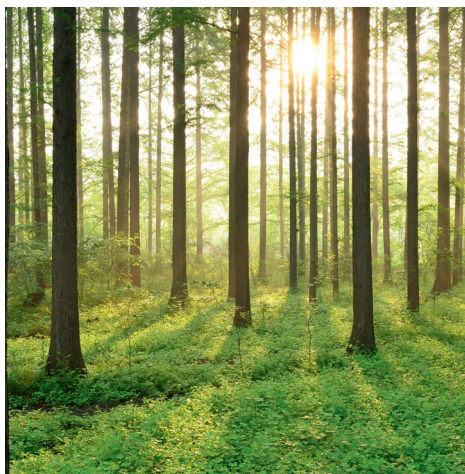


# LASTBILAR MED BRÄNSLECELLER

RAPPORT 2019:603



TEKNIKBEVAKNING  
BRÄNSLECELLER



Swedish  
Electromobility  
Centre





# Lastbilar med bränsleceller

FCHDV2

HANS POHL, MAGNUS KARLSTRÖM, MAGNUS LINDGREN, STAFFAN LUNDGREN, NILS-GUNNAR  
VÅGSTEDT, PER ÖHLUND,

ISBN 978-91-7673-603-6 | © Energiforsk augusti 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.**

Denna rapport, som har tagits fram inom teknikbevakningsprojektet, utgör en fristående fortsättning på projektet *Can fuel cells become a mass-produced option globally for heavy-duty trucks 2030+?*, med en delvis ändrad projektgrupp. Syftet har varit att närma sig faktiska tillämpningar med fokus på laddbara bränslecellslastbilar, drivmedel och infrastruktur, samt kördata från verklig fordonsanvändning. Projektet har letts av Hans Pohl, RISE Viktoria. Övriga projektdeltagare har Magnus Karlström, Lindholmen Science Park, Joakim Nyman, RISE Viktoria, Magnus Lindgren, Trafikverket, Staffan Lundgren, Volvo Technology AB, Nils-Gunnar Vågstedt, Scania AB och Per Öhlund, Transportstyrelsen, varit.

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 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](http://www.energiforsk.se) och på Swedish Electromobility Centres webbplats [www.emobilitycentre.se](http://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 rapportförfattarna 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 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, exempelvis de som genomförts inom ramen för FCHDV, se rapporten *Can fuel cells become a mass-produced option globally for heavy-duty trucks 2030+?*, Energiforsk rapport 2019:604.

I projektet medverkade utöver kärngruppen på RISE Viktoria och Lindholmen Science Park även Trafikverket, Transportstyrelsen, AB Volvo och Scania CV AB. 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 visar att i många fall ger fordonet med laddbara batterier och bränsleceller lägst kostnad. En kalkyl för 100 lastbilar med vätgas från elektrolysör för bränslecellslastbilar alternativt laddstationer för batterilastbilar indikerar att energi och infrastruktur för bränslecellsdrift kostar cirka 4,1 att jämföra batteridrift som kostar cirka 2,2 kronor per kilometer.

Ett analysverktyg ursprungligen utvecklat för att studera laddbara stadsbussar men inom ELLOG anpassat för lastbilstillämpningar kompletterades med bränslecellsdrift i två olika varianter. Jämförelsen mellan bränslecellsfordon och motsvarande batterifordon för sophämtning visade tydligt att räckviddsbegränsningar elimineras med bränslecellsdrift. ELLOG visar 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.

## Summary

The objective was to approach concrete applications with a focus on plug-in fuel cell trucks, fuel and infrastructure, and real-world driving data. This data was obtained from the partly parallel project ELLOG covering refuse collection in central Gothenburg and food distribution in central Stockholm. The project builds on previous analyses, in particular those carried out within FCHDV, see the report *Can fuel cells become a mass-produced option globally for heavy-duty trucks 2030+?*, Energiforsk rapport 2019:604.

Participants in the project core were RISE Viktoria and Lindholmen Science Park and other participants were The Swedish Transport Administration, The Swedish Transport Agency, AB Volvo and Scania CV AB. Joint visits in Norway (ASKO, Statkraft and NEL) gave complementing perspectives on the competitiveness of fuel cell trucks.

The analysis of powertrains with different fuel cell system sizes and different type and size of batteries showed that in many cases the solution with plug-in batteries and fuel cells result in the lowest cost. A calculation based on 100 distribution trucks, either with fuel cell or with battery propulsion, showed that energy and infrastructure for fuel cell trucks with hydrogen from electrolysis cost approximately 4,1 SEK/km, whereas battery electric trucks charged over-night cost approximately 2,2 SEK/km.

A tool originally developed for the study of plug-in city buses and within ELLOG adapted to include truck applications was further developed within this project to include two versions of fuel cell powertrains. Using refuse collection as the application, the analysis clearly indicated that the use of fuel cells eliminates constraints that battery trucks encounter. ELLOG's analysis of total cost of ownership shows that the fuel cost in such applications is less than 10% of the total and the driver costs dominate, thus highlighting the importance of an time-efficient use of the vehicles.

One of the aspects touched upon in the final discussion was automation. The conclusion was that driverless vehicles likely are smaller and the total cost is less influenced by an inefficient use. This argues for battery trucks. However, the absence of a driver makes it possible and appropriate to operate the vehicles as many hours as possible per day. This argues for fuel cell trucks, which have a longer range and quick refuelling.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrund	7
1.2	Resultat från föregående etapp (FCHDV1)	7
1.3	Syfte	8
1.4	Metod, omfattning och parter	8
<b>2</b>	<b>Eldrivna tunga fordon i världen</b>	<b>9</b>
2.1	Några elektrifieringsalternativ	9
2.2	Fordon med bränsleceller	9
<b>3</b>	<b>Kostnadsskattning laddbara tunga FCV</b>	<b>11</b>
3.1	Modellbeskrivning	11
3.2	Resultat	11
3.3	Diskussion	16
<b>4</b>	<b>Energiförsörjning</b>	<b>17</b>
4.1	Analys vätgaskostnad för lastbilar	17
4.2	Jämförande analys kostnader för laddinfrastruktur och vätgasstationer i Sverige	20
<b>5</b>	<b>Fordonsdata – ELLOG</b>	<b>22</b>
5.1	Metod	22
5.2	Urval av fordon och rutter	22
5.3	Resultat	23
5.4	Demonstrationsfordon på väg	26
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>28</b>
6.1	Vätgasproduktionens framtida kostnader	28
6.2	Totalkostnaden viktig och tillämpningsspecifik	29
6.3	Automatisering – hur påverkar det?	30
<b>7</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>32</b>



# 1 Inledning

## 1.1 BAKGRUND

Bränslecellstekniken har länge betraktats som ett lovande sätt att minska vägtrafikens miljöpåverkan. Fokus har varit på personbilar och även om introduktionen har gått väsentligt långsammare än vad biltillverkarna sa vid millennieskiftet, så har tekniken sedan några år tillbaka nått en nivå som medger försäljning av fordon i ganska stora antal. Asiatiska tillverkare står för volymerna med Toyota i spetsen, följt av Hyundai och Honda. Cirka 10 000 fordon har levererats.

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

Stadsbussar har också varit en tillämpning som har använt bränsleceller. Flera EU-projekt har genomförts liksom projekt i andra delar av världen, inte minst USA. För närvarande är ambitionen att ta bussarna från demonstrationsfasen till en marknadsintroduktion, exempelvis med hjälp av samordnade upphandlingar.

För andra typer av tunga fordon är det först på senare år som intresset för bränsleceller har ökat markant. Lastbilar av olika slag har länge betraktats som svåra att elektrifiera på grund av kraven på räckvidd (och lastkapacitet) men i takt med att klimat- och miljökraven ökar och tekniken utvecklas har denna bedömning omprövats. Nu finns det de som framhåller att tunga fordon rentav kan agera draglok i introduktionen av vätgasdrivna vägfordon. Detta inte minst tack vare de tunga fordonens möjligheter att säkra en stabil och stor efterfrågan på vätgas, vilket kan bidra till att sänka kostnaderna per levererat kilo vätgas väsentligt.

Detta projekt bygger vidare på tidigare analyser av tunga lastbilar, se nästa avsnitt.

## 1.2 RESULTAT FRÅN FÖREGÅENDE ETAPP (FCHDV1)

I projektet Can fuel cells become a mass-produced option globally for heavy-duty trucks 2030+?, som slutrapporteras i Energiforsk rapport 2019:604, gjordes en detaljerad kalkyl av kostnader för fyra olika typer av fordon i tre olika tillämpningar, long haul, regionaltrafik och stadsdistribution. Fordonstyperna var diesel, batteri, elväg och bränsleceller. Dessutom användes data för tre typmarknader; Tyskland, USA och Kina. Allt beräknades med kostnadsnivåer motsvarande läget 2030. 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.

En viktig del av projektet handlade om att bedöma vilka 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 sådana begränsningar 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.

### 1.3 SYFTE

Projektet tar ett steg vidare mot konkreta tillämpningar jämfört med föregående etapp, bland annat genom analys av kördata från lastbilsanvändning. Målet är en bättre förståelse för hur bränslecellslastbilar ska konfigureras och tankas för att vara kostnadseffektiva. Kör- och energianvändningsdata kommer från det parallella projektet ELLOG. Tre energirelaterade frågor adresseras; drivmedel och infrastruktur, laddbara bränslecellslastbilar och tillämpningar.

### 1.4 METOD, OMFATTNING OCH PARTER

Ambitionen med projektet var att arbeta interaktivt och processa delresultaten i dialog med inblandade parter. Interaktiviteten hade kunnat vara intensivare men likafullt utgör rapporten en sammanställning av det gemensamma kunskapsläget som medverkande parter i projektet representerar. I Tabell 1 framgår vilka som har medverkat i projektet.

Tabell 1: Projektets organisation

Uppgift	Namn, affiliation	Budget (kSEK)	Kommentarer
Projektledning	Hans Pohl, RISE Viktoria	150	Medel från teknik-bevakningen
Akademisk grupp, fokus på drivmedel och infrastruktur	Magnus Karlström, SEC/LSP/Chalmers	75	Medel från teknik-bevakningen
Akademisk grupp, fokus på anpassning av simuleringsmodell	Joakim Nyman, RISE Viktoria	75	Medel från teknik-bevakningen
Nyckelintressent, fordon	Staffan Lundgren m fl	75	In-kind
Nyckelintressent, fordon	Nils-Gunnar Vågstedt m fl	75	In-kind
Nyckelintressenter, samhälle	Magnus Lindgren, Trafikverket, Per Öhlund, Transportstyrelsen	75	In-kind

En inte oväsentlig del av projektet har ägnats åt gemensamma studiebesök för att diskutera med aktörer som arbetar med bränsleceller och vätgas. Asko i Trondheim samt NEL och Statkraft i Oslo har besökts av hela eller delar av projektgruppen. I samband med besöken har projektmöte genomförts.

## 2 Eldrivna tunga fordon i världen

### 2.1 NÅGRA ELEKTRIFIERINGSALTERNATIV

Elektrifiering framstår i nuläget som huvudspåret för alla vägtransportalternativ. Eldrift har flera fördelar, det är energieffektivt och utan lokala utsläpp, det är primärbränsleflexibelt och det kan ge låga driftskostnader.

Batteritekniken utvecklas snabbt. Kostnaden blir lägre, hållbarheten i termer av antalet cykler längre och lagringskapaciteten per vikt och volym ökar. Inte minst av dessa skäl handlar en stor del av utvecklingen om laddbara fordon.

Bränsleceller har också utvecklats snabbt mot att bli mer robusta och kompakta. Kostnaden är fortfarande hög men bedömningen är att vid stor tillverkningsvolym blir den konkurrenskraftig.

För många tillämpningar med tunga fordon är drivmedlet en stor del av totalkostnaden för användaren. Vätgas kostar i jämförelse med el vanligen mer per utförd transportkilometer. Flera faktorer bidrar till det, inte minst att en drivlina med bränsleceller har lägre verkningsgrad än helt batteridrivna fordon. En annan viktig faktor är kostnaden för produktion och distribution av vätgas, som är hög så länge volymerna är små och utnyttjandegraden av tankanläggningen måttlig. I projektet har vi studerat denna aspekt närmare, se avsnitt 4.

Inte minst för tunga fordon kan en kombination av relativt stora batterier som klarar att leverera tillräcklig effekt, ett bränslecellssystem som klarar att ge medeleffekten som fordonet behöver samt ett vätgaslager som ger tillräcklig räckvidd vara intressant. I projektet studerar vi olika kombinationer av batterier och bränsleceller, se avsnitt 3.

Ett specialfall utgör elvägar, dvs. olika lösningar för att tillföra elektrisk energi till fordonet när det kör. Elvägar kombineras lämpligen med en viss räckvidd utan elanslutning, antingen med stora batterier eller bränsleceller och vätgas.

### 2.2 FORDON MED BRÄNSLECELLER

I ett parallellt projekt har några aktörer som utvecklar och introducerar tunga fordon med bränsleceller studerats. Tabell 2 ger en översikt. Mer detaljer finns i rapporten "Praktiska tillämpningar med bränsleceller i lastbilar", Energiforsk rapport 2019:605.

Tabell 2: Översikt några studerade projekt med bränslecellslastbilar

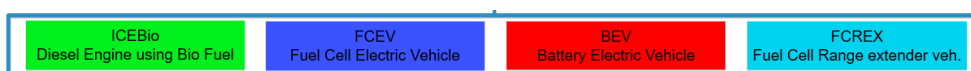
Projekt	Vätgasförsörjning	Bränsleceller	Batterier	Kommentarer
Scania – Asko (Norge) livmedelsdistribution	350 bar (del av projektet)	3*30 kW Hydrogenics	56 kWh plug-in	
Scania – Renova (Sverige) sophämtning	350 bar	90 kW PowerCell	56 kWh plug-in (tbc)	
Toyota – Port of LA (USA) godsutkörning	700 bar	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)	

### 3 Kostnadsskattning laddbara tunga FCV

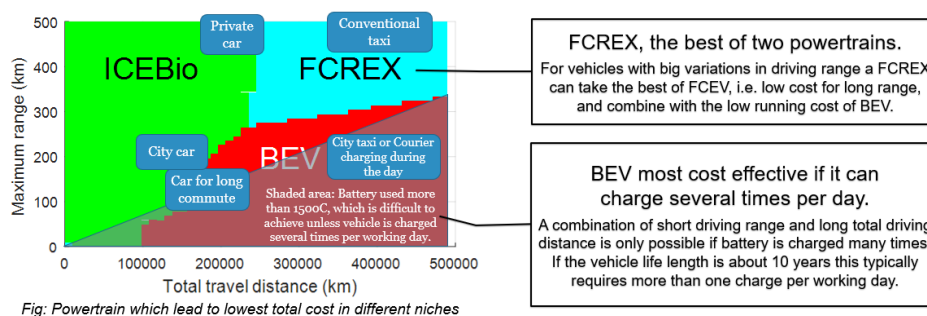
#### 3.1 MODELLBESKRIVNING

Arbetet bygger vidare på två tidigare projekt, utöver givetvis föregående etapp av detta projekt:

- I projektet Drivlinekonfigurationer jämfördes totalkostnaden för fordon med olika motorer och drivmedel beroende på total körsträcka och kraven på räckvidd, se Figur 1. Fokus var på personbilar.<sup>1</sup>
- Projektet Kostnadsfunktion för bränslecellssystem utvecklade just en litet mer förfinad kostnadsfunktion och använde sedan den för att studera olika kombinationer av batterier och bränsleceller i lätta och tunga fordon.<sup>2</sup>



3) Not one winning powertrain - Cost effective powertrain depends on niche.



Figur 1: Detaljer från poster vid EVS-30 (av författarna)

I dialog med parterna i detta projekt kompletterades analysen med känslighetsanalyser avseende kostnadsvariationer för batterier respektive bränsleceller. Dessutom justerades en del underliggande antaganden. Specifikation från fordonen som tas i drift hos Askö i Trondheim provades också som ett specialfall.

#### 3.2 RESULTAT

I Tabell 3 ges de data som är gemensamma för de olika distributionslastbilar som analyserades.

<sup>1</sup> Pohl, H. Grauers, A. Nyman J. och Wiberg, E. (2017) När passar bränsleceller bäst? Energiforsk rapport 2017:366

<sup>2</sup> Pohl, H. (2018) Kostnadsfunktion för bränslecellssystem. Energiforsk rapport 2018:555

Tabell 3: Antagna parametrar

Räckvidd	200 km
Effekt elmaskin	200 kW
Effektbehov genomsnitt	50 kW
Batterikostnad energioptimerade	200 USD/kWh (50 USD/kW)
Batterikostnad effektoptimerade	43 USD/kW (572 USD/kWh)
Elkostnad	0,1554 USD/kWh
Vätgaskostnad	0,1776 USD/kWh
Förbrukning el	0,96 kWh/km
Förbrukning vätgas	1,7 kWh/km
Ränta	8%

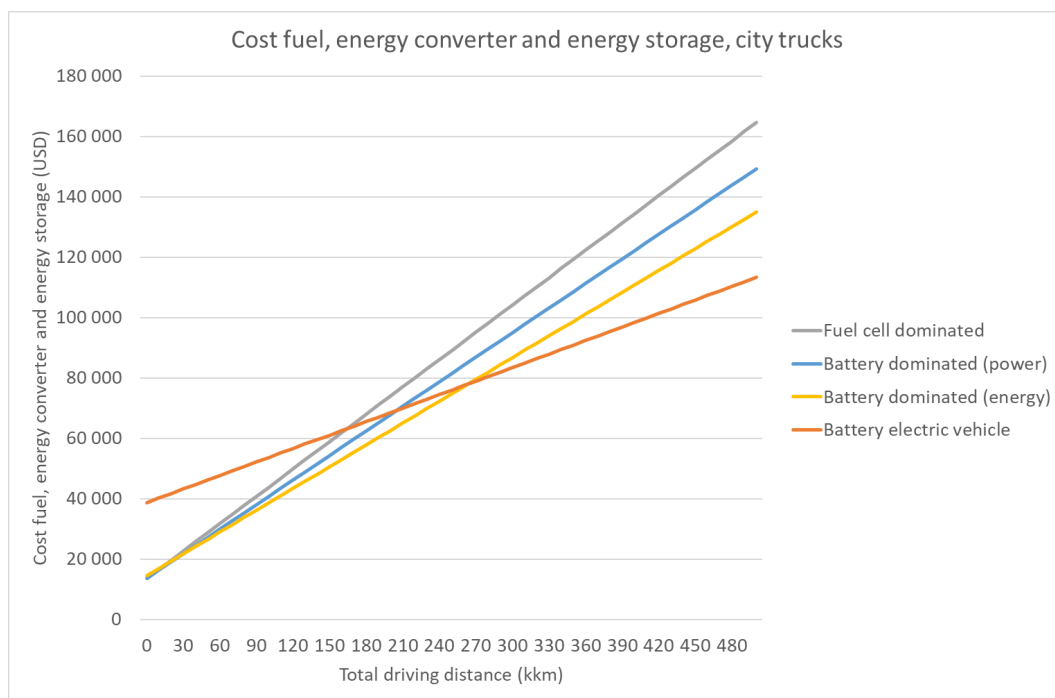
Kostnaden för bränslecellssystemet antogs till 42 USD/kW för det 150 kW systemet och 73 USD/kW för 50 kW systemet. I alla kalkyler antas att batterier och bränslecellssystem inte behöver bytas ut under studerad tidsperiod.

Fyra olika elektrifieringsalternativ studerades, se Tabell 4.

Tabell 4: Fyra olika elektrifierade fordon

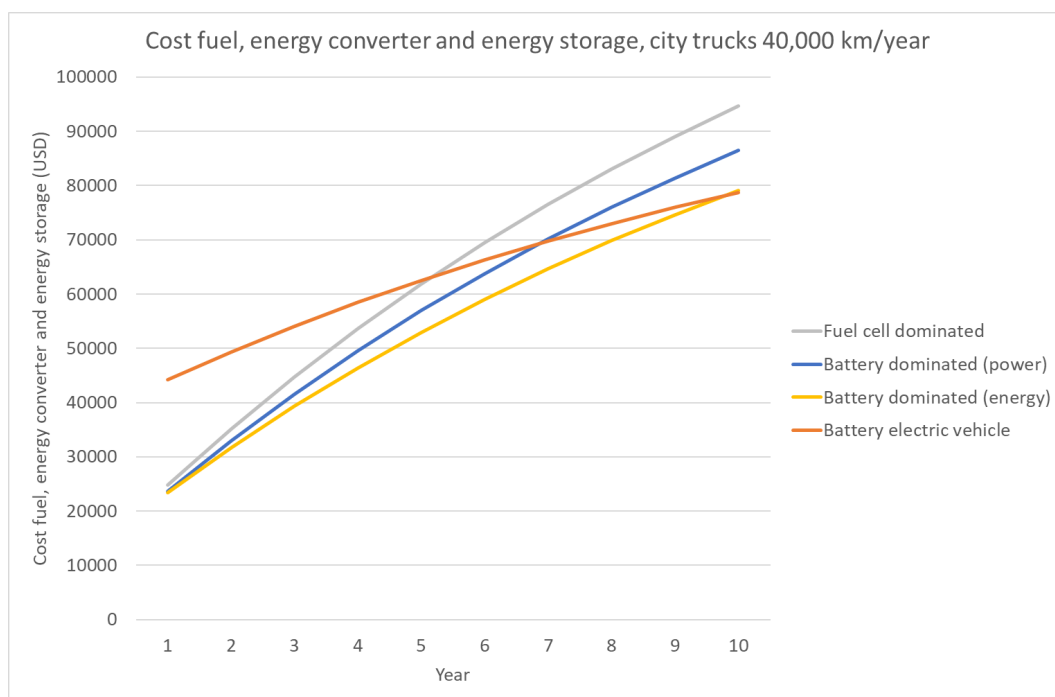
Benämning	Bränslecellseffekt (kW)	Batterieffekt (kW)	Andel på nätet
Fuel cell dominated	150	50 (effekt)	0%
Battery dominated (power)	50	150 (effekt)	20%
Battery dominated (energy)	50	150 (energi)	40%
Battery electric	-	408 (energi, räckviddskravet ger denna effekt)	100%

I Figur 2 visas hur kostnaden för drivmedel och drivlina varierar med total körsträcka för fordonet. Ingen räntehänsyn är tagen i denna kalkyl. Med redovisade antaganden ger batterifordonet lägst kostnader efter cirka 270 000 km.



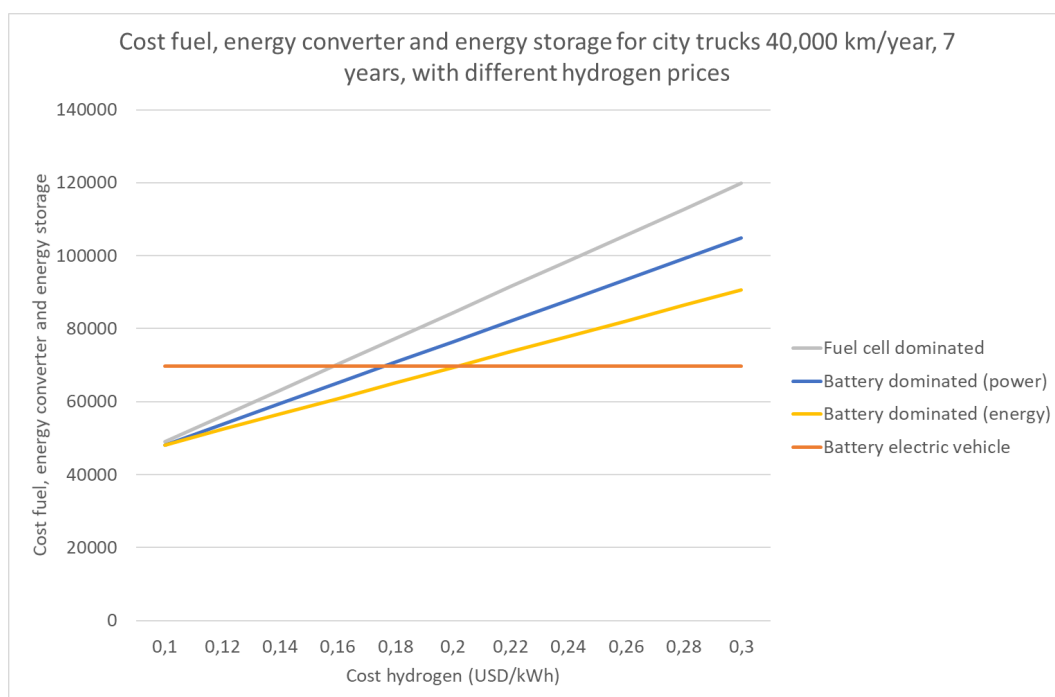
Figur 2: Kostnad för drivmedel, batterier, bränsleceller och vätgaslager beroende på körsträcka

För att kunna inkludera räntehänsyn antas att fordonet kör 40 000 km varje år. I Figur 3 visas kostnadens utveckling över tiden. Under de första 10 åren blir kostnaden för ett batteridominerat fordon med energioptimerade batterier lägst.



Figur 3: Kostnad för drivmedel, batterier, bränsleceller och vätgaslager över tiden

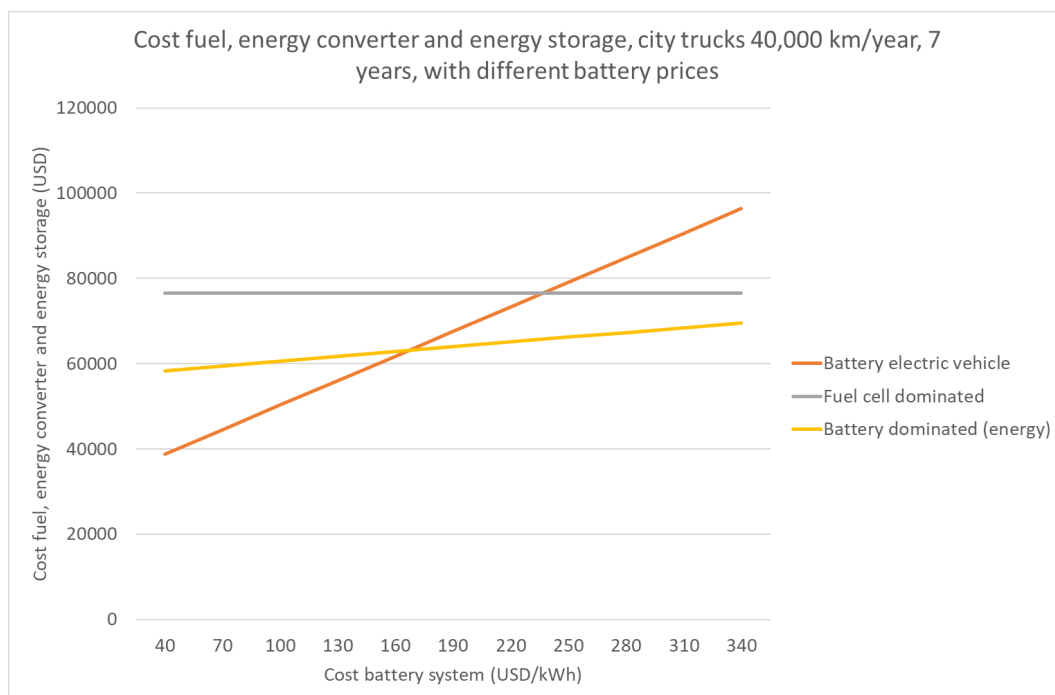
Skillnaden i kostnad för vätgas respektive el från nätet gör att kurvorna får olika lutning. I Figur 4 antas att fordonet körs i 7 år och 40 000 km varje år. Vätgaskostnaden varierar mellan 0,1 till 0,3 USD/kWh (motsvarar 3,4 – 10,2 USD/kg vätgas). Brytpunkten ligger vid cirka 0,2 USD/kWh (6,7 USD/kg), vilket också är ungefär den kostnad som aktörer i branschen bedömer kunna nås vid tillräckliga volymer.



Figur 4: Kostnad för drivmedel, batterier, bränsleceller och vätgaslager vid olika vätgaskostnader

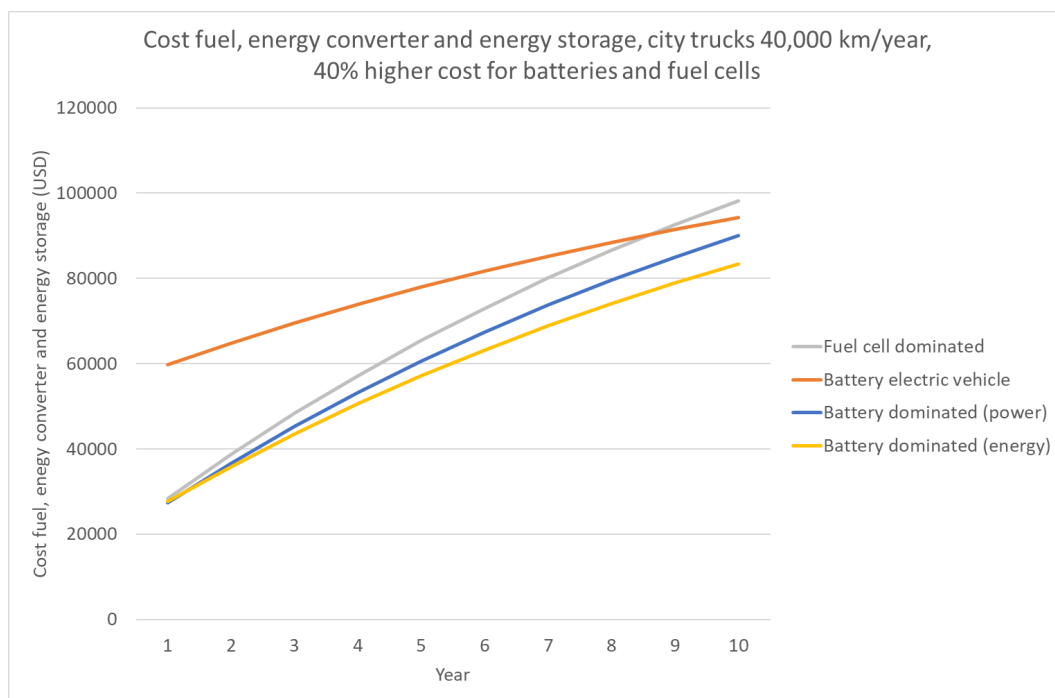
En källa till eviga diskussioner är batterikostnaden. Helt klart är att traktionära batterier har blivit billigare i rask takt men det råder stor osäkerhet om var kostnaden kommer att plana ut. I Figur 5 varierar kostnaden för energioptimerade batterier. Vid batterikostnader lägre än cirka 165 USD/kWh ger batterifordonet lägst kostnader.





**Figur 5: Kostnad för drivmedel, batterier, bränsleceller och vätgaslager vid olika batterikostnader**

Slutligen, i arbetet med kostnadsfunktionen för bränslecellssystem gjordes en skattning av hur mycket mer system för 'heavy duty' kostar jämfört med personbilstillämpningar. Skattningen var att de kostar 30 – 50% mer. I Figur 6 redovisas kostnaden baserat på 40% högre kostnader för bränslecellssystem och batterier. Den högre investeringskostnaden slår framför allt igenom på batterifordon, som ju vinner konkurrenskraft genom låga driftskostnader.



Figur 6: Kostnad för drivmedel, batterier, bränsleceller och vätgaslager över tiden (heavy duty)

### 3.3 DISKUSSION

Kostnadskalkylerna som redovisas ovan visar att batteridominerade fordon med bränsleceller ofta ger lägst kostnader. Skillnaderna mellan de olika alternativen är dock inte så stora.

För fordon som kör i stadstrafik är förarkostnaden en stor del av totalkostnaden, ibland mer än hälften. Kalkylerna ovan tar inte med förarkostnader. De tar inte heller med eventuella begränsningar i flexibilitet som de olika alternativen kan innebära. Exempelvis går det väsentligt fortare att fylla på vätgas jämfört med att ladda batterierna. Batteriernas vikt kan vidare påverka lastkapaciteten, vilket i så fall gör att totalkostnaden för användningen stiger.

Det talas ibland om att åkeriföretag har väldigt höga krav på snabb återbetalning på sina investeringar. Räntesatsen på 8% återspeglar eventuellt inte sådana krav. Med högre räntesats blir alternativ som har låg grundinvestering attraktivare.

## 4 Energiförsörjning

### 4.1 ANALYS VÄTGASKOSTNAD FÖR LASTBILAR

Det finns få vätgasstationer för tunga lastbilar. Däremot finns det erfarenhet av drift och kostnader för vätgasstationer för personbilar och bussar. I analysen av vad vätgas kan kosta för tunga lastbilar är utgångspunkten erfarenheter från andra fordonsslag, men också en bedömning av teknikutvecklingen central.

En lärdom är betydelsen av att dimensionera lösningen av vätgasproduktion till efterfrågan. Om några få fordon tankar på en vätgasstation är det oftast mest kostnadseffektivt att inte producera vätgasen på stationen. Vätgas blir då distribuerad via lastbil till tankstationen. Om det blir fler fordon som kan dela på investeringskostnaderna kan lokal produktion vara kostnadseffektivt.

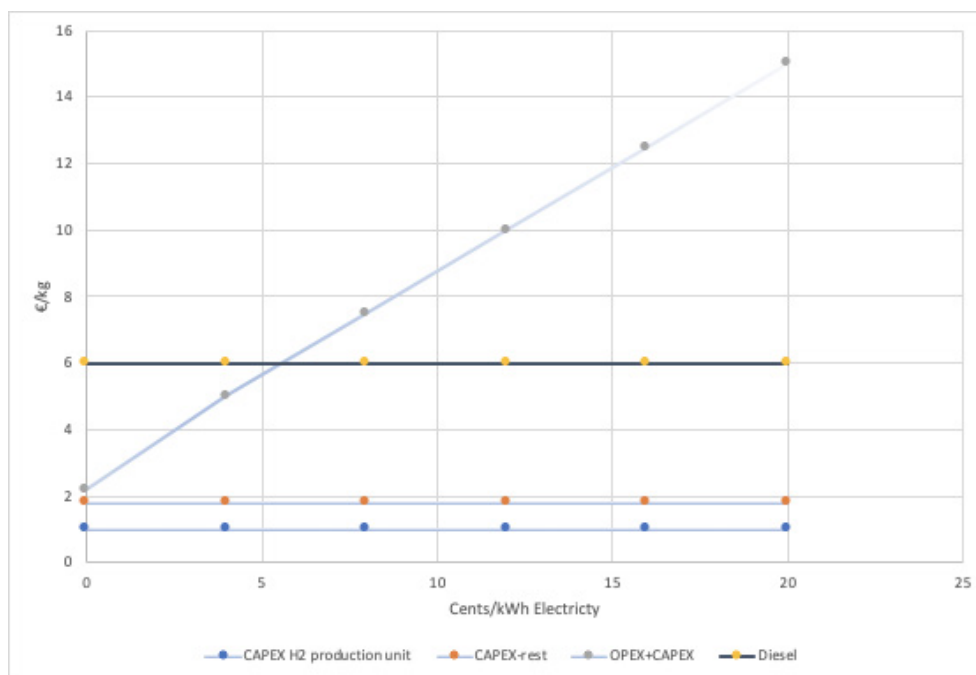
Oavsett lösning är dimensionering av investeringar i lokalt vätgaslager, kompressorer och munstycken till trolig efterfrågan en viktig del för att nå ett konkurrenskraftigt pris. Om produktion ska ske lokalt är också dimensioneringen av produktionsanläggningen en frågeställning.

Det finns också tekniska val i fordon, som vätgaslagringmetod, som kan driva kostnader för vätgasstationen. Det är t ex dyrare att bygga en station som kan tanka 700 bar än en som bara kan tanka 350 bar. Ett annat val är hur snabbt det ska gå att tanka. Ökad tankhastighet ger en dyrare station.

För bussar i Europa är bedömningen att priset €4-6/kg vätgas är tillräckligt för att konkurrera med diesel. I en större studie av tankstationer för vätgas för bussar, så var analysen att det är möjligt att nå de nivåerna.<sup>3</sup>

Även om rätt utnyttjandegrad av investeringar är viktig för att nå ett rimligt vätgaspris, så är oftast primärenergins pris det viktigaste för vilket vätgaspris det blir. I Figur 7 visas en översiktlig bild av vätgaspriset, som konsekvens av elpris i Europa.

<sup>3</sup> Dr. Benjamin Reuter, Dr. Michael Faltenbacher, Dr. Oliver Schuller, Nicole Whitehouse, Simon Whitehouse. New Bus ReFuelling for European Hydrogen Bus Depots High-Level TechnoEconomic Project Summary Report. 2017. [http://newbusfuel.eu/wp-content/uploads/2015/09/NBF\\_SummaryReport\\_download.pdf](http://newbusfuel.eu/wp-content/uploads/2015/09/NBF_SummaryReport_download.pdf)



Figur 7 Vätgaskostnad från vätgasstation (3000 kg H<sub>2</sub>/dag – elektrolysör, CAPEX-rest är investeringskostnad per kg vätgas för produktionsenhet och kompressionsenhet) (Reuter et al, 2017)

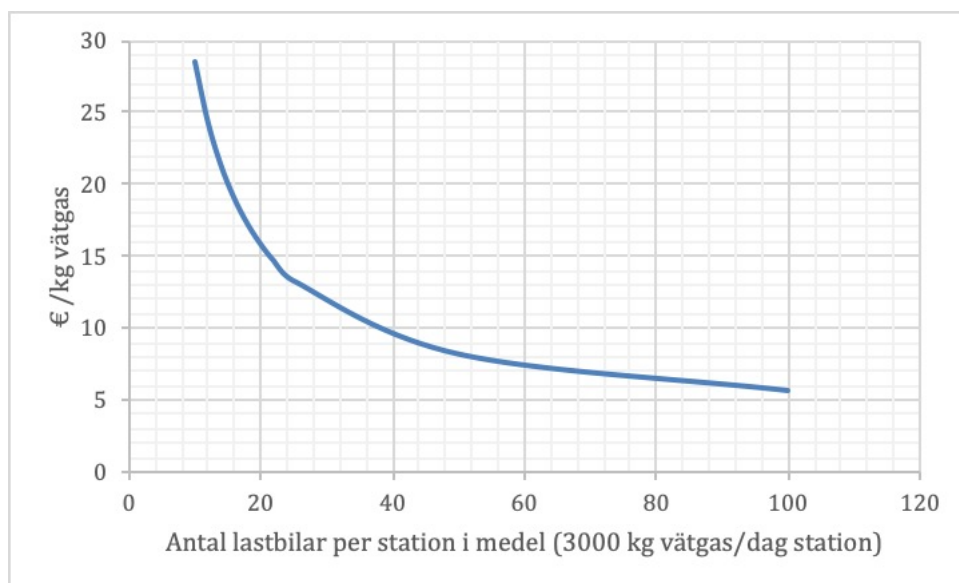
Dimensionering samt tekniska och ekonomiska data för beräkning av kostnaden finns i Tabell 5. Dimensionering är gjord för att klara 100 bussar, som har vätgasbehov i samma storleksordning som 100 bränslecellslastbilar för stadstrafik.

Tabell 5 Kostnaderna för olika delar för en större vätgasstation dagens kostnadssituation (Reuter et al, 2017)

Vätgasproduktionsenhet	
Daglig vätgasproduktion	3000 kg/dag
Investering vätgasproduktionsenhet	10,5 M€
Ekonomisk livstid	10 år
El per kg vätgas	58 kWh/kg H <sub>2</sub>
Dagar i drift	365 dagar
Lagring och kompression	
Investering kompression och lager	12 M€
Ekonomisk livslängd	20 år
El. konsumtion (350 bar)	4 kWh/kg H <sub>2</sub>
Munstycken	
Investering 5 enheter	1,0
Ekonomisk livslängd	20 år
Andra kostnader	
Andra investeringskostnader	4,7 M€
Ekonomisk livslängd	20 år
Underhåll	3% av kapitalinvesteringen per år

Kostnaden i Figur 7 är baserat på en situation då det finns 100 vätgaslastbilar, som tankar. En speciell fråga är hur hantera upprampningen från få lastbilar till många.

Ett sätt att visa känsligheten för hur många som tankar är att räkna ut konsekvensen av utnyttjandegrad, som vi definierar som hur många lastbilar som tankar per dag.



Figur 8 Vätgaskostnad som konsekvens av utnyttjandegrad (elpris 0,05 €/kWh)

Resultatet i Figur 8 är överdrivet eftersom en vätgasstation inte byggs som är så överdimensionerad. Däremot är en viktig del att ha en strategi att succesivt bygga ut stationer som följer efterfrågeökning, samt också bygga rätt dimensionerade stationer.

#### 4.2 JÄMFÖRANDE ANALYS KOSTNADER FÖR LADDINFRASTRUKTUR OCH VÄTGASSTATIONER I SVERIGE

För att jämföra kostnader för el och vätgas till stadslastbilar i Sverige, så gör vi följande antaganden.

Vätgas blir producerad via elektrolysör och vi använder värden från Tabell 5, samt att 1 € = 10 SEK. Vätgasstationskostnaden har då en årslig kostnad på 25 miljoner SEK/år, som ej har med elanvändning att göra.

Stadslastbilar, som drivs via batterier, kommer huvudsakligen bli laddade via depåladdning dvs. de blir fulladdade hemma under natten och använder ej publik laddning. Det finns uppskattningar att en depåladdare för elbuss kostar cirka 250 kSEK, investeringar är ca 1000 SEK/kW i elnät samt anpassning vid depå kostar cirka 30 kSEK. En batteristadslastbil kommer ha liknade krav som batteribuss. Om laddningen är ca 50 kW, så blir investeringen cirka 330 kSEK per batterilastbil för depåladdning. Den ekonomiska livslängden är 10 år för investeringarna. Varje lastbil har en depåladdare.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Trafikförvaltningen Stockholms län. 2019. Beslut om inriktning för elektrifiering av busstrafiken. <https://www.sll.se/globalassets/5.-politik/politiska-or-gan/trafiknamnden/2019/19-feb/p7-tjut-och-bilagor1.pdf>

För de operativa kostnaderna antar vi att laddningen har förluster på ca 10% till batterilastbilarna, samt elkostnaden är 0,9 SEK/kWh. Underhållskostnaderna för en depåladdare är ca 30 000 SEK/år. Körsträckan är ca 50 000 km/år.

För batterilastbilar antar vi en elanvändning på ca 1 kWh el/km samt för bränslecellslastbilar antar vi 1,7 kWh vätgas/km.

Vi antar också hög beläggning för vätgasstationen.

Kostnaden per km blir om all infrastruktur ingår:

- Batterilastbil: ca 2,2 SEK/km
- Bränslecellslastbil: ca 4,1 SEK/km

Situationen blir annorlunda om batterilastbilarna ska laddas via punktladdare med snabbbladdare. Det skulle kunna vara aktuellt om de vill köra en extra runda under dagen och de inte hinner vänta på att laddning via depåladdaren.

Publik punktladdare för lastbilar skulle kunna behöva vara i storleksordningen 600-1000 kW. Vi antar 600 kW. Kostnaderna skulle kunna uppskattas till ca 3000 SEK/kW (Grauers personlig kommunikation, 2019) för laddaren samt cirka 1000 SEK/kW för nätförstärkning. En snabbbladdare av det slaget skulle kosta cirka 2,4 miljoner SEK. Om 10 års ekonomisk livslängd så blir kostnaden 240 000 SEK/år.

Skillnaden mellan en publik punktladdare och en depåladdare är utnyttjandegrad. Det är mer tveksamt att den publika punktladdaren används mycket. Om den blev använd hela tiden skulle den kunna ladda ca 4 800 000 kWh/år vid 10% laddförluster. Om vi antar 5 % beläggning så kan den ladda 240 000 kWh/år dvs. laddinfrastrukturinvesteringen skulle kosta cirka 1 SEK/kWh. Om beläggningen skulle sjunka till enbart 1% då skulle laddinfrastrukturkostnaden vara ca 5 SEK/kWh.

## 5 Fordonsdata – ELLOG

### 5.1 METOD

Denna del av projektet bygger vidare på tre olika projekt som genomförts under samlingsnamnet ELLOG under 2018. Projekten har samlat in driftsdata från två olika tillämpningar, sopbilar och distributionslastbilar, och utifrån ett batterielektrifieringsperspektiv diskuterat hur det fungerar och hur laddinfrastrukturen kan utformas.<sup>5</sup>

Data från ELLOG har använts liksom det analysverktyg som projektet använt för att visualisera och analysera olika fordonskonfigurationer, laddplatser och rutter. Analysverktyget kompletterades med två olika bränslecellsvarianter av sopbilar inom ramen för detta projekt.

### 5.2 URVAL AV FORDON OCH RUTTER

De sopbilar som valts ut för studien i ELLOG hämtar sopor i Göteborgs innerstad. Körsträckorna är därmed korta och fordonen har två eller tre axlar. Samtliga har i analysverktyget försetts med ett batteri med kapaciteten 150 kWh. Med den batteristorleken klarar 12 av 13 fordon sin uppgift med god marginal med endast nattladdning. Den reducerade lastkapaciteten på grund av batterierna gör att ett par av de tvåaxliga fordonen måste tömma en extra gång under arbetsdagen, jämfört med dieselvarianten.

Distributionslastbilarna körs av DB Schenker i Stockholmsområdet. De utgår från en terminal i Spånga och hämtar och lämnar gods i Stockholms innerstad. Det är tvåaxliga fordon med en lastförmåga på cirka 7 ton. Daglig körsträcka är mellan 50-80 km, om inga extrauppdrag genomförs. Med 150 kWh batterier klarar fem av sex fordon sina ordinarie uppdrag med endast nattladdning. Det sjätte fordonet behöver antingen ett större batteri eller tilläggsaddning under arbetsdagen.

När det var dags för detta projekt att börja arbeta med ELLOG-data var sopbilarna mest lämpliga eftersom det fanns mer detaljer för hur de användes. Två olika drivlinor konfigurerades, båda med ett energibatteri dimensionerat för att ge tillräcklig effekt (100 kWh). Den ena drivlinan använder bränsleceller om 10 kW och den andra om 100 kW.

Styrprincipen för 10 kW är att bränslecellssystemet aktiveras så snart batteriets laddningsnivå understiger 80%. Det betyder att systemet arbetar i princip kontinuerligt med 5 kW uteffekt under arbetsdagen.

Styrprincipen för 100 kW är att bränslecellerna startas när batteriernas laddningsnivå kommer till 10% och körs då med 50 kW uteffekt tills laddningsnivån når 20%.

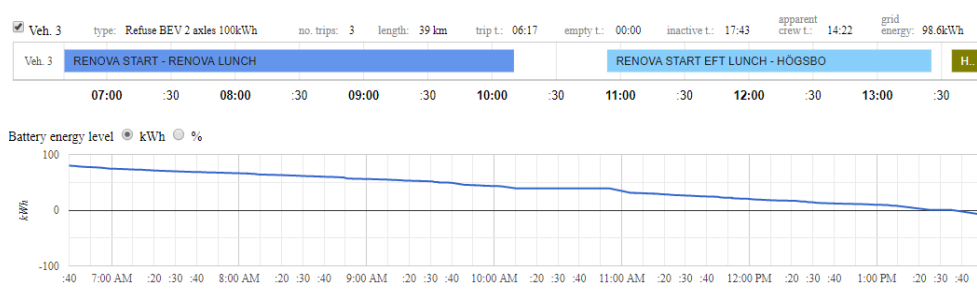
<sup>5</sup> Logistikutlägg & laddinfrastrukturer för elektrifierade fordonsflottor – (ELLOG) (2018) Closer RAPPORT 2018-12-21



Av budgetskäl blev det aldrig aktuellt att även konfigurera distributionslastbilar med bränslecellssystem.

### 5.3 RESULTAT

Rent tekniskt fungerar båda konfigurationerna med bränsleceller väl i förhållande till de relativt måttliga kraven på energilagringkapacitet som sopbilarna har. Detta är inte förvånande eftersom ELLOG just valt de rutter som har lägst energikrav och mest fördelar med emissionsfri drift, dvs. körning i centrala Göteborg. I Figur 9 visas det fordon som har den mest krävande ruten med batteridrift med batteristorleken 100 kWh.



Figur 9: Körbeskrivning och laddstatus för batterisopbil

Som jämförelse visar Figur 10 samma rutt med fordonet med 10 kW bränslecellssystem. Figuren visar att bränslecellerna arbetar i princip kontinuerligt när fordonet är igång och därmed håller sig batteriernas laddningsnivå inom tillåtna gränser.



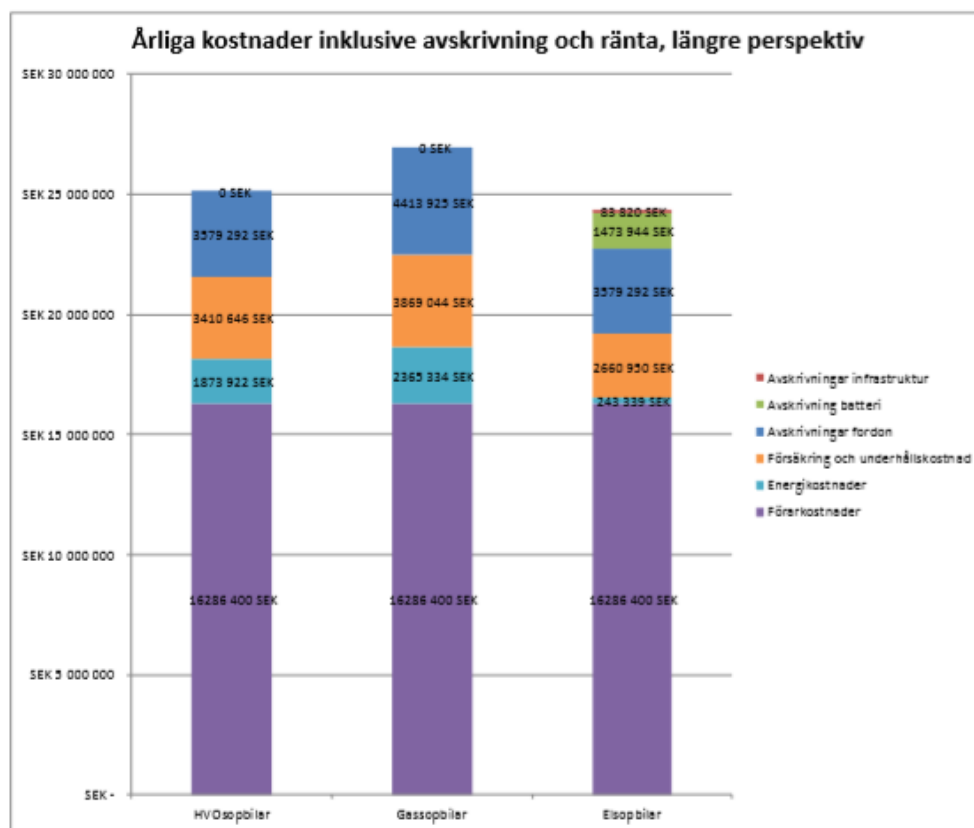
Figur 10: Körbeskrivning, laddstatus och drift av bränslecellssystem för range extender sopbil (10 kW)

Slutligen i Figur 11 så visas samma rutt med fordonet med det kraftigare bränslecellssystemet. I detta fall startar bränslecellerna först efter lunch och kör cirka en halvtimme.



Figur 11: Körbeskrivning, laddstatus och drift av bränslecellssystem för range extender sopbil (100 kW)

Givet dessa tre varianter av elektrisk drivlina kan det konstateras att för de minst krävande rutterna är kanske bränslecellssystem överflödigt. Beroende på batteriets specifikation, dvs. hur stor effekt som erhålls per lagrad energienhet respektive hur mycket batterierna kostar, kan många olika kombinationer av batterier och bränsleceller bli aktuella. Batterierna i exemplen ovan med bränsleceller är förmodligen onödigt stora. Då drift med nätel i Sverige sannolikt kommer att vara billigare per kilometer än drift med vätgas, är det positivt att en del av dagsverket genomförs med el från batterierna/el nätet. Det talar för batterier optimerade för energilagringsskapitet. En storlek på sådana batterier som klarar av att ge tillräcklig effekt för alla driftsfall framstår som särskilt intressant i kombination med bränsleceller och vätgaslager som ger tillskott på energi så att fordonet klarar ett helt dagsverke.



Figur 12: Kostnadsdata från ELLOG (s 20)

Kostnadsmissigt återges ett resultat från ELLOG-rapporten i Figur 12. Det visar en årskostnadsskattning på längre sikt för sopbilar. Det antas att elfordonet exklusive batterier kostar lika mycket som dieselfordonet. Elkostnaden står för en mycket liten del av totalen men även för HVO-fordonet är drivmedelskostnaden bara cirka 7,5 %.

Någon kostnadsanalys har inte gjorts i denna del av projektet. Det kan dock konstateras att för sopbilarna så skulle ett skifte till en viss och i fallet innerstad ganska liten andel vätgas innebära nästan försumbara merkostnader rent drivmedelsmässigt. Drivmedelskostnaden står för en något större andel för distributionslastbilarna (10% enligt ELLOGs kalkyl) men den är fortfarande liten i jämförelse med förarkostnaderna (ca 63%).

I båda fallen har fordon med korta körsträckor valts ut av ELLOG. Det konstateras att distributionslastbilarna ibland tar extrauppdrag, vilket med batterilösningen blir svårt att klara.

Sammantaget indikerar analysen av data från ELLOG att om dylika fordon kan elektrifieras med batterier, bränsleceller och vätgas utan att grundinvesteringen blir mycket större så finns det goda skäl att göra så. Då blir fordonen mer flexibla i minst två avseenden; (1) de kan lasta mer gods och (2) de kan tankas snabbare när så behövs. Enligt resonemang i rapporten från föregående fas av projektet, bidrar

eventuella inskränkningar i lastkapacitet kraftigt till kostnaden, eftersom det innebär en ökning av totalkostnaden inklusive förare och allt annat i motsvarande grad. Reduceras kapaciteten med 10% behövs det drygt 11 sådana fordon för att genomföra uppdraget.

Bland de valda innerstadsrutterna för sopbilar måste två av batterifordonen tömma en extra gång, vilket innebär längre körsträckor och mer arbetstid. Sannolikt är denna merkostnad högre än den kostnadsfördel som el som drivmedel bidrar med.

#### 5.4 DEMONSTRATIONSFORDON PÅ VÄG

Ibland utvecklar sig verkligheten snabbare än teorin. I nuläget finns exempelvis specifikationer tillgängliga för två olika elektrifierade sopbilar för drift i Göteborg, ett renodlat batterifordon och ett med bränsleceller.



Figur 13: Premiärvisning av batterisopbil från Volvo 2019

Det batteridrivna fordonet från Volvo, se Figur 13, har 150 kWh batterier, lastkapacitet på 4,7 ton och en räckvidd på cirka 80 km. Preliminärt gäller att sopbilen från Scania kommer att förses med batterier på 56 kWh, ett bränslecellssystem med upp till 90 kW effekt och cirka 23 kg vätgas i tankar om 350 bar. Det fordonet ska enligt Renova vara helt utbytbart med dieselfordon, dvs. erbjuda lastkapacitet om knappt 6 ton och räckvidd som klarar två skift utan mellanliggande tankning.

När detta skrivs har inga driftserfarenheter rapporterats och det är också oklart hur kostnadsbilden för respektive fordon är. Samtidigt så är investeringskostnaden

för fordonen idag inte representativ för kostnaden på längre sikt när stordriftsfördelar och andra faktorer har gjort verkan.

## 6 Diskussion

### 6.1 VÄTGASPRODUKTIONENS FRAMTIDA KOSTNADER

Kalkylerna ovan i avsnitt 4 bygger på dagens kostnader för elektrolysörer, kompressorer och annat. Vid större volymer och efter en del teknikutveckling är det troligt att kostnaderna kan reduceras en hel del. När, hur mycket och hur snabbt kostnaderna går ner är viktiga och svårbedömda frågor. Lösningar för laddning av tunga fordon kommer också att utvecklas mot lägre kostnader.

Om vi utgår från att vätgasen produceras genom elektrolys är primärenergien den samma för bränslecellsfordon och batterifordon, el. Enligt ovan med svenska förhållanden i åtanke blir drivmedelskostnaden för vätgasdrivna fordon klart högre än för batterifordon. Det finns dock ett antal faktorer som inte tas med fullt ut i analysen; effektkostnader, elnätskostnader och elprisvariationer.

**Effektkostnader.** Grovt räknat behöver det vätgasdrivna mer än dubbelt så mycket el som batterifordonet per utförd transportkilometer. Laddtiden avgör hur stort effektbehov som batterifordonet har medan vätgasproduktionen kan pågå kontinuerligt med samma effekt hela dygnet. Antar vi att batterifordonet endast laddar en gång per dygn under åtta timmar så behöver batterifordonet ungefär 50% högre effekt från elnätet.

**Möjliga intäkter från att sälja effekt till nätet från fordon.** Både batterifordon och bränslecellsfordon kan leverera effekt till elnätet. Beroende på hur kostnadsmodeller för effekten formas kan det vara intressant för att hantera kortvariga svängningar i elbehovet. Verkningsgraden för batterifordonen blir i det här fallet klart högre och det är även av andra skäl mer naturligt att fordon med stora batterier levererar effekt. I nuläget är det nog bara bränslecellsfordon från Toyota och Honda som har funktionalitet att leverera nödkraft men då handlar det snarare om elektrisk energi och inte om effekt till nätet.

**Elnätskostnader.** Bland de lösningar som primärt lyfts fram för vätgasproduktion är att energin ska komma från lokala källor, exempelvis solceller och vindkraft. Med lokal produktion av elen och lagring av energin i form av vätgas kan den varierande elproduktionen hanteras i viss utsträckning och elnätet behöver inte förstärkas. I extremfallet kan tankstationen vara utan anslutning till elnätet. Batterifordon kan också laddas med el från lokal vind och sol men till skillnad från bränslecellsfordonen krävs det att fordonen är anslutna till laddaren för att lagring av energi ska kunna ske. Det gör att beroendet av ett starkt elnät kan vara större. En möjlighet för att minska elnätskostnader för laddning är att ha ett stationärt batteri som back-up för att minska toppeffektsbehov.

**Elprisvariationer.** Beroende på hur stort lager för vätgas som finns kan produktionen styras så att den i första hand använder billig el. I Sverige med en stor andel vattenkraft är möjligheterna att reglera elproduktionen goda, varför elpriserna inte heller varierar så mycket. I andra länder är det svårare att reglera elproduktionen och då varierar priserna mer.

## 6.2 TOTALKOSTNADEN VIKTIG OCH TILLÄMPNINGSSPECIFIK

Kalkylerna i detta och föregående projekt visar att kostnaderna för inköp, ägande och drift inte skiljer sig radikalt mellan dieselfordon och olika former av elektrifierade fordon. Med teknikutveckling och stordriftsfördelar kan de nya lösningarna snart nog bli billigare i många tillämpningar. Pris avgör inte alltid, men det underlättar om lösningar med mindre miljöproblem är konkurrenskraftiga.

Detta delprojekts fokus är stadstrafik med lastbilar för sophämtning i centrala Göteborg respektive varudistribution i centrala delar av Stockholm. I dessa tillämpningar fungerar renodlade batterifordon relativt väl. Kalkylen för drivmedelskostnad indikerar att drift med el från nätet kostar i Sverige cirka hälften så mycket per kilometer som drift med vätgas och bränsleceller. Orsaken är att vätgasen är dyrare med nuvarande teknisk läge och drivlinan med bränsleceller har lägre verkningsgrad.

Trots skillnaden i drivmedelskostnad finns det all anledning att fortsatt räkna med bränslecellslösningar som ett alternativ. Några argument för detta:

- Drivmedelskostnaden i tillämpningar som sophämtning och godsdistribution i tätort utgör en liten del av totalkostnaden, enligt projektet ELLOG endast 7,5 – 10 procent.
- Kapaciteten i termer av lastförmåga respektive räckvidd är klart större för bränslecellsfordon, vilket gör det lättare att använda fordon och personal effektivt, i synnerhet som tankning av vätgas går snabbt, varmed fordonet direkt blir klart för ett andra skift.<sup>6</sup>
- Fordonskostnaden när batterifordon och bränslecellsfordon jämförs är till de förras nackdel, batterifordonen kräver en större investering som sedan kan återbetala sig tack vare lägre drivmedelskostnader. En hög grundinvestering innebär en större risk.

Våra kalkyler visar att ofta ger ett fordon som är laddbart från elnätet med bränsleceller som är dimensionerade för att kunna ge medeleffektbehovet lägst kostnad. Då detta fordon delvis körs på nätet blir därmed skillnaden i drivmedelskostnad mindre än för ett fordon som endast kör på vätgas. Ytterligare fördel med denna drivlinekonfiguration är att den ger viss redundans, fungerar inte tankstationen för vätgas så går det att köra fordonet i batteridrift i viss

<sup>6</sup> Den i föregående etapp av projektet introducerade Less Function Factor försöker fånga skillnader i funktionalitet i monetära termer. Begränsningar i funktionalitet kan vara räckvidd/tid för att fylla på drivmedel, lastförmåga (volym eller vikt), begränsad tillgång till stadskärnor (för förbränningsmotorfordon) med mera. Utan relativt detaljerad analys av den specifika tillämpningen är det svårt att skatta LFF. För flottor med många fordon kan begränsningar i vissa lägen planeras bort. Samtidigt så kostar ju planering något. Allmänt gäller att om fordonet har mycket olika uppdrag olika dagar så blir LFF större. En på sätt och vis omvänd LFF gäller för den privata bilen som en gång om året ska klara att transportera familjen med mycket packning till fjällen. Den bilen överdimensioneras för att klara en extrem uppgift. En rationell kalkyl hade förmodligen resulterat i att denna bil hyrts. I LFF kan också andrahandsvärdet räknas in, är fordonets specifikation snävt gjord för en specifik tillämpning blir andrahandsmarknaden också begränsad och därmed andrahandsvärdet lägre. Slutligen bör inte värdet av utarbetade system och existerande yrkeskunskap förglömmas, det fordon som inte kräver radikalt andra sätt att tänka och handla har helt klart en rakare väg in på marknaden. Kan det värderas i termer av LFF?

utsträckning. Och om laddningen av batterierna av någon anledning inte blir av går fordonet ändå att köra på vätgas.

### 6.3 AUTOMATISERING – HUR PÅVERKAR DET?

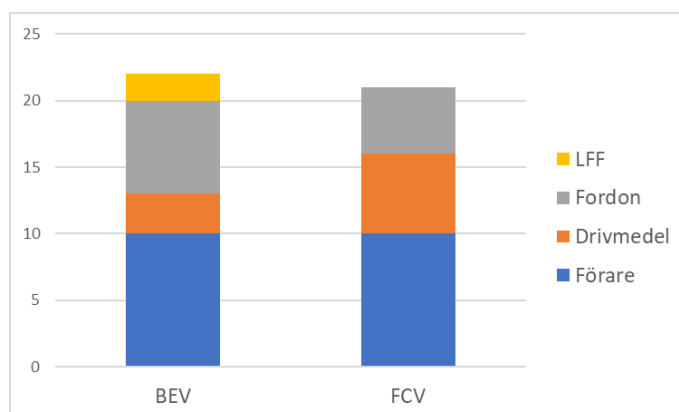
Lönekostnaden är en stor del av totalkostnaden i de tillämpningar som studien fokuserat på. Om fordonen kan operera utan förare, hur påverkar det olika framdrivningssystemens konkurrenskraft?

Varken sophämtning eller varudistribution kan i nuläget genomföras dygnet runt. Om sophämtningen kan göras med lågt buller skulle det vara bra att göra det på natten då trafikstöringen blir mindre. Eldrivna fordon kan göras tillräckligt tysta men frågan är om sopkärshantering med mera också kan bli det?

Lastbilarna som kör ut livsmedel och annat till butiker är mindre specialiserade och de genomför även andra typer av uppdrag när morgonens leveranser är avklarade. Med automatisering kan de fordonen köra en stor del av dygnets timmar.

Med förarlösa fordon blir kostnaden (allt annat lika) mindre än hälften så stor. Det betyder att kostnaden för drivmedel får minst dubbelt så stor betydelse i kalkylen. Även fordonskostnaden ökar i betydelse. Kalkylerna i avsnitt 3 omfattade bara drivlina, energilagring och drivmedel. Utan förare visar de kalkylerna vid vilka relativa kostnader för vätgas respektive batterier som de olika typerna blir mest intressanta.

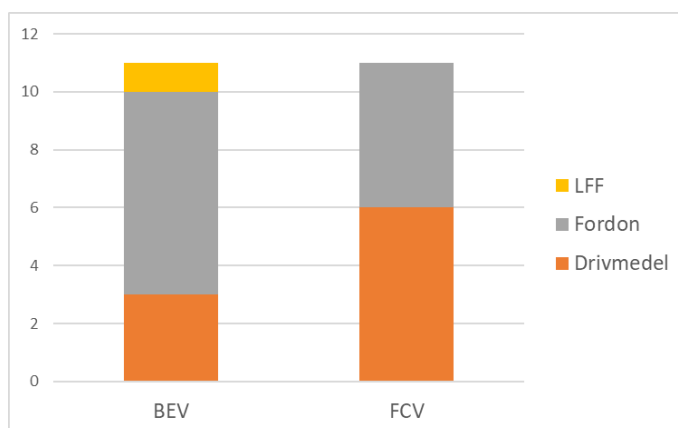
Förarlöshet innebär också att tiden då fordonet används kostar mindre. Därmed kan långsam körning, stopp för laddning och andra former av ineffektiv användning av fordonet tillåtas i en större utsträckning. Om vi jämför ett batterifordon och ett bränslecellsfordon som över sin tekniska livslängd har samma totalkostnad så kan kostnaderna mycket grovt förenklat fördela sig enligt Figur 14, om förare används. I kalkylen har en Less Function Factor (LFF) om 10% lagts in för att inkludera batterifordonets begränsningar i lastkapacitet, räckvidd eller annat. LFF diskuteras utförligare i rapporten från projektets föregående fas. Det bör noteras att egentligen består LFF av kostnader för förare, drivmedel och fordon, även om det här ser ut som att det är något annat.



Figur 14: TCO fordon med förare



Med samma fordon och användning skulle kostnaderna vid förarlös körning fördela sig enligt Figur 15. Figuren visar att tack vare att förarkostnaderna är borta blir totalkostnaden för båda fordonen lika stor.



Figur 15: TCO fordon utan förare

Mycket talar för att fordon avsedda för förarlös drift görs mindre. Då passar de bättre in i trafikflödet och gör det möjligt att öka servicegraden. Ruttplaneringen underlättas också. Men fler mindre fordon torde innebära en något högre samlad energianvändning.

Samtidigt bör fordonet köras i princip kontinuerligt för att maximera intäkterna. Vilopauser och annat bortfaller så det enda som begränsar fordonets körtid är tank- eller laddtiden, samt tiderna då det kan lastas och lossas. Om körningar utanför rusningstid och inte minst nattetid kan utföras ökar produktiviteten tack vare högre medelhastighet och även bättre tillgång till parkering och lastplatser.

Sammantaget talar faktorer som fler och mindre bilar liksom drivmedelskostnadens relativt sett ökade betydelse för batterifordon. För bränslecellsfordon talar möjligheterna att nyttja fordonet så många av dygnets timmar som möjligt. Om vi fortsätter med exemplet i Figur 14 och Figur 15 och bränslecellsfordonet tack vare längre räckvidd och snabbare tankning kör 50 procent mer varje dygn, då genererar bränslecellsfordonet 50 procent högre intäkter varje dygn.

## 7 Slutsatser

Syftet med projektet är att ta ett steg vidare mot konkreta tillämpningar jämfört med föregående etapp, bland annat genom analys av kördata från lastbilsanvändning. Målet är en bättre förståelse för hur bränslecellslastbilar ska konfigureras och tankas för att vara kostnadseffektiva. Kör- och energianvändningsdata kommer från det parallella projektet ELLOG. Tre energirelaterade frågor adresseras; laddbara bränslecellslastbilar, drivmedel och infrastruktur, samt tillämpningar.

Det kan enligt tidigare analyser finnas goda skäl att ha relativt stora laddbara batterier även i lastbilar med bränsleceller. Analysen av drivlinor med olika storlek på bränsleceller och olika storlek och typ på batterierna visar att i många fall ger fordonet med laddbara batterier och bränsleceller för medeleffektbehovet lägst kostnad. Variationer av vätgas- respektive batterikostnad visar på betydelsen av dessa viktiga och svårbedömda faktorer.

Energiförsörjningskalkylen visar att baserat på 100 distributionslastbilar kostar energi och infrastruktur för bränslecellsdrift cirka 4,1 att jämföra med batteridrift som kostar cirka 2,2 kronor per kilometer.

Tillämpningsdelen hade tyngdpunkten i sopbilar och ett analysverktyg som ursprungligen utvecklats för att studera laddbara stadsbussar kompletterades inom ramen för projektet med bränslecellsdrift i två olika varianter. Jämförelsen mellan dessa fordon och motsvarande batterifordon visar att räckviddsbegränsningar elimineras. Övriga data från ELLOG belyser vidare att drivmedelskostnaden vid denna typ av tillämpningar är mellan 7,5 – 10% av totalkostnaden, vilket indikerar att det är avgörande för totalkostnaden att köra fordonen tidseffektivt. Detta utvecklas också i diskussionsdelen som betonar vikten av fordon som kan användas flexibelt och effektivt. Less Function Factor diskuteras som metod för att monetärt försöka inkludera de olika tillkortakommanden som respektive fordon har och det noteras att en meningsfull skattning av LFF kräver ganska noggrann analys av aktuell tillämpning.

Diskussionsdelen fördjupar även analysen av drivmedelskostnaden genom att skilja tydligare på kostnader för effekt och energi, med el som utgångspunkt. Vätgas kan produceras dygnet runt vilket gör att effektbehovet normalt sett blir mindre än för batterifordon som laddas under natten. Det kan minska kostnadsskillnaden mellan el och vätgas som drivmedel.

Automatisering diskuteras kortfattat med slutsatsen att förarlösa fordon sannolikt blir mindre än dagens fordon och mindre känsliga för ineffektivt nyttjande. Det talar för batterifordon. Men samtidigt så lär ägaren vilja att fordonen kör så stor del av dygnet som möjligt, vilket talar för bränslecellsfordon, som har längre räckvidd och kan tanka snabbt.



## LASTBILAR MED BRÄNSLECELLER

Här diskuteras med utgångspunkt i konkreta tillämpningar olika fördelar och nackdelar med bränslecellsdrift, i första hand i jämförelse med batteridrift. Kördata från verklig användning av sopbilar och distributionslastbilar har samlats in och analyserats.

Rapporten berör bland annat automatisering och drar slutsatsen att förarlösa fordon sannolikt blir mindre än dagens fordon och mindre känsliga för ineffektivt nyttjande. Det talar för batterifordon. Samtidigt gör frånvaron av förare att fordonen kan och bör köra så stor del av dygnet som möjligt. Det talar för bränslecellsfordon, som har längre räckvidd och kan tanka snabbt.

Slutsatsen är att vätgasdrivna bränslecellslastbilar definitivt är ett alternativ att ta hänsyn till för att kostnadseffektivt etablera stadstransporter med möjligheten att helt undvika lokala och globala emissioner.

### 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](http://www.energiforsk.se)