystem, Energiforskrapport 2018:555)???. Efterhand har mer tillämpningsnära sammanhang börjat studeras men fortfarande görs bedömningarna utifrån ganska generella ansatser.

Genomförda och pågående studier bygger till stor del på analyser och bedömningar av hur tekniken kommer att utveckla sig. Vidare bygger de på rationella kostnadsminimerande beslut.

Av olika och sällan särskilt tydligt redovisade skäl initieras projekt med tunga fordon som använder bränsleceller. Med tanke på att ny infrastruktur och nya kunskaper ska etableras är det förmodligen inga lättvindiga beslut som ligger bakom.

För alla de aktörer som överväger utveckling och användning av fordon med bränsleceller, exempelvis transportköpare, fordonstillverkare, leverantörer av drivmedel och tankinfrastruktur samt policysfären är det av stort intresse att ta del av resonemang och erfarenheter från konkreta projekt.

Bränslecellsdrivna fordon använder normalt sett polymerelektrolytbränsleceller (PEM-bränsleceller eller PEFC) och fordonen tankar vätgas vid tryck upp till 700 bar.

1.2 SYFTE

Syftet med projektet är att öka förståelsen för tillämpningar med bränsleceller i tunga fordon. Detta görs med ett fokus på konkreta tillämpningar, vilket kan sägas vara det omvända perspektivet jämfört med tidigare studier, som främst utgått från ganska generella mer teoretiska underlag.

Projektet ger underlag för industriella och offentliga aktörers bedömningar av nyckelfrågor avseende bränsleceller för tunga fordon. Relevansen säkerställdes genom att urvalet av projekt att studera liksom frågorna att undersöka diskuterades med olika aktörer inom och utom teknikbevakningen.

1.3 METOD, OMFATTNING OCH PARTER

I Tabell 1 beskrivs de projekt eller verksamheter som valdes ut för ett närmare studium.

Tabell 1: Översikt några studerade projekt med bränslecellslastbilar

Projekt	Vätgasförsörjning	Bränsleceller	Batterier	Kommentarer
Scania – Asko (Norge) livmedels-distribution	350 bar (del av projektet)	3*30 kW Hydrogenics	56 kWh plug-in	
Scania – Renova (Sverige) sophämtning	350 bar	90 kW PowerCell	56 kWh plug-in (tbc)	
Toyota – Port of LA (USA) godsutkörning	700 bar	2*114 kW (från Mirai)	12 kWh	Bränsleceller från personbilar
Hyundai – H2 Energy (Schweiz) lastbilar	350 bar (del av konceptet)	2*95 kW (från Nexo)	~50 kWh plug-in (tbc!)	Bränsleceller från personbilar
Nikola Motor Company (USA) lastbilar	700 bar (del av konceptet)	2*100 kW (tbc)	240 – 320 kWh plug-in (tbc)	

Med denna 'bottom-up' studie är ambitionen att försöka samla kvalitativa och kvantitativa data från konkreta rullande eller åtminstone beslutade projekt och verksamheter som involverar tunga fordon med bränsleceller. Exempel på frågor som adresseras:

- Varför valdes fordon med bränsleceller?
- Vilket var huvudalternativet till fordon med bränsleceller?
- Vilka drivmedel övervägdes och hur bedömdes/bedöms kostnaden för respektive drivmedel?
- Vilka har varit de svåraste frågorna och avvägningarna i arbetet med specifikationen av fordonet, drivmedelsförsörjningen och övriga faktorer relaterade till tillämpningen?
- Vilka faktorer har bidragit med de största avvikelserna mellan vad som förväntades när projektet beslutades och situationen idag?
- Har en ekonomisk kalkyl gjorts och i så fall, hur ser den ut?

Metoden för att få in svar på frågorna är primärt intervjuer med olika aktörer involverade i konkreta tillämpningar. Följande arbetsgång gäller:

1. Varje vald tillämpning studeras på distans genom hemsidor, artiklar och annat.
2. Kontakt etableras och tid för studiebesök bokas.
3. Studiebesöket genomförs. Vid besöket eftersträvas möjligheter att träffa olika intressenter i projektet, exempelvis leverantörer av teknik (fordon, infrastruktur, delsystem), användare och drivmedelsleverantör. Dokument och kalkyler efterfrågas.

4. I något/några fall kanske det inte går att genomföra fysiskt besök p g a den tigha tidsplanen, budgetskal, eller annat. I så fall görs intervjuer per telefon och e-post.
5. Insamlade data sammanställs och analyseras.

Scania och PowerCell lovade i samband med att ansökan skrevs att bidra med underlag till projektet. Totalt sett bygger rapporten på underlag från rapporter och hemsidor samt intervjuer med följande personer:

- James Kast, Toyota Motor Company, Los Angeles
- Bill van Amburg m fl, CalStart, Los Angeles
- Nico Bouwkamp, California Fuel Cell Partnership
- Lewis Fulton m fl, ITS at UC Davis, Davis
- Andreas Bodén, PowerCell, Göteborg
- Hans Zackrisson, Renova, Göteborg
- Marita Nilsson m fl, Scania, Södertälje.

Underlag har även använts från aktiviteter i andra projekt, exempelvis från besök hos ASKO i Trondheim, Statkraft respektive NEL i Oslo.

Slutligen skrivs en rapport och resultat presenteras vid lämpliga konferenser. Två presentationer har genomförts under våren 2019, dels vid ett seminarium ordnat av FunMat-II den 27 mars, dels vid bränslecellsseminariet den 7 maj.

Av tids- och kostnadsskal omfattar projektet inte ett par stora och viktiga marknader:

- Bussar med bränslecellsdrift studeras inte alls, trots att det finns ganska många sådana. Detta delvis eftersom nyhetsvärdet är mindre då det finns omfattande erfarenheter från tillämpningen stadsbussar. Dock finns det få bussar som använder med bränslecellssystem från personbilar, en lösning som nu är på väg ut på marknaden. Exempelvis ska Toyota ha 100 bränslecellsbuskar i drift till olympiaden i Tokyo 2020 och Hyundai har just inlett leveranser av bränslecellsbuskar till städer i Sydkorea, vilket i ett första steg ska bli 30 bussar. Sedan är målet till 2022 att nå ett tusen bussar. Ett konsortium med 13 företag har satt av motsvarande cirka en miljard kronor för uppbyggnaden av vätgastankstationer i Sydkorea. Slutligen bör även JIVE2 nämnas, ett EU-projekt som kommer att omfatta 152 bränslecellsbuskar till olika städer i Sverige, varav 5 till Sverige.
- Asien omfattas inte heller, dock ett par asiatiska tillverkare. Inte minst Kina har annonserat flera stora projekt med vätgas och bränsleceller för tunga fordon, främst bussar. Japan och Sydkorea är också klart aktiva på området (se förra punktsatsen).

2 Scania - Asko

2.1 BAKGRUND

Asko är den största livsmedelsgrossisten i Norge. Företaget levererar livsmedel till en rad olika butiker, bland dem KIWI, MENY, Jacobs, SPAR och EUROSPAR. Asko har ambitiösa miljömål för sin verksamhet. Exempelvis är målet till 2020 att vara självförsörjande med el från vind och sol, se Figur 1.



Figur 1: Taket på en av Askos anläggningar

På transportsidan har Asko provat diverse miljöanpassade lösningar, se Figur 2, och på senare tid handlar det mycket om eldrift i olika former. Vid anläggningen i Trondheim beslutade sig Asko för att prova vätgas som drivmedel för gaffeltruckar och distributionslastbilar. Bidrag till projektet erhöles från Enova.



Figur 2: En grön lastbil från Scania

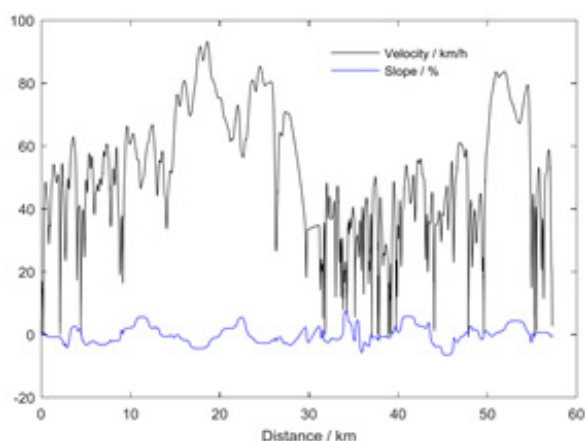
Goda relationer med Scania ledde till att biltillverkaren tillfrågades om att leverera fyra fordon till Asko att utrustas med bränsleceller och vätgastankar. Huvudparter

är projektet som leds av Asko är Scania med fordon inklusive batterier, Hydrogenics med bränslecellssystem och vätgastankar, samt NEL som står för produktion av och tankanläggning för vätgas. Slutintegration av de olika systemen görs på Scania verkstad i Trondheim.

Projektet inleddes 2017 och den första lastbilen levererades till Trondheim mot slutet av 2018 och den kommer förmodligen i drift sommaren 2019.

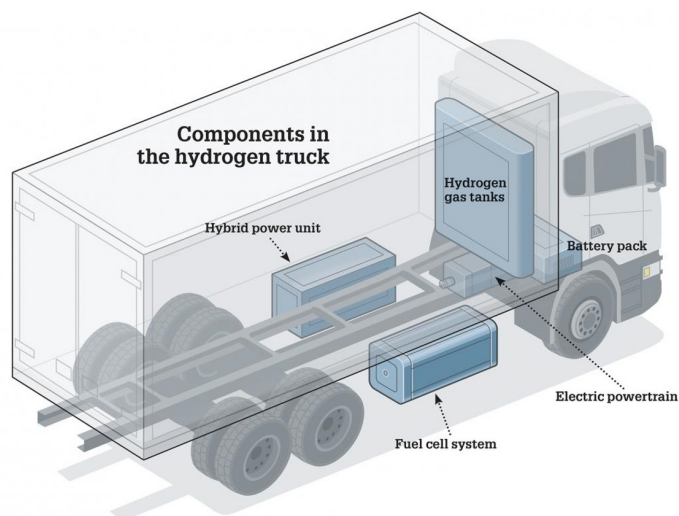
2.2 SPECIFIKATION AV FORDONET

Lastbilens köregenskaper och räckvidd definierades baserat på en krävande norsk körcykel, se Figur 3, och kravet att den ska klara 500 km mellan tanktillfällena. Scania utgick från befintligt hybridfordon som anpassades efter kraven och för att kunna fungera tillsammans med ett bränslecellssystem.



Figur 3: Körcykel för specifikation av lastbilen

Batteristorlek valdes så att fordonet med marginal klarar att köra helt batteridrivet så länge batterierna har tillräcklig laddningsnivå. Därmed är det i praktiken ett batterifordon med räckviddsförlängare. Bränslecellssystemet ska å sin sida med marginal klara att leverera genomsnittsbehovet av energi.



Figur 4: Principiell fördelning av tekniska system

Vätgaslagret slutligen dimensionerades för att klara räckviddskravet. I Figur 4 framgår ungefär hur de olika delsystemen placeras på fordonet och i Tabell 2 några data för framdrivningen.

Tabell 2: Data för Askos bränslecellslastbilar

Bränslecellssystem	3*30 kW Hydrogenics
Vätgastankar	33 kg vid 350 bar Hexagon
Batterier	56 kWh plug-in
Elmaskin	290 kW

2.3 VÄTGASFÖRSÖRJNING

NEL levererade anläggningen med elektrolysör och kompressorer som klarar att producera och leverera upp till 300 kg vätgas per dygn, se Figur 5. Utöver lastbilarna kan även personbilar tanka vid stationen med 700 bar och gaffeltruckarna som kör inne på Askos lager. Tankstationen var i drift i god tid innan det blev aktuellt att tanka lastbilarna.



Figur 5: Tankstationen med bakomliggande kompressorer m m

I grova drag visar budgeten som Asko lämnade till Enova i samband med att medfinansiering söktes att solceller, vätgastankstation och fordon utgör cirka en tredjedel vardera av totalkostnaden om 69 MNOK. Det handlar om 12 000 m² solceller, vilka ska producera cirka 1,1 GWh per år. Elen från solcellerna kostar enligt ansökan något mindre än nätel.

Jämförande kalkyler mellan diesel- och vätgasdrift visar på kostnadsfördelar för vätgasen, mycket tack vare en klart lägre energianvändning per km (20 kWh/10 km att jämföra med 47,2 kWh/10 km för diesel).

Efter litet räkning framgår det att kostnaden för vätgasen är cirka 62 NOK/kg (eller 66 SEK/kg eller 6,9 USD/kg med dagens växelkurser).

2.4 ERFARENHETER

Det blir mycket intressant att undersöka om kalkylerna stämmer för hela kedjan från solet till utfört transportarbete. Tyvärr får det göras vid senare tillfälle.

Projektledningen på ASKO verkade vid vårt besök i Trondheim nöjda med projektets utveckling så långt. Gaffeltruckarna och tillhörande vätgasförsörjning fungerade bra och fordonet verkade komma att motsvara förväntningarna. Det mest förvånande för Asko var kostnaden för bränslecellssystemet, som hade blivit klart högre än förväntat. Det hade varit billigare att köpa en Mirai och plocka ut det systemet.

Scanias erfarenheter av att bidra med stora delar av hårdvaran till projektet har också varit utan större överraskningar. Enda delsystemet som tagit några längre tid att få fram var DC/DC-omvandlaren. Bränslecellssystemet med cirkulation av gaser och vätska för kylning gör att galvanisk isolering kräver en annan lösning jämfört med batteridrivna fordon. Det är i nuläget hela fem olika kretsar för hantering av värme och kyla. Den dag fordonet tillverkas i större volymer kommer det att lösas på annat sätt.

3 Scania - Renova

3.1 BAKGRUND

Renova har länge varit föregångare med att prova ny teknik. Olika alternativa drivmedel har använts och används och den lösning som kanske har väckt mest uppmärksamhet var ett fjärrstyrt fordon, som medgav att föraren kunde hålla bättre koll på omgivningen. Av naturliga skäl har de flesta nya lösningarna tagits fram tillsammans med AB Volvo.

Volvo har också tagit fram ett batteridrivet fordon, se Figur 6, som premiärvisades tidigt 2019.



Figur 6: Batterisopbil från Volvo

Bilen i Figur 6 har data enligt Tabell 3.

Tabell 3: Data för Volvos batterisopbil och jämförbart fordon med dieselmotor

	Batteri	Diesel
Lastkapacitet	4,7 ton	5,8 – 6,0 ton
Räckvidd	80 km	>180 km
Batterier	150 kWh	n/a

Scania kontaktade Renova och föreslog ett fordon i stil med det som höll på att tas fram för Asko. Renova bad om en sopbil med bränsleceller och vätgas. Dessutom ville Renova ha bränsleceller från göteborgsbaserade PowerCell. Efter en del diskussioner och en bekräftelse från PowerCell att det anvisade utrymmet skulle

räcka för att inrymma bränslecellssystemet blev det en ansökan till FFI, som godkändes.

Enligt Renova ska bränslecellsfordonet inte behöva innebära några kompromisser jämfört med förbränningsmotorfordon.

3.2 SPECIFIKATION AV FORDONET

Intervjuer med PowerCell, Renova och Scania gjordes i slutet av april 2019 och då var specifikationen inte helt avslutad.

För Scantias del är det i flertalet avseenden ett liknande fordon som ska till Renova som levereras till Askö. Batteripaketet och bränslecellssystemet är exempelvis i samma effektstorlek. En skillnad är att påbyggnaden görs i Göteborg av JOAB och att det är mindre utrymme på fordonet på grund av sophanteringsutrustningen.

Renova kommer att utrusta fordonet så att det blir helt utbytbar med de förbränningsmotordrivna varianterna. Troligen kommer tankarna att rymma 23 kg vätgas vid 350 bar.

Bränslecellssystemet från PowerCell modell S3 kan leverera upp till 125 kW men det kommer troligen att specificeras med maximal uteffekt om 90 kW.

3.3 VÄTGASFÖRSÖRJNING

Levereras från Scania till JOAB planeras i slutet av 2019. Det som levereras är ett batterifordon. Därefter kompletteras fordonet med bränslecellssystem, vätgastankar och sophanteringsutrustning.

Vätgastankning finns i nuläget inte i närheten av Renova. Ambitionen är få det på plats i tid, vilket framstår som en utmaning. En publik tankstation med ett bra läge för Renovas del är förstahandsalternativet.

3.4 ERFARENHETER

Alla tre involverade verksamheter verkar positiva till samarbetet och bortsett från att det tog ett tag att få avtal på plats förefaller det gå enligt planerna. Det blir förmodligen det första bränslecellsfordonet för sophämtning i världen som inte bara är en konvertering.

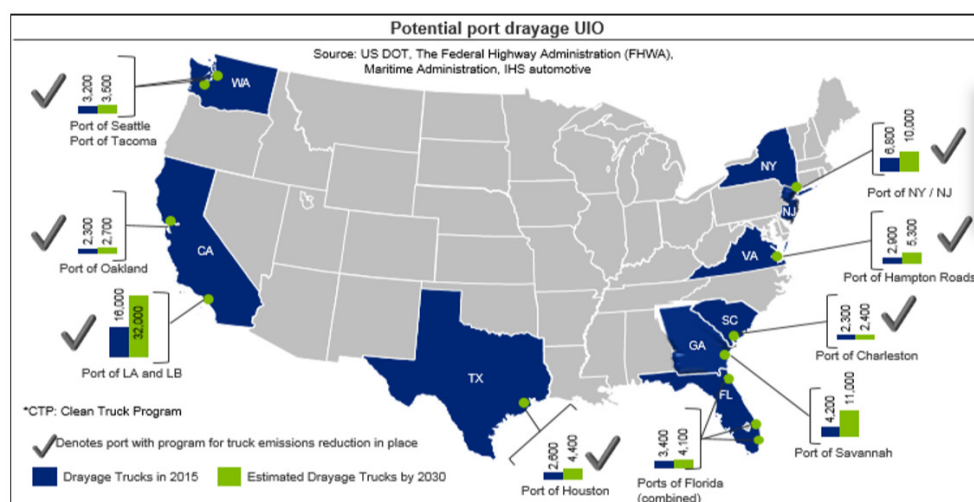
En positiv signal är att det nu handlar om två fordon i stället för ett. Nästa steg i utvecklingen blir kanske att Scania kompletterar så att vätgas och bränsleceller kan hanteras i Södertälje?

Planen är att fordonet först ska köra ett halvt år i olika tester, varpå det sedan ska köras i 12-18 månader i ordinarie verksamhet. KTH är involverat för utvärdering av projektet.

4 Toyota Project Portal

4.1 BAKGRUND

Hamnen i Los Angeles och Long Beach är mycket stor i jämförelse med andra hamnar i USA, mer än dubbelt så stor som den näst största i termer av lastbilar som kör till och från den. Inte nog med det, planen är att dubbla storleken, se Figur 7. I figuren framgår också att hamnen har ett program för att minska utsläppen från lastbilar.



Figur 7: Stora hamnar i USA

Luftkvaliteten i Los Angeles har ända sedan trevägskatalysatorn tvingades fram varit en drivkraft för att förbättra avgasreningen på fordon i världen. De tunga lastbilarna står dessutom för cirka 40 procent av växthusgasutsläpp förknippade med verksamhet i hamnen. Planen är att till 2035 ska alla lastbilar där vara nollutsläppsfordon (Zero Emission Vehicles, ZEVs).

Toyotas bränslecellslastbil började som ett 'skunk-projekt' utan att involvera varken ledningen för Toyota eller leverantören av lastbilen från Kenworth. Ricardo hjälpte till att bygga fordonet och till skillnad från de demofordon som jag tidigare har sett från Toyota framgår det verkligen när man tittar under huven på detta fordon att det är framtaget med lägre ambitionsnivå i en del avseenden, det är ett virrvarr av slangar och utrustning, se Figur 8. Bränslecellssystemen är tagna från ett par Miraibilar.

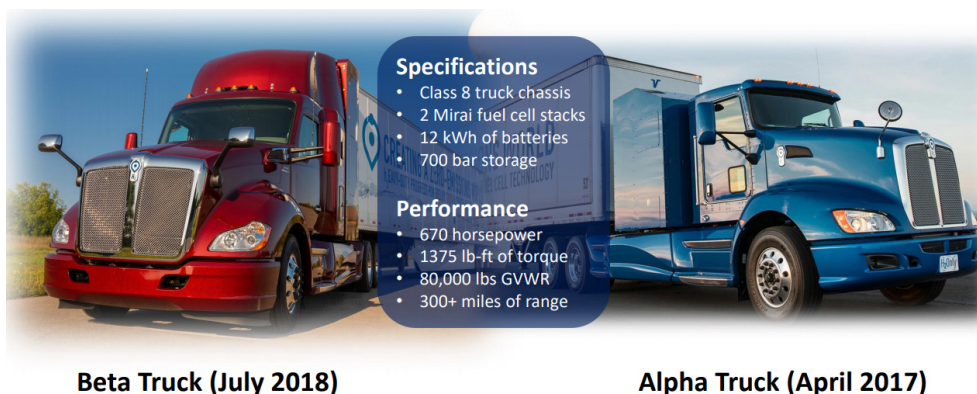


Figur 8: Under huven på Alpha

Ikke desto mindre lyckades man sätta ihop ett fungerande fordon (Alpha Truck) som väckte stor och positiv uppmärksamhet när det kom år 2017. Ett till fordon (Beta Truck) kom året efter med mindre modifieringar.

4.2 SPECIFIKATION AV FORDONET

Både Alpha och Beta har en drivlina med dubbla personbilsstackar på totalt max 228 kW samt effektoptimerade batterier med 12 kWh lagringskapacitet. Vätgasen lagras vid 700 bar i trycktankar bakom hytten se Figur 9. Till skillnad från Toyotas bränslecellsbussar använder dessa fordon inte tankar från Toyota.



Figur 9: Några data för Alpha och Beta

Fordonen har plats för 30 – 70 kg vätgas och en räckvidd på cirka 500 km. De är specificerade med tillämpningen att köra i Los Angeles-området i åtanke och det kan således finnas vägavsnitt i andra delar av USA där drivlinan inte räcker till. En skillnad mellan Alpha och Beta är att vikten för fordonet reducerades rejält till Betaversionen.

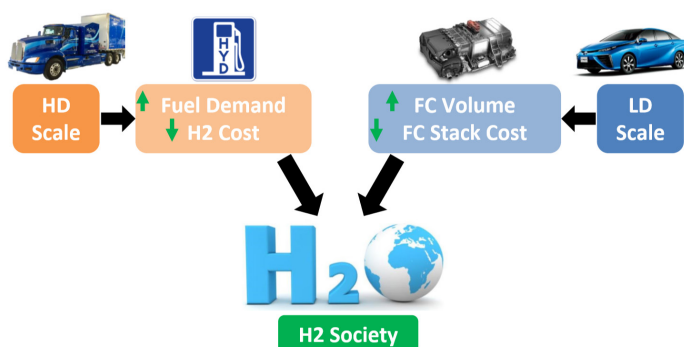
4.3 VÄTGASFÖRSÖRJNING

Kalifornien är huvudmarknaden för Mirai personbilar. I början av 2019 hade cirka 5 000 av totalt 8 000 fordon sålts där. Även om det klassiska problemet med vätgastankstationer hittills har varit att de står öde en mycket stor del av tiden har det för en del tankstationer i Los Angeles blivit det omvända problemet, de levererar varje dag på gränsen av sin kapacitet. Samtidigt visar data att vätgasanvändningen för Mirai i genomsnitt är cirka 0,55 kg per dag.

Fler tankstationer etableras efterhand men det är enligt California Fuel Cell Partnership (CAFCP) en utmaning att processen från ansökan om stöd till en tankstation till att den är i drift tar för lång tid. Tillståndsärenden och annat bromsar och när antalet fordon snabbt ökar hänger nätet av tankstationer inte med.

Kostnaden för vätgasen ligger på cirka 15-17 USD per kg, vilket ger en mer än dubbelt så hög kostnad som för dieseldrift. Förväntningen är att kostnaden för drivmedel ska bli konkurrenskraftig mellan 2025 – 2030 och fordonen i sin helhet ska börja bli det kring 2030. Toyota hänvisar i övrigt till Shells bedömningar av vätgaskostnadens utveckling.

Ett sätt att få ner kostnaden är att öka volymerna som distribueras per tankstation. Ett annat sätt är att säkra efterfrågan så att tankstationen går med hög nyttjandegrad hela tiden. Toyota menar att tunga fordon bidrar med just detta medan lätta fordon bidrar med volymer på bränslecellssystem och därmed en sänkning av den kostnaden, se Figur 10.



Figur 10: Hur tunga och lätta fordon samverkar

Toyota och CAFCP tror inte att kryokomprimerad vätgas blir aktuell de närmaste 10 åren i USA. Detta trots att flera projekt finansierade av US Department of Energy pekar i den riktningen, se Pohl och Ridell (2018) Vätgaslagring i fordon. CAFCP menar att just förekomsten av sådan finansiering indikerar att det ligger långt fram i tiden, om det alls blir aktuellt.

4.4 ERFARENHETER

Enligt ovan så har Alpha och Beta blivit mycket väl emottagna och fått stor uppmärksamhet långt utanför Kalifornien. Framgångarna har bland annat lett till att ett nytt projekt har formats, ZANZEFF, vilket under 2019-2020 ska sätta 10 liknande fordon i drift i Los Angeles. Projektet får 41 MUSD (cirka 400 miljoner kronor) i bidrag från California Air Resources Board och huvudparter är The Port of Los Angeles, Toyota, Kenworth och Shell.

I detta projekt görs fordonen i samarbete mellan Toyota och Kenworth, vilket öppnar för mer anpassade lösningar. Trots det ska de vara ungefär lika Beta i specifikationen. Den första lastbilen levererades till UPS den 23 april 2019, se Figur 11. UPS ska köra tre av de 10 fordon som ZANZEFF omfattar.



Figur 11: Första lastbilen inom ZANZEFF

Standarden för tankning av vätgas vid 700 bar är formad med personbilar i åtanke. Det innebär att kapaciteten inte riktigt räcker för att tanka tunga fordon, erfarenheten visar att det kan ta upp till 40 minuter att fylla tankarna med vätgas. För att råda bot på detta har en grupp företag formats för att utveckla en standard för tankning av tunga fordon. Fordonstillverkarna Toyota, Nikola Motor Company och Hyundai samarbetar med Shell, Air Liquide och NEL för att ta fram denna standard. Ambitionen är att femfaldiga kapaciteten.

Förarna av Alpha och Beta uppskattar fordonen. Mjuk gång utan växlingar, ingen lukt av avgaser och enkelt att accelerera tillhör de egenskaper som värdesätts. Bland de tekniska förändringar som noterats av Toyota är att vikten på fordonen måste reduceras ytterligare och det behövs ökad kylkapacitet.

Den största utmaningen är dock tillgången på vätgas. I projektet ZANZEFF ingår två nya tankstationer för tunga fordon, vilka tillsammans med en uppgradering av befintlig ger att det år 2020 finns fem tankstationer i Los Angeles för tunga fordon. En av dem får en kapacitet på över ett ton vätgas per dygn.

Ett sätt för Toyota att driva på utvecklingen mot vätgasdrivna bränslecellsfordon är att sälja färdiga bränslecellssystem till andra tillverkare av större fordon. Så gjorde man med hybridsystemet som lanserades med Prius och till och med en av huvudkonkurrenterna på den japanska marknaden (Nissan) köpte det. Nu planerar man att göra på samma sätt med bränslecellerna, vilket är en dålig nyhet för exempelvis Ballard, som till stor del säljer system till fordonstillverkare i olika delar av världen. Samtidigt så vill givetvis även Ballard att marknaden ska ta fart på allvar.

5 Nikola Motor Company

5.1 BAKGRUND

Företaget är bara fem år gammalt och baserat i Arizona, USA. Ambitionen är att göra som Tesla gjorde med batterifordon på personbilsmarknaden fast för tunga fordon. Men medan Tesla 'bara' tillhandahöll fordon och laddstationer, omfattar Nikolas koncept i princip allt inklusive drivmedel. Kunden köper snarare en transporttjänst än ett fordon. Det ska för övrigt gå att leasa eller köpa fordonet.

Trots upprepade försök att nå ett par nyckelpersoner på företaget fick jag aldrig någon kontakt. Övervägde därför att anmäla mig till deras Big Nikola World Event den 16-17 april 2019 men bedömde att det nog inte skulle tillföra så mycket konkreta fakta.

5.2 SPECIFIKATION AV FORDONET

Tre olika lastbilar har lanserats, One, Two och Tre. Det sistnämnda har fått namnet Tre eftersom det vänder sig till den europeiska marknaden, inte minst Norge. Specifikationerna för fordonen var inledningsvis oerhört kraftfulla med 300 kW bränsleceller plus mycket stora batteripaket. Gradvis har specifikationen verklighetsanpassats men fortfarande är det väl tilltagna resurser, se Tabell 4.

Tabell 4: Preliminära data

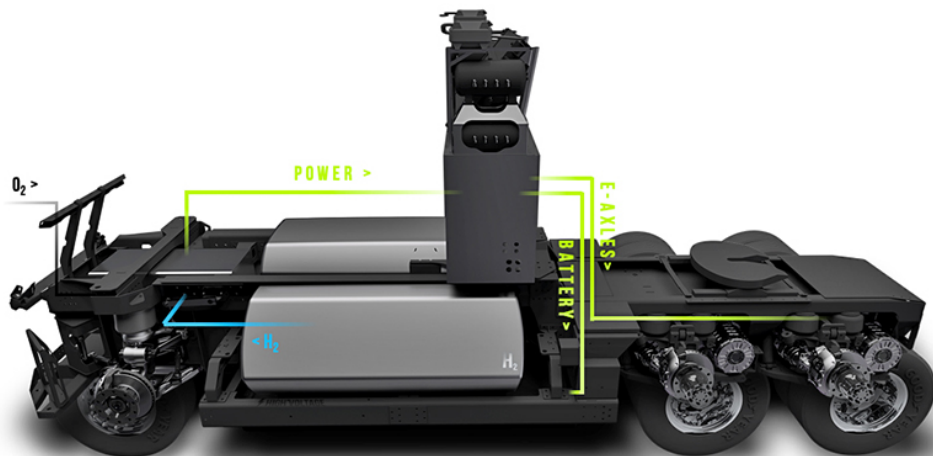
Elmaskin	Upp till 750 kW
Bränsleceller	Ca 200 kW i demofordon
Batterier	240 – 320 kWh
Räckvidd	800 – 1 600 km (Tre upp till 1 200 km)
Vätgas	700 bar

Utöver dessa primärt sett bränslecellsdrivna fordon lanserades i februari även batteriversioner av Two och Tre med batteripaket på 500, 750 eller 1 000 kWh. Lastbilarna, i synnerhet modellerna för den amerikanska marknaden, ser stora och strömlinjeformade ut, se Figur 12.



Figur 12: Nikola One

Under skalet döljer sig en skateboardliknande lösning, som inrymmer, från fronten, bränsleceller, vätgaslager, batterier (den vertikala delen) och elmaskiner, se Figur 13.



Figur 13: Drivlinans huvudsystem

5.3 VÄTGASFÖRSÖRJNING

Målet är att Nikola ska ha 700 tankstationer på plats i USA år 2028, se Figur 14,. NEL i Norge är tilltänkt leverantör av tankstationer liksom elektrolysörer. NEL bygger för närvarande ut sin tillverkningskapacitet.



Figur 14: Nikolas tankstationer 2028

Det handlar om förnybar vätgas, baserad på sol och vind, se Figur 15. Vätgasen ingår i leasingkostnaden.



Figur 15: Energikedjan från sol och vind till transportarbete

Trycket i tankarna är 700 bar och Nikola är enligt ovan (se 4.4) med i ett projekt för att utveckla en standard för tankning av tunga fordon med vätgas.

5.4 ERFARENHETER

Fordonen för den amerikanska marknaden ska börja levereras mot slutet av 2022 och den europeiska modellen kommer 2023. Enligt Nikola har förhandsbeställningar till ett värde av 14 miljarder USD inkommit och nya beställningar accepteras inte. (Dock är det bland det första som kommer upp på hemsidan att det är gratis att anmäla sitt intresse för ett eller flera fordon)

Bland kunderna märks det stora bryggeriet Anheuser-Busch (Budweiser), som har beställt 800 fordon modell Two.

Leverantörsledet omfattar utöver redan nämnda NEL bland annat Bosch för diverse digitala system, AVL för att bygga ett fordonslaboratorium och Wabco för bromsar. Under våren har det kommunicerats att PowerCell, som tidigare var utsedd som leverantör av bränslecellssystem, inte längre är aktuell utöver leverans

till demofordon¹. I nuläget verkar Nikola sikta på att utveckla och tillverka bränsleceller själva. Även själva lastbilen ska göras av Nikola.

Det stora eventet i april 2019 omfattade visning av fem olika nollemissionsfordon, varav två lastbilar. En lastbil modell Two fanns fysiskt på plats och den lär även ha demonstrationkörts. Totalt sett, att döma av rapporter från de som var på plats, bjöd eventet inte på särskilt mycket nyheter när det gäller lastbilar och tankanläggningar.

¹ Det har även kommunicerats att ett stort samarbete har inletts mellan PowerCell och Bosch på temat produktion av bränslecellssystem för fordon

6 Hyundai – H2 Energy

6.1 BAKGRUND

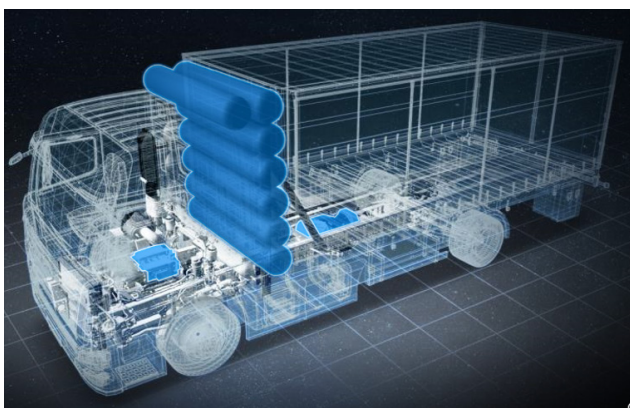
Schweiz framstår tillsammans med Norge som en mycket bra marknad för utsläppsfria lastbilar. H2 Energy omfattar en grupp om knappt tio företag som står för leveranser av drivmedel och mer än hälften av tankstationerna i Schweiz. Hyundai och H2 Energy har bildat ett joint-venture Hyundai Hydrogen Mobility. Till detta joint-venture levererar Hyundai under 2019 – 2025 1 600 tunga lastbilar med bränsleceller. Fordonen leasas ut och H2 Energy tillser att vätgas finns tillgängligt för fordonen.

NEL har fått en första beställning på en PEM elektrolysör på 2 MW, som ska levereras under hösten 2019. Ramavtalet omfattar 30 MW. Elen som driver elektrolysen är förnybar.

En fördel med detta upplägg är att H2 Energy både har tankstationer och lastbilar i sin ägo, vilket minskar hönan-och-ägget problematiken som annars tenderar att öka risken i investeringar i vätgasinfrastruktur och -fordon.

6.2 SPECIFIKATION AV FORDONET

Detaljer saknas än så länge för fordonet men enligt uppgift från Hyundai kommer det att lanseras i juni 2019. Dock verkar det klart att fordonet får två bränslecellsstackar från personbilen Nexo, vilka tillsammans ger 190 kW. Elmaskinen är på 350 kW och batteristorleken uppskattas till cirka 50 kWh men den kan också vara klart mindre, beroende på vilken typ av batterier som väljs.



Figur 16: Skiss på Hyundais bränslecellslastbil

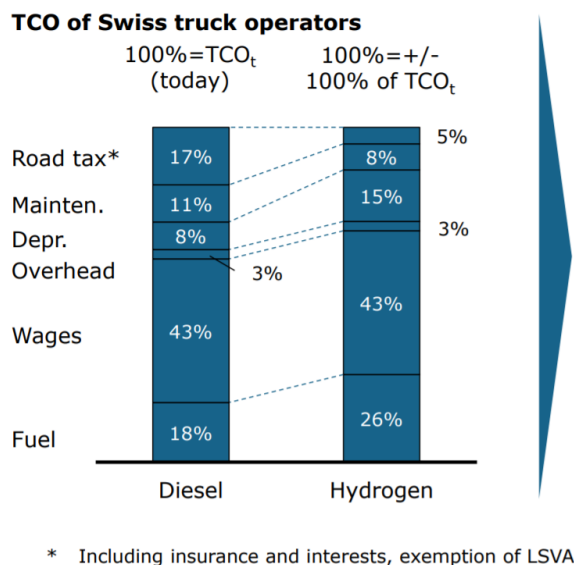
Vätgasen lagras i tankar vid max 350 bar och 33 kg uppges ge en räckvidd på cirka 400 km, se Figur 16.

6.3 KONKURRENSKRAFT

Till skillnad från övriga projekt och verksamheter som bygger på tekno-ekonomisk konkurrenskraft om något eller några år hävdas det schweiziska upplägget vara

kostnadsmässigt neutralt redan idag. Anledningen till det stavar
Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA), vilket alltså är en vägskatt
som beror av körsträcka, fordonsvikt och vilken utsläppsklass fordonet tillhör.
Fordon utan utsläpp betalar ingen sådan skatt medan skatten för en 40 tons Euro 6
lastbil är 824 SEK/100 km.

I Figur 17 visas en totalkostnads kalkyl för lastbilar med diesel respektive vätgas.



Figur 17: Kostnadsfördelning diesel- och bränslecellslastbil

Figur 17 indikerar att vätgasen förväntas bli nära 50% dyrare än diesel och fordonet med bränsleceller nära 100% dyrare än det dieselmotordrivna. Trots detta går alltså kalkylen ihop eftersom LSVA står för cirka 12% av totalkostnaden för lastbilsoperatören.

7 Jämförelse mellan studieobjekten

Tidsperspektiven skiljer mellan tillämpningarna liksom ambitionerna. Störst ambitioner har Nikola Motor Company men snabbast ut på vägarna bland de kommersiella satsningarna verkar H2 Energy och Hyundai bli. Även om många detaljer återstår att reda ut i satsningen i Schweiz så förefaller en grundläggande mycket viktig faktor redan vara på plats, den ekonomiska konkurrenskraften. Kalkylen med rejält högre kostnader för fordonsavskrivningar och vätgas känns realistisk även om jag givetvis gärna ser att både fordon och vätgas på sikt når lägre kostnader.

Nikola hävdar att deras affärsmodell också ska ge kostnadsmässigt konkurrenskraftiga lösningar. I viss mån bekräftas det åtminstone på kundsidan, eftersom många och en del stora transportköpare har noterat sig som potentiella kunder. Bland fördelarna utöver de uppenbara miljöaspekterna betonade ett av de stora tänkta kundföretagen att Nikolas affärsmodell ger förutsägbara kostnader, vilket är mycket värt och inte är fallet när drivmedlet är diesel.

Med tanke på att så mycket återstår tills Nikola har fordon i drift är det dock alldeles för tidigt att uttala sig om företaget kommer att leva upp till det som utlovats.

Det tredje största projektet i potentiell ekonomisk omfattning är Toyota Project Portal och där är bedömningarna av ekonomisk konkurrenskraft försiktiga. Först kring 2030 bedöms lösningen vara konkurrenskraftig fullt ut. Samtidigt finns det tydliga mål om nollutsläppsfordon liksom utbyggnad av hamnkapaciteten så möjligheterna att köra vidare med dagens dieselfordon efter 2035 är förmodligen klart begränsade.

I Norge räknar Asko med att den solbaserade vätgasen redan idag ska vara konkurrenskraftig gentemot diesel per tonkilometer. Däremot innebär fordonen i detta skede en rejäl merkostnad jämfört med förbränningsmotordrift. Samtidigt så är ju situationen i Norge med tydliga fördelar för eldrivna fordon sådan att kundens kostnad för fordonet blir attraktiv även om fordonet före skatt är dyrare. Enligt Statkraft kommer villkoren för bränslecellsfordon framgent att vara bättre än för batterifordon.

Slutligen sopbilsprojektet i Sverige där kostnadsdata för fordonet indikerar klart högre investering. Det är också en renodlad demo och fortsatta planer för elektrifiering av sophämtningen kommer att baseras på erfarenheterna från de första eldrivna fordonen. En potentiellt viktig aspekt som analysen i det parallella projektet FCHDV2 lyfter är att bränslecellsfordonet ska erbjuda samma kapacitet och räckvidd som förbränningsmotordrivna fordon. Det gör inte det batteridrivna fordonet och eftersom kostnaden för förare utgör cirka två tredjedelar av totalkostnaden, framstår det som mycket viktigt att fordonet inte orsakar minskad flexibilitet och ineffektivt nyttjande av personalen.

I de kommersiella satsningarna utgör vätgasförsörjningen en del av omfattningen. På det viset finns chansen att tunga fordon kommer att göra just så som exempelvis Toyota menar, dvs. stödja introduktionen av bränslecellsfordon genom

uppbyggnaden av ett täckande nätverk av tankstationer för vätgas med rimliga kostnader. Medan Toyota och Nikola använder 700 bar för tunga fordon verkar Hyundai köra med 350 bar för tunga fordon och 700 bar för personbilar. Samtidigt ska noteras att Hyundai är med i projektet som ska ta fram en standard för tankning av tunga fordon med hög kapacitet vid 700 bar.

Askos projekt var ute i föredömligt god tid med att etablera vätgasförsörjningen. Rent kostnadsmässigt kan det kritiseras att anläggningen tills lastbilarna kommer i drift bara används till en mycket liten del av sin maximala kapacitet. I nuläget matas förmodligen merparten av solelen ut på nätet.

I Göteborg är det osäkert hur det blir med vätgasen. Kanske kan en tankstation inrymmas i något EU-projekt. Förhoppningsvis blir det snart beslutat.

Drivlinorna skiljer sig en del men tyvärr finns ännu inte tillräckligt med data. Troligen kommer alla drivlinor utom Toyotas baseras på batterier som kan och bör laddas från nätet. Mest osäkert och mest intressant i nuläget är hur Hyundais lastbil kommer att konfigureras.

Hyundais och Toyotas drivlinor baseras på dubbla stackar från deras personbilar: Toyota menar att det inte finns någon anledning att ta fram stackar specifikt för tunga fordon. När jag menar att livslängskraven är rejält olika så svarar Toyota att då blir det kanske så att personbilarna får system som håller mycket länge. Själv är jag tveksam till om en sådan strategi håller på längre sikt, den dag stora volymer ska tillverkas för tunga fordon framstår det som lämpligt att ta fram specifika lösningar för dem. Men som har diskuterats utförligt i andra rapporter, exempelvis Pohl (2018) Kostnadsfunktion för bränslecellssystem, så kan tillämpningar i tunga fordon med större batterier göra att bränslecellssystemet får mer gynnsamma driftsbetingelser.

Scanias båda projekt får stackar från olika leverantörer. Det är inte minst för Scania en fördel att få erfarenheter från olika leverantörer. I båda fallen är det bränslecellssystem som tas fram specifikt för tunga fordon. PowerCell verkar dock vara på väg att även bli volymleverantör till personbilar, förmodligen med samma stack.

Nikola har lämnat PowerCell som leverantör av bränslecellssystem och verkar i nuläget sikta på att utveckla och tillverka sådana in-house. Drivlinan i det som har presenterats har stora batterier och ett kraftigt bränslecellssystem men det är för tidigt att säga hur drivlinan i serieproduktionsfordonen kommer att vara formad.

8 Avslutande diskussion

8.1 VARFÖR BRÄNSLECELLSFORDON?

Gemensamt för alla projekt är att valet av bränsleceller i drivlinan grundar sig i en ambition att köra utsläppsfritt och klimatneutralt. Därmed reduceras valen till batterifordon eller bränslecellsfordon (eller en kombination). Batterifordon har valts bort eftersom sådana inte bedömts erbjuda tillräcklig kapacitet i termer av lastförmåga och räckvidd. 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.

I alla projekten är trycksatt vätgas det enda sättet att försörja bränslecellerna som varit aktuellt. I en del projekt används stora batterier, vilka är tänkta att nattladdas. Scania motiverar valet av relativt stora batterier med att bränsleceller som räckviddsförlängare är den naturliga lösningen som dessutom harmonierar väl med den arkitektur som övriga eldrivlinor i Scantias verksamhet har. Därutöver ger laddbarheten från nätet kostnadsfördelar, åtminstone i Sverige och Norge, och en viss redundans. Bilen kan köra i batteridrift om vätgasförsörjningen eller bränslecellssystemet skulle krångla och omvänt kan bilen ladda batterierna med bränslecellerna om nattladdning inte görs.

8.2 EKONOMI OCH ERFARENHETER

Kostnadmässigt är demonstrationsprojekten nästan per definition inte ekonomiskt bärkraftiga. Kalkylerna gjorda av Asko i Norge indikerar att totalekonomi kan uppnås så snart fordonskostnaden närmar sig konventionella fordon. I Sverige är förutsättningarna i nuläget inte så gynnsamma och det krävs därför förändringar i kostnadsbilden för att bränslecellslastbilar ska kunna motiveras på strikt ekonomiska grunder. Även i Kalifornien är det i nuläget svårt att konkurrera med dieseldrift och Toyota bedömer att det kan dröja till kring 2030 innan bränslecellslastbilar blir totalekonomiskt konkurrenskraftiga.

Schweiz utgör det lysande undantaget tack vare den kraftiga kilometerskatt som diesellastbilar måste betala och som nollutsläppsfordon slipper.

Nikola verkar på papperet ha ett konkurrenskraftigt erbjudande som omfattar fordon, service och drivmedel. Många preliminärbeställningar och en viss hype kring företaget vittnar om det. Samtidigt är jag orolig för hur det ska gå, gillar exempelvis inte att företaget vid sitt Big Nikola World Event verkade lägga alldeles för mycket fokus på fordon som enligt min mening har litet med lastbilsverksamheten att göra, se Figur 18.



Figur 18: Tre fordon från Nikola

I projekten som ännu inte kommit ut i drift så är en erfarenhet att det går att få plats med vätgastankar, bränslecellssystem och batterier i princip utan att inkräkta på lastkapaciteten. En bidragande faktor är att elmaskinen väger klart mindre och tar mindre plats än motsvarande dieselmotor med växellåda. I jämförelse med andra fordon kräver bränslecellsfordonen omfattande rördragning för att hantera gaser och vätskor, inte minst för kylning och uppvärmning.

Toyota har som enda projekt i studien en del konkreta driftserfarenheter. En negativ sådan är att det tar alldeles för lång tid att fylla tankarna med vätgas. Därför pågår nu ett standardiseringsarbete i samarbete mellan ett knippe ledande företag på temat vätgas och bränslecellsfordon. I övrigt är erfarenheterna med de båda fordon som körts, det första togs i drift 2017, det andra 2018, överlag positiva. Förarna gillar fordonen och de har fungerat bra. Dock har de än så länge inte körts fullt ut i kommersiell drift. Ett kvitto på att fordonen har potential är det pågående projektet ZANZEFF, som nyligen ledde till leveransen av den första bilen till UPS och nio till är på väg, liksom ett par extra tankstationer med kapacitet för tunga fordon.

PRAKTISKA TILLÄMPNINGAR MED BRÄNSLECELLER I LASTBILAR

Projektets syfte är att öka förståelsen för tillämpningar med bränsleceller i tunga fordon med fokus på konkreta tillämpningar. Projektet ger underlag inför beslut avseende satsningar på bränsleceller i tunga fordon. Fem sinsemellan ganska olika projekt i Sverige, Norge, Schweiz och USA (2 st) studerades. En skillnad är tidsperspektivet. De storskaliga satsningarna siktar av naturliga skäl på att vara kommersiellt bärkraftiga från dag ett, med start år 2020 till 2022. Övriga projekt är mer av demonstrationskaraktär. Gemensamt för alla projekt är att valet av bränsleceller i drivlinan grundar sig i en ambition att kunna köra utsläppsfritt och klimatneutralt utan att behöva acceptera ändringar i hur fordonen kan användas jämfört med diesellastbilar.

Ett nytt steg i energiforskningen

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



Energiforsk