

BRÄNSLECELLSDRIFT AV TUNGA TRUCKAR

RAPPORT 2016:335



Bränslecellsdrift av tunga truckar

Potential inom processindustrin

ANGELIKA TREIBER

ISBN 978-91-7673-335-6 | © 2016 ENERGIFORSK

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

Förord

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

Denna rapport, som har tagits fram inom teknikbevakningsprojektet, är en förstudie av potentialen för bränslecellsdrift av tunga truckar inom processindustrin. Projektet har kartlagt vilka truckar och fordon som i framtiden kan drivas med bränsleceller, kvantifierat effekterna av en övergång till bränslecellsdrift för dessa truckar och fordon och gjort en potentialbedömning av processindustrins framtida potential att generera värtgas för användning i bränsleceller. Målsättningen med projektet är att skapa underlag för ett större projekt där tunga truckar kan demonstreras.

Samtliga rapporter kommer att finnas publicerade och fritt nedladdningsbara på Energiforsks webbplats för bränslecellsbevakningen www.branslecell.se och på SHC:s webbplats www.hybridfordonscentrum.se.

Projektet har genomförts av Angelika Treiber, TFK

Styrgruppen för projektet har bestått av följande ledamöter: Anders Hedebyörn och Stefan Bohatsch Volvo Cars, Annika Ahlberg-Tidblad Scania, Johan Svenningstorp AB Volvo, Bengt Ridell Sweco Energuide, Göran Lindbergh SHC/KTH, Peter Smeds/Magnus Lindgren Trafikverket, Elna Holmberg SHC och Bertil Wahlund Energiforsk. Energiforsk framför ett stort tack till styrgruppen för värdefulla insatser.

Stockholm november 2016

Bertil Wahlund Energiforsk AB

Sammanfattning

Processindustrin har genomfört ett flertal åtgärder för att reducera utsläppen av växthusgaser, men stod trots detta för 25 % av koldioxidutsläppen i Sverige 2014. För att minska koldioxidutsläppen ytterligare krävs nya åtgärder vilka samtidigt måste vara ekonomiskt förvarbara för att den svenska processindustrins konkurrenskraft ska bibehållas. Utöver att processindustrin är en stor utsläppskälla av koldioxid erhålls rest- och biprodukter från produktionsprocesserna vilka består av överskottsenergi i form av värme och ånga samt olika gasfraktioner, däribland vätgas vilken idag ej tillvaratas i full omfattning.

Den interna logistikverksamheten inom processindustrin innefattar en betydande intern transport- och hanteringsverksamhet som är energikrävande och kostsam. De tunga truckar som används i denna verksamhet är vanligen förbränningsmotordrivna och förbrukar en stor mängd, i huvudsak fossilt, bränsle (diesel). Ett intresse finns därför vid flera processindustrier att använda vätgas som produceras inom anläggningarna för att med bränsleceller driva truckar, arbetsmaskiner och andra fordon.

Förstudien organiseras och utförs av TFK – TransportForsK med stöd och aktiva insatser från intressenter knutna till studien och avser att uppnå följande syften:

- Att kartlägga och beskriva vilka truckar och fordon som i framtiden kan drivas med bränsleceller samt att beskriva hur dessa skall anpassas för detta.
- Att kvantifiera effekterna av en övergång till bränslecellsdrift för dessa truckar och fordon utifrån ett energieffektiviserings- och miljöperspektiv.
- Att sammanställa en bild av, samt kvantifiera processindustrins generering av vätgas och annan överskottsenergi. Detta för att kunna bedöma processindustrins framtida potential att generera vätgas för användning i bränsleceller i truckar och fordon.

Resultatet visar att en övergång till vätgasdrivna truckar kan minska energiförbrukningen med 30 % och minska koldioxidutsläppen med 80 % jämfört med dieseldrift. En bränslecellstruck innebär även lägre energi- och underhållskostnader jämfört med en motsvarande dieseldriven truck. Kartläggningen visar att processindustrierna i Sverige har stora mängder överskottsenergi varav delar kan användas till att producera el för att genom elektrolys framställa vätgas alternativt rening av gaserna till ren vätgas. En kartläggning visar att flertalet av industrierna har potential att producera tillräckligt med vätgas för att driva alla tunga truckar som används vid anläggningen. Dock krävs det troligtvis stora investeringar för att möjliggöra vätgasproduktion från industriernas överskottsenergi och restgaser.

Ett hinder för framtagning och implementering av vätgasdrift av tunga truckar är att majoriteten av dessa idag är dieseldrivna. Vid framtagning av en vätgasdriven truck tillkommer därför utvecklingskostnader för framtagning av ett elektriskt drivsystem. Ett större hinder är de höga investeringskostnaderna för fordon, bränslecell och vätgasinfrastruktur som uppstår vid övergång till vätgasdrivna fordon och maskiner. Det råder även en hård konkurrens från batterielektriska truckar med litiumjonbatterier och en avgörande faktor för framtiden för bränslecellsdrift är troligtvis prisutvecklingen för bränsleceller respektive batterier.

Summary

The process industry has implemented several measures to reduce greenhouse gas emissions, but was nevertheless accounted for 25 % of the carbon dioxide emissions in Sweden in 2014. In order to reduce the carbon emissions further it requires new measures which also must be economical to maintain the competitiveness of Swedish process industry. The process industry are also generating residues and by-products from the production processes which consist of heat and steam as well as various gas fractions, including hydrogen. These by-products are currently not utilized to full extent.

The internal logistics operation in the process industry includes significant internal transport and handling operations that are energy intensive and costly. The heavy industrial trucks that are used in this activity have usually a combustion engine and consume a large amount of mainly fossil fuel (diesel). There are therefore of interest at several process industries to use hydrogen produced in the plants to power fuel cell industrial trucks and other vehicles.

This pre-study is organized and performed by TFK – TransportForsk with the support and active involvement of the stakeholders linked to the study and intends to achieve the following objectives:

- To identify and describe which trucks and vehicles that in the future may be powered by hydrogen in fuel cells and to describe how these trucks and vehicles should be adapted for this.
- To quantify the effects of a shift to fuel cell operation of these trucks and vehicles from an energy efficiency and environmental perspective.
- To compile a picture of, and quantify the excess production of hydrogen gas and energy at the process industries. This is to evaluate the process industry's future potential to produce hydrogen gas for use in fuel cells in industrial trucks and vehicles.

The result shows that switching to hydrogen-powered trucks can reduce the energy consumption by 30 % and reduce the carbon emissions by 80 % compared to diesel operation. A truck with fuel cells also means lower energy and maintenance costs compared to an equivalent diesel-powered truck. The study shows that the process industries in Sweden have large amounts of excess energy and that parts of it can be used to produce electricity to produce hydrogen through electrolysis alternative purification of gases to pure hydrogen. The study shows that most of the industries have the potential to produce enough hydrogen to power all heavy trucks that used at the facility. However, it requires large investments to enable hydrogen production from the industries excess energy and residual gases.

One obstacle to the development and implementation of fuel cell drive systems for heavy trucks is that the majority of them today are diesel-powered. For the development of a hydrogen-powered truck, the development costs will increase due to the development cost for an electric drive system. A major obstacle is the high investment costs for vehicles, fuel cells and hydrogen infrastructure. There is also hard competition from battery electric trucks with lithium-ion batteries and a critical factor for the future of fuel cell operation is probably the price development of fuel cells and batteries.

Innehåll

1	Inledning	10
1.1	Bakgrund	10
1.2	Mål och syfte	11
1.3	Utförare och projektparter	11
1.4	Definitioner	12
2	Befintlig teknik	15
2.1	Truckar med elektriska drivsystem	15
2.1.1	Dragtruckar	15
2.1.2	Motviktstruckar	16
2.1.3	Övriga fordon och maskiner	18
2.2	Vätgasdrivna truckar	20
2.2.1	Dragtruckar	21
2.2.2	Motviktstruckar	21
2.2.3	Personbilar, lastbilar och bussar	23
2.3	Bränsleceller för fordon	24
2.3.1	Bränslecellstyper	24
2.3.2	Exempel på bränslecellssystem för materialhantering	25
2.4	Drivsystem för bränslecellsdrift	27
2.4.1	Hybriddrift	27
2.4.2	Räckviddsförlängning	27
2.4.3	Ren bränslecellsdrift	28
2.5	Uppskalning av befintlig teknik	28
3	Vätgasgenerering	30
3.1	Framställning av vätgas	30
3.1.1	Elektrolys	30
3.1.2	Reformering	31
3.2	Rening	31
3.3	Kartläggning av överskottsenergi från processindustrier	32
3.3.1	SSAB	32
3.3.2	Iggesunds Bruk	33
3.3.3	Ovako	34
3.3.4	Uddeholms AB	34
3.3.5	Sandvik Materials Technology	34
3.3.6	Outokumpu Stainless AB	35
4	Intervjuundersökning	37
4.1	Truckanvändare	37
4.1.1	SSAB	37
4.1.2	Uddeholms AB	39
4.1.3	Iggesunds Bruk och Skärnäs Hamn	39

4.1.4	Sandvik Materials Technology	39
4.1.5	Oxelösunds Hamn	40
4.2	Truck- och fordonstillverkare	40
4.2.1	Kalmar	41
4.2.2	Toyota Material Handling	41
4.2.3	Linde Material Handling	42
4.2.4	Still	42
4.2.5	Konecranes	42
4.3	Gasleverantör	43
4.3.1	AGA Gas	43
5	Analys	44
5.1	Energi- och miljöeffekter	44
5.1.1	Exempel på energi- och miljöeffekter för en 16 tons motviktstruck	44
5.2	Potential för vätgasgenerering	45
5.3	Kostnader	48
5.4	Kunskap och intresse av bränsleceller inom process- och fordonsindustrin	51
6	Slutsatser	53
6.1	Utvecklingsbehov för truckar och tekniska system	53
6.2	Tillgång på vätgas	54
6.3	Fortsatta studier	54
	Referenser	55
	Litteratur	55
	Internet	56
	Muntliga källor	58
	Appendix	60
A.	ISO 14687-2:2012	60
B.	Bränsledata	61
	Koksugns gas	61
	LD-gas	62
	Masugns gas	63
C.	Intervjufrågor	64
D.	Truckar och arbetsmaskiner VID Iggesund bruk och Skärnäs hamn	64
E.	Beräkningar energi och miljöeffekter	66
F.	Beräkningar potential för vätgasgenerering	67
G.	Beräkningar kostnader	68

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Sveriges basindustri består främst av skogs-, kemi-, gruv-, mineral-, stål- och metallindustrier vilka tillsammans 2012 svarade för nästan 30 % av Sveriges exportvärde. En ofta använd benämning för skogs-, kemi- och stålindustrin är processindustri vilken svarar för en stor del av elanvändningen i Sverige. Processindustrin har genomfört ett flertal åtgärder för att reducera dessa utsläpp men stod ändå för 25 % av koldioxidutsläppen i Sverige år 2014. En stor andel av processindustrins utsläpp ligger på lägsta möjliga nivå med den teknik som finns tillgänglig.

För att ytterligare minska utsläppen av koldioxid krävs nya åtgärder, vilka samtidigt måste vara ekonomiskt försvarbara om den svenska industrins konkurrenskraft ska kunna bibehållas. Exempelvis var SSABs anläggning i Oxelösund 2010 den största punktutsläppskällan av fossilbaserad koldioxid i Sverige och Luleå kraftvärmeverk var näst störst (Energiforsk, 2015). Samtidigt erhålls rest- och biprodukter från dessa industriers produktionsprocesser i form av överskottsenergi, såsom värme, ånga samt olika gasfraktioner, i varierande mängd. En stor del av överskottsenergin omhändertas, men det som inte används eldas upp, utan att energi utvinns, så kallad fackling. 2012 facklade SSAB i Luleå 10 % av den gas som erhöles i anläggningarna vilket motsvarade en energimängd av nästan 200 GWh (SSAB EMEA AB Luleå, 2012).

Den interna logistikverksamheten inom den tunga industrin, främst representerad av pappers- och stålindustrin samt delar av verkstadsindustrin, innefattar betydande intern transport- och hanteringsverksamhet som är synnerligen energikrävande och kostsam. Verksamheten fordrar även ett stort antal arbetsmaskiner och betydande personalresurser. De tunga drag- och lyfttruckar (med motoreffekt över 130 kW och en lyftkapacitet för motviktstruckar på minst 16 ton) som används i verksamheten är idag vanligen dieseldrivna och förbrukar en stor mängd, i huvudsak fossilt bränsle. Ett exempel på verksamhetens omfattning är att den internt hanterade och transporterade mängden av material och varor inom stålindustrin har beräknats vara 5-6 gånger så stor som den mängd slutprodukter som lämnar industrin (Ekman, 2011). Inom processindustrin finns därför ett behov av att minska den miljöpåverkan som den interna logistikverksamheten och de interna transporterna ger upphov till.

TFK har under lång tid organiserat och genomfört studier, forsknings- och utvecklingsprojekt som innefattat insatser för att åstadkomma en energieffektivisering vid användning av fordon och arbetsmaskiner, såsom truckar. I studien *Innovativa arbetsmaskiner för energieffektiv framtida internlogistik inom tung industri*, (Treiber et al, 2016) kartlades driftbetingelser, användningsmönster och energiförbrukning för utvalda truckar och andra typer av fordon som används inom processindustrin. I det projektet undersöktes alternativ med renodlad eldrift, med lagring av energi i batterier, respektive hybriddrifter med energilagring i batterier eller kondensatorer.

Idag uppstår vid vissa industrier vätgas som biprodukt i tillverkningsprocessen eller erhålls från andra gaser som kan omvandlas till vätgas. Intresse finns därför att inom vissa processindustrier kunna använda vätgas i kombination med bränsleceller som energikälla till truckar, hanteringsmaskiner och andra fordon.

1.2 MÅL OCH SYFTE

Syftet med förstudien var att kartlägga möjligheterna att inom processindustrin använda truckar samt andra typer av fordon för interna transporter och intern hantering som drivs med vätgas som framställs inom processindustrins anläggningar. Detta kan preciseras i följande delsyften:

- Att kartlägga och beskriva befintlig teknik och utvecklingsbehov för truckar, fordon och hanteringsmaskiner som i framtiden kan drivas med bränsleceller samt att beskriva hur tekniken kan skalas upp och anpassas för dessa applikationer med avseende på bland annat drivsystemens utformning.
- Att sammanställa inställningen och framtidsstron för vätgas och bränsleceller bland trucktillverkare och truckanvändare.
- Att kvantifiera effekterna av en övergång till bränslecellsdrift för dessa truckar och fordon utifrån ett energieffektiviserings- och miljöperspektiv.
- Att sammanställa en bild av samt kvantifiera processindustrins generering av vätgas och annan överskottsenergi. Detta för att därefter kunna bedöma processindustrins framtida potential att generera vätgas för användning i bränsleceller i truckar och fordon.

1.3 UTFÖRARE OCH PROJEKTPARTER

Förstudien har utförts av TFK – TransportForsk (TFK) med stöd och aktiva insatser från ett flertal intressenter. TFK är ett icke vinstdrivande forskningsinstitut inom transport- och logistikområdet. Bakom TFK står en ideell intressentförening med ett 40-tal medlemmar vilka utgörs av stora industri- och handelsföretag, kommuner, transportväsen och andra organisationer. TFKs verksamhetsidé är att i samverkan med medlemmarna samt andra parter, representerade av bland annat myndigheter, universitet och högskolor arbeta för effektiva, miljöanpassade, säkra och hållbara transport- och logistiklösningar.

Bakom detta förslag till förstudie samt en förmodad efterföljande demonstration står följande intressentgruppering av bland annat processindustriföretag, truck- och arbetsmaskintillverkare samt gasleverantörer:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| • AGA Gas | • Sandvik Materials Technology |
| • CeDe Group | • SSAB Special Steels Oxelösund |
| • Iggesunds Bruk (Holmenkoncernen) | • SSAB Europe Borlänge |
| • Kalmar Cargotec Group | • SSAB Europe Luleå |
| • Ovako | • Uddeholms |
| • Oxelösunds Hamn | • Volvo Construction Equipment |

Dessa aktörer visar genom sin medverkan i studien att de har ett intresse av att söka lösningar för att minska de egna verksamheternas energiförbrukning och miljöpåverkan, bland annat genom användning av bränslecellsdrivna truckar och fordon för interna transporter.

1.4 DEFINITIONER

Arbetsmaskin	Enligt EU direktiv 97/68/EG är en arbetsmaskin en mobil maskin, industriell utrustning eller fordon som inte är avsedd för transporter på väg av personer eller gods. Till arbetsmaskiner räknas exempelvis skogs- och jordbruksmaskiner, materialhanteringsmaskiner, gaffeltruckar samt anläggningsmaskiner såsom hjullastare, schaktmaskiner, bandtraktorer, grävlastare, terränggående truckar och grävmaskiner.
Batterielektriskt fordon (BEV)	Battery Electric Vehicle (BEV) är ett batterielektriskt fordon vilket betyder att fordonet drivs av en elmotor och kan lagra energi i batterier.
Bogserande truck	En bogserande truck används för att dra efterfordon, exempelvis släpvagnar.
Bränslecell	En bränslecell omvandlar kemisk energi till elektrisk energi och producerar kontinuerlig elektricitet så länge bränslecellen har bränsle och katalysatorn är aktiv.
Bränslecellsstack	En bränslecellsstack är flera bränsleceller som har satts ihop genom bipolära plattor för att nå önskad uteffekt.
Bränslecellssystem	Ett bränslecellssystem är ett komplett system av de komponenter som integrerar med bränslecellsstacken för att producera elektricitet.
Dieselelektrisk	Ett dieselelektriskt fordon drivs av en dieselmotor som driven en elgenerator som i sin tur driver en elmotor.
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell (DMFC) är en bränslecell som reformerar metanol direkt på elektroden för att producera vätgas.
Dragtruck	En dragtruck är avsedd för att flytta en lastbärare eller efterfordon på hjul, vanligtvis en påhängsvagn eller släpvagn. Dragtruckar finns i huvudsakligen två utföranden, bogserande truck och terminaltruck (Bark red, 2002).
Elektrolys	Elektrolys är en metod där en strömkälla används för att driva en redoxreaktion. Elektrolys kan användas för att sönderdela eller spjälka föreningar, exempelvis spjälkning av vatten till vätgas och syrgas.
Grensletruck	En grensletruck är en truck, med öppen fram- och bakände, som uppifrån omsluter lasten. Därigenom kan trucken köra över lasten som ska hanteras från valfri riktning. Grensletruckar används främst inom containerhantering i större hamnar samt i stålindustrin (Bark red, 2002).
Fackling	Förbränning av gasformigt överskottsbränsle utan att ta tillvara på energin.
Hybriddrift	Vid hybriddrift av fordon används två eller flera energiomvandlare, exempelvis en förbränningsmotor i kombination med en elmotor och ett batteri.

King-pin	Dragtapp på ett efterfordon för tillkoppling till ett dragfordon.
Koksugns gas	Koksugns gas är en brännbar gas som bildas som biprodukt vid koksning av kol (Engström, 2009).
LD-gas	LD-gas bildas i en LD-konverter som används för att minska kolhalten i råjärn (Jernkontorets energihandbok, 2016a).
Materialhantering	Materialhantering är fysisk hantering, förflyttning, lagring och förpackning av material (Bark red, 2002).
Masugns gas	Masugns gas är en gas som bildas i stora mängder (1 500 Nm ³ /ton råjärn) i masugnar. Gasen används ofta som bränsle i andra processer i järn- och stålverken (Jernkontorets energihandbok, 2016b).
Motviktstruck	En motviktstruck är en truck som bär lasten utanför chassit. Trucken har en egenvikt som motverkar att lastens vikt tippa trucken framåt. Lastvikten för en motviktstruck kan ökas genom att sätta en motvikt baktill på trucken (Bark red, 2002). Här klassas motviktstruckar som lätta om de har en lyftkapacitet under 9 ton, som medeltunga om de har en lyftkapacitet på 9 – 18 ton och som tunga om de har en lyftkapacitet över 18 ton. I rapporten används även följande klassindelning för lätta gaffeltruckar: Klass 1: Drivs av elektrisk motor och har tre eller fyra hjul Klass 2: Smala truckar för lagergångar Klass 3: Elektriska handtruckar
Normalkubikmeter (Nm³)	Enhet för 1 m ³ gas vid standardtryck och temperatur.
PEM	Proton Exchange Membrane (PEM) är en bränslecell där elektrolyten utgörs av protonledande solid polymermembran. De kan även kallas PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cell) eller SPFC (Solid Polymer Fuel Cell).
Processindustri	Processindustrin representeras av skogs-, kemi- och stålindustrin.
Reachstacker	En reachstacker är en typ av motviktstruck och kallas även teleskopbomtruck. En reachstacker används främst vid hantering av enhetslast, exempelvis containrar, inom terminalverksamhet (Bark red, 2002).
Terminaltruck	Terminaltruckar används vid terminalverksamhet, hamnar och industrianläggningar. En terminaltruck har ofta en hydrauliskt höj- och sänkbar vändskiva för tillkopplingen av ett efterfordon. Vändskivan ska ta upp både en drag- eller tryckkraft samt en vertikal belastning från efterfordonet. Terminaltruckar inom processindustrin används ofta tillsammans med exempelvis kassettrailers eller bygel- och plattformsvagnar som efterfordon (Bark red, 2002).

Truck

En truck är en obunden utrustning för horisontell och/eller vertikal förflyttning av gods och material kortare sträckor, oftast inom arbetsområden och i distributions-, industri och terminalanläggningar (Bark red, 2002). Med obunden utrustning avses utrustning som utvecklats för att framföras av en medåkande förare eller operatör. Enligt svensk standard, SS2780, är definitionen för truck: Lastbärande eller dragande motordrivet närtransportfordon.

2 Befintlig teknik

2.1 TRUCKAR MED ELEKTRISKA DRIVSYSTEM

Eldrift för lyfttruckar, främst motviktstruckar och lagertruckar, har använts inom industrin, handeln och transportbranschen sedan 1950-talet. Fördelen med eltruckarna är att de är tysta samt inte släpper ut avgaser till omgivningen. Nackdelen med batterielektrisk drift har hittills varit begränsad drifttid samt ökad fordonsvikt. Detta har medfört att eldrift nästan enbart använts för mindre truckar för inomhusbruk. I dessa truckar har energilagret i de flesta fall utgjorts av bly-syrabatterier, men idag sker en övergång till andra typer av energilager, exempelvis litium-jonbatterier, som har en högre energitäthet. Idag är eldrift vanligt förekommande av motviktstruckar upp till 9 tons lyftkapacitet men elektriska motviktstruckar tillverkas upp till 12 tons lyftkapacitet (Treiber et al, 2016). För tyngre motviktstruckar, dragtruckar och andra tunga truckar och maskiner dominerar dieseldrift.

2.1.1 Dragtruckar

Det finns huvudsakligen två typer av dragtruckar, bogserande truck och terminaltruck. En bogserande truck används för att dra efterfordon, exempelvis släpvagnar. För att de bogserande truckarna ska kunna leverera tillräcklig dragkraft utan att slira är de vanligen försedda med barlast. Denna barlast kan utgöras av batterier och bränsleceller. En terminaltruck bär upp en stor del av lastbärarens eller efterfordonets tyngdkraft och har en höj- och sänkbar vändskiva för tillkoppling av ett efterfordon med en king-pin (Bark red, 2002). Denna typ av truck behöver följaktligen ej barlastas.

Dragtruckar finns både med batterielektrisk drift, dieseldrift eller gasoldrift. Ett fåtal tunga dragtruckar, främst prototyper, finns med elektriskt drivsystem. I Tabell 1 presenteras ett urval av de dragtruckar som idag finns med elektrisk eller hybrid drift. Lastkapaciteten för dessa elektriska truckar kan jämföras med de truckar av typen Volvo A25F som bland annat används hos SSAB i Oxelösund och som har en lastkapacitet på 60 ton samt dragtrucken Kalmar TR618i som bland annat används av BillerundKorsnäs i Gävle och som har en lastkapacitet på 105 ton (Treiber et al, 2016).

Tabell 1 Elektriska och hybriddrivna dragtruckar

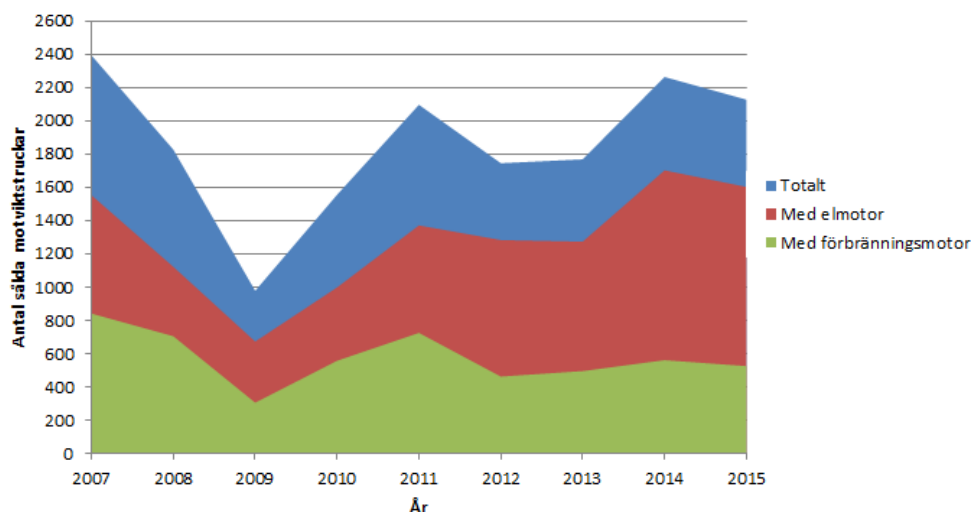
Tillverkare/Modell	Lastkapacitet (ton)	Drivsystem	Övrigt
Balqon XR E20 terminaltruck  (Balqon.com)	45	Elektriskt	Används i hamnen i Los Angeles. Har även sålts till den amerikanska försvars-makten och till bil- och stålindustrier. Trucken har en elmotoreffekt på 240 kW. Batterikapaciteten är 140 kWh med en batterieffekt på 240 kW. Räckvidden på en laddning uppges uppgå till 240 km eller 16 drifttimmar (Balqon, 2012).

Tillverkare/Modell	Lastkapacitet (ton)	Drivsystem	Övrigt
Linde P250 bogserande truck  (linde-world.de)	25	Elektriskt	Lindes dragtruck P250 drivs av två elmotorer (AC) med en effekt på 10 kW vardera. Batterivikten är 1,6 ton för modellen med kort hjulbas och 2,2 ton med lång hjulbas (Linde Material Handling, 2008).
Steeltrac E3-30 bogserande truck  (hestratruck.se)	30	Hybrid	En dragtruck som är vanlig på flygplatser och andra terminaler. Trucken finns med enbart batteridrift eller med ett dieselelektriskt drivsystem där det är möjligt att växla mellan diesel- och batteridrift för att fungera för arbeten både inomhus och utomhus (Hestra, 2016).
Kalmar Motor TBL 800 flygplansdragare  (kalmarmotor.com)	50	Hybrid	Kalmar Motor lanserade i maj 2016 en hybriddriven flygplansdragare som kan dra världens största flygplan. Trucken uppges vara världens första hybriddrivna flygplansdragare som klarar av så stora flygplan. Drivsystemet är heleelektriskt, men en dieselmotor finns för att ladda batterierna vid behov. Batterierna kan även laddas med kabel när trucken står stilla (Kalmar Motor AB, 2016).

2.1.2 Motviktstruckar

Motviktstruckar finns i många olika storlekar med olika lyftkapaciteter. Vanligen används el- eller dieseldrift, men motviktstruckar som drivs med gasol eller vätgas förekommer. Eldrivna motviktstruckar används främst inomhus och de flesta har en lyftkapacitet under 5 ton. Ett fåtal elektriska motviktstruckar finns med lyftkapacitet upp till ca 12 ton (Transportnytt, 2015). Därutöver förekommer i Europa ingen marknadsföring eller serietillverkning av eldrivna motviktstruckar med lyftkapaciteter över 12 ton.

I Figur 1 visas antal sålda motviktstruckar i Sverige mellan åren 2007 och 2015. Försäljningen av motviktstruckar minskade något under 2015 jämfört med försäljningen av motviktstruckar under rekordåret 2014, men innebar en ökning jämfört med 2013. Motviktstruckar med eldrift dominerar försäljningen av motviktstruckar vilket beror på den stora försäljningen av lätta motviktstruckar (lagertruckar) som nästintill uteslutande är elektriska och används inomhus (Transportnytt, 2008-2016).



Figur 1 Antal sålda motviktstruckar med elmotor respektive förbränningsmotor 2007-2015 (Transportnytt, 2008-2016)

För hantering utomhus används främst dieseldrivna truckar eller i några enstaka fall gasoldrivna truckar. Dieseltruckar kan ha en lyftkapacitet upp till 100 ton. För dieseldrivna motviktstruckar förekommer i huvudsak tre olika transmissionslösningar. Den vanligaste är hydrodynamisk transmission, eller momentomvandlare tillsammans med en stegad växellåda. Med denna lösning finns en hydraulisk koppling mellan motorns utgående axel och växellådan. En annan transmissionslösning är hydrostatisk transmission där dieselmotorn driver en hydraulpump och där drivhjulen drivs av hydraulmotorer antingen placerade vid hydraulpumpen, vid drivaxlarna eller i drivhjulen (navmotorer). Den tredje varianten är dieselelektrisk transmission där dieselmotorn driver en elektrisk generator som driver en eller flera elmotorer på hjulen (Transportnytt, 2015).

Nedan presenteras två av de tyngsta elektriska motviktstruckarna som idag finns på marknaden (se Tabell 2).

Tabell 2 Elektriska motviktstruckar

Tillverkare/Modell	Lyftkapacitet (ton)	Övrigt
Kalmar ECG90-L 	9	Kalmars ECG90-L har en lyftkapacitet på 9 ton. Den elektriska trucken har en lägre maximal hastighet än motsvarande truck med dieseldrift. Maxhastighet utan last är 15 km/h och 13 km/h vid märklaster. Lyfthöjden uppgår till 3,5 m och trucken har två elektriska drivmotorer med en effekt på 11 kW vardera. Truckens energilager består av blysyrbatteri med en vikt på 3,7 ton och med en kapacitet på 124 kWh (Kalmar, 2014).

(kalmarglobal.com)

Tillverkare/Modell	Lyftkapacitet (ton)	Övrigt
Semax EI 120 – 600 tp 	12	Semax EI 120 – 600 tp är en teleskoperande elektrisk motviktstruck med en lyftkapacitet på 12 ton. Trucken drivs av en elmotor (AC) med en effekt på 40 kW och har ett energilager med en kapacitet på 150 kWh (Ottosson Truck, 2015).

(ottossontruck.se)

2.1.3 Övriga fordon och maskiner

Förutom dragtruckar och motviktstruckar finns andra typer av tunga arbetsmaskiner där elektriska drivlinor förekommer. Dessa är dock främst prototyper eller demonstrationsmaskiner. Ett urval av dessa presenteras nedan.

Konecranes hybriddrivna reachstacker

I januari 2013 lanserade Konecranes världens första hybriddrivna reachstacker för containerhantering. Reachstackern har ett dieselelektriskt drivsystem och en lyftkapacitet på 45 ton. Den har även ett elektrifierat hydrauliskt lyftsystem och superkondensatorer som energilager. Reachstackern testades i Helsingborgs Hamn och visade då en minskad bränsleförbrukning på 30 – 50 % jämfört med en motsvarande reachstacker med konventionellt drivsystem. Energi regenereras från bromsning och sänkning av last. Det dieselelektriska drivsystemet möjliggör högre produktivitet tack vare snabbare respons och högre acceleration. I framtiden kan dieselgeneratoren ersättas med exempelvis bränsleceller (Konecranes, 2013).

Reachstackern är en seriehybrid med ett dieselelektriskt drivsystem med dieselmotor, elektrisk generator och elektrisk motor. Dieselmotorn opererar vid konstant varvtal och energin omvandlas till elektrisk energi av generatoren för drivning av elmotorn. Hydraulpumparna drivs av särskilda elmotorer och har egna styr- och kontrollfunktioner (Konecranes, 2013).



Figur 2 Konecranes hybriddrivna reachstacker (Konecranes, 2013)

Elforest eldrivna grävlastare

Elforest Technologies har utvecklat elhybridkomponenter som integrerats i en grävlastare på uppdrag av Huddig AB. Grävlastaren har försetts med ett generatorpaket monterad på dieselmotorn, elektriska hjulmotorer och batterier (Elforest, 2016a). Elforest har även tagit fram andra maskiner med elhybriddrivsystem, exempelvis skotare och vedtruckar. Elforest elhybriddrivsystem Hybrid Electric Turbo har en elmotoreffekt på upp till 50 kW och kunderna återfinns främst inom segmentet 5 – 30 ton (Elforest, 2016b).



Figur 3 Hybriddriven grävlastare med elhybridkomponenter från Elforest (Elforest, 2016a)

Gruvmaskiner med elektriskt drivsystem med matning från kontaktledning

Det finns flera typer av gruvmaskiner och fordon som kan drivas elektriskt med direktelmatning från en luftkontaktledning genom en strömvtagare på maskinen/fordonet. Samtidigt har maskinerna ett parallellt drivsystem med konventionell dieseldrift som används där kontaktledning saknas. Ett exempel är Atlas Copcos Elektrisk Minetruck EMT35 som har en lastkapacitet på 35 ton och drivs av en dieselmotor när det inte finns tillgång till kontaktledningar (Atlas Copco, 2013).



Figur 4 Atlas Copco Electric Minetruck EMT35 (Atlas Copco)

Batteridrivna hjullastare

Atlas Copco lanserade i maj 2016 en batteridrivna hjullastare, Scooptram ST7 Battery, med en kapacitet på 7 ton vilken är baserad på Atlas Copcos vanliga dieseldrivna hjullastare av typen Scooptram. Hjullastaren har en batterikapacitet på 165 kWh vilket möjliggör ca 4 timmars drifttid. Den batteridrivna hjullastaren är ett mer flexibelt alternativ till de elgruvmaskiner som elmatas via kabel (Atlas Copco, 2016).



Figur 5 Atlas Copco Scooptram ST7 Battery, batteridrivna hjullastare (Atlas Copco, 2016)

2.2 VÄTGASDRIVNA TRUCKAR

Under 2015 förväntades ca 4 900 bränslecellsfordon säljas varav de flesta utgjordes av mindre gaffeltruckar. Antalet bränslecellsbussar förväntas överstiga 100 år 2020. Många är överens om att den idag höga kostnaden för bränslecellsstackarna innebär att bränsleceller endast kan bli ekonomiskt lönsamt i de större fordonsklasserna (OMEV, 2015 – 2016).

Världens stora biltillverkare har lanserat den första generationen av bränslecellsdrivna personbilar och fler lanseringar har ansetts. Samtidigt börjar en infrastruktur för försörjning och/eller distribution av vätgas långsamt att byggas upp i flera delar av världen. Idag är Kanada, Japan, Sydkorea, Tyskland och USA de länder som kommit längst när det gäller användning av fordon med bränsleceller (Wiberg, 2015). Ett av de största hindren för bränslecellsfordon anses vara distribution av och infrastruktur för vätgas. Projektet Hydrogen Infrastructure for Transport (HIT) arbetar med vätgasinfrastruktur och har som mål att bygga upp vätgastankstationer längs de stora trafikkorridorerna i Europa (HIT-TENT, 2016).

Utöver utvecklingen av bränsleceller på personbilssidan sker även framsteg när det gäller bränslecellsdrift av tyngre fordon. Kalifornien är ett av de geografiska områden i världen där utvecklingen kommit längst. Fram till slutet av 2015 var målet att Kalifornien skulle ha 51 vätgastankstationer och under 2015 har det startats ett nytt projekt med tunga dragbilar och dragtruckar som drivs med vätgas (US Department of Energy, 2014). Förutom de tunga bränslecellsdrivna fordon som testats i Kalifornien är dock utbudet av tunga vätgasfordon begränsat.

Toyota Material Handling har fram till och med år 2015 levererat över 2 000 lätta bränslecellstruckar till kunder i USA. I Sverige installerade Toyota Material Handling inför en demonstration en bränslecells-enhet i en lätt motviktstruck med ett elektriskt drivsystem och med en lyftkapacitet på 3 ton. Trucken demonstrerades under en månad hos Sandvik Materials Technology under hösten 2014 med gott resultat. (Toyota Material Handling, 2015).

US Department of Energy (DOE) anser att bränsleceller är lämpliga för längre körsträckor medan batterier är bättre lämpade för kortare körsträckor. De anser vidare att nischapplikationer är viktiga för bränslecellens kommersialisering. Bert De

Colvenaer, VD på ECSEL JU (Electronic Components and Systems for European Leadership Joint Undertaking) anser att bränsleceller är redo för marknaden, men att frågan är om markanden är redo för bränsleceller. Offentligt stöd behövs för både forskning och marknadsintroduktion (OMEV, 2015 – 2016).

2.2.1 Dragtruckar

Flera demonstrations- och prototypdragtruckar har tagits fram med vätgasdrift samtidigt som det även finns kommersiella truckar med vätgasdrift på marknaden idag. Detta domineras dock av lättare truckar med befintligt elektriskt drivsystem. Nedan presenteras två av de bränslecellsdrivna dragtruckar som demonstrerats (se Tabell 3).

Tabell 3 Dragtruckar med bränslecellsdrift

Tillverkare/Modell	Dragkapacitet (ton)	Bränslecellsleverantör	Övrigt
 (still.co.uk)	25	Hydrogenics	På Hamburgs flygplats testas två bränslecellsdrivna bogserande dragtruckar från Still. Utvecklingen av dessa truckar har baserats på Stills standard eltruck R 07-25. Projektet kallas <i>Hamburg Airport operating with hydrogen (H2)</i> och är tänkt att pågå under två år. Bränslecellsenheten är placerad i truckens batteriutrymme. Bränslecellen är av typ PEM och använder vätgas som bränsle (Still, 2016a).
 (fuelcelltoday.com)	60	Vision Industries	Visions terminaltruck Zero-TT drivs av vätgasbränsleceller och har ett chassi tillverkat av Cargotec i USA och ett drivsystem från Balqon. Dragkapaciteten är 60 ton och elmotoreffekten ligger på 300 kW. Räckvidden på en tank vätgas uppgår till 160 km. Det tar mellan 4 och 7 min att tanka fullt med vätgas (San Pedro Bay Ports, 2013).

2.2.2 Motviktstruckar

Ett flertal trucktillverkare kan leverera bränslecellsdrivna lätta motviktstruckar där batteriet ersätts av en bränslecell. Idag finns exempelvis ca 10 000 bränslecellsdrivna lätta gaffeltruckar i Nordamerika (Ridell & Pohl, 2016). Nedan presenteras ett urval av motviktstruckar med bränsleceller som finns på marknaden idag, alla lätta motviktstruckar med en lyftkapacitet under 5 ton (se Tabell 4).

Tabell 4 Motviktstruckar med bränslecellsdrift

Tillverkare/Modell	Lyftkapacitet (ton)	Bränslecellsleverantör	Övrigt
Toyota (baserad på modell GENE0-B)  (Toyota Industries Corporation, 2015)	2,5	Toyota	Toyotas bränslecellsdrivna motviktstruck är baserad på den elektriska motviktstrucken GENE0-B. Bränslecellssystemet väger 1 kg. Maxeffekten ut är 32 kW och kontinuerlig effekt är 8 kW. Vätgastrycket är 35 MPa och tanken rymmer 1,2 kg vätgas. Med en medeleffekt på 3,5 kW och 55 % effektiv drift kan trucken vara i drift 8 timmar (Toyota Industries Corporation, 2015).
Still RX 60-25 & RX 60-45  (still.de)	2,5/4,5	Hydrogenics och Nuvera	De eldrivna motviktstruckarna RX 60-25 och RX 60-45 har försetts med bränsleceller. Lyftkapaciteten är 2,5 ton respektive 4,5 ton (Still, 2016b).
DanTruck 3000 Power Hydrogen  (fuelcellsworks.com)	2 – 3,5	H2Logic	DanTruck 3000 finns i fyra olika modeller med bränsleceller. Dessa har lyftkapacitet på mellan 2 och 3,5 ton. Motoreffekten är på totalt 20 kW. Vätgastanken är trycksatt till 350 bar och rymmer 1,5 kg vätgas. Drifttiden på en tank är ca 5 – 6 timmar. Maxhastigheten uppgår till 25 km/h (DanTruck, 2016).
Crown FC 4500  (crown.com)	3	Samarbetar med olika bränslecellstillverkare.	2011 levererade Crown 35 truckar från serien FC 4500 till Coca-Cola Bottling Co. Consolidated (Crown, 2011). Truckarna har en lyftkapacitet på upp till 3 ton och en lyfthöjd på 7,9 m. Motoreffekten är på 10 kW (Crown, 2016).

Tillverkare/Modell	Lyftkapacitet (ton)	Bränslecellsleverantör	Övrigt
Linde FC 25 & FC 35 	2,5/3,5	Hydrogenics	2013 levererade Linde Material Handling 5 motviktstruckar av modellerna FC 25 och FC 35 med bränslecellsdrift till BMW i Leipzig. FC 25 och FC 35 har lyftkapacitet på 2,5 respektive 3,5 ton (Linde Material Handling, 2013).
(linde-mh.com)			

2.2.3 Personbilar, lastbilar och bussar

Förutom den pågående utvecklingen av vätgasdrivna truckar och arbetsmaskiner är utvecklingen även under frammarsch på personbils-, lastbils- och bussidan. De flesta stora biltillverkare har redan lanserat eller är på väg att lansera personbilar med vätgasdrift och både lastbilar och bussar med vätgasdrift är på ingång. Nedan följer en översikt över några av de viktigaste fordonstillverkarna när det gäller vätgasfordon samt hur långt de har kommit i framtagnings av vätgasfordon (OMEV, 2015 – 2016) (se Tabell 5). Sammanställningen visar att det redan idag finns personbilar med bränsleceller på marknaden och att flera busstillverkare under de kommande åren planerar att lansera bränslecellsdrivna bussar. En lansering av tunga lastbilar och truckar med bränslecellsdrift verkar dock dröja.

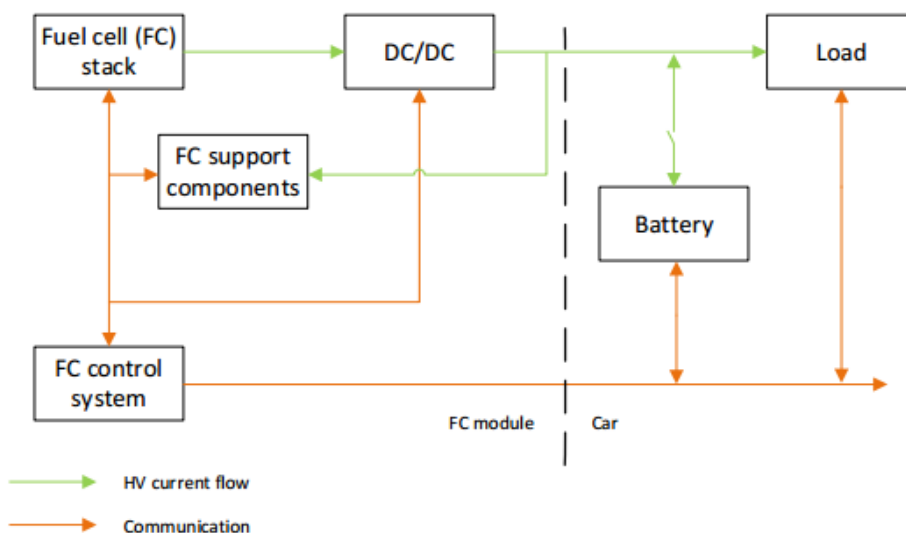
Tabell 5 Status för olika fordonstillverkares produkter och aktiviteter gällande vätgasfordon

Tillverkare	Produkt/aktivitet	Status/prognos
BMW	Demonstrationsprogram för bränslecellsdrivna truckar	Pågår
Daimler	Batterielbuss och bränslecellsbusar	Säljstart 2018
Hyundai	22 fordonmodeller med elektriskt drivsystem varav 2 modeller med bränslecellsdrivsystem	Fram till och med 2020
	Levererat 250 bränslecells-bilar till kunder i Europa	Status slutet av november 2015
Honda	Bränslecells-bilen Clarity Fuel Cell. Försäljningsmålet under första året är 200 enheter. Fordonets räckvidd är 700 km.	Säljstart mars 2016 i Japan och senare under 2016 i USA
	FCX Clarity Fuel Cell som har tillverkats i 72 enheter	Presenterades 2007
KIA	Planerar att producera bränslecells-bilar. Planen är att producera 1 000 enheter per år kring år 2020.	Kring 2020
Solaris	Säljer idag batterielbussar, hybridbussar och bränslecellsbusar. 2014 levererades två batterielbussar med bränsleceller som räckviddsförlängare till Hochbahn i Hamburg	Säljs idag
Toyota	Lexus LF med bränsleceller	Säljstart ca 2020
	Personbilen Toyota Mirai	Säljs sedan 2014
	Enligt Toyotas miljöplan ska de sälja 30 000 bränslecells-bilar per år kring år 2020	Kring 2020

Tillverkare	Produkt/aktivitet	Status/prognos
	Innan OS i Tokyo 2020 ska Toyota ha sålt 100 bränslecellsbusar	Till 2020
	Försäljningsmål på 2 000 bränslecellsbilar	2016
	Försäljningsmål på 3 000 bränslecellsbilar	2017
	Planerar att utveckla bränslecellsdrift för dragtruckar	2019
Van Hool	I EU-projektet 3Emotion Program, som är en del av <i>EU Hydrogen Fuel Cell Joint Undertaking</i> , ska 21 bränslecellsbusar från Van Hool användas. Bränslecellssystemen levereras av Ballard.	Pågår
VDL Bus and Coach	Är intresserade av att ta fram bränslecellsbusar. De har tillsammans med Van Hool, Solaris och två busstillverkare till skrivit på <i>letter of understanding</i> för att sälja 500 – 1 000 bränslecellsbusar under 2017 – 2020 i Europa.	2017 – 2020

2.3 BRÄNSLECELLER FÖR FORDON

I ett bränslecellsfordon som drivs med vätgas omvandlas kemisk energi till elektrisk energi i bränslecellen för att driva en elektrisk motor. Vätgas och syre tillsätts bränslecellen och restprodukten vid den kemiska reaktionen är vatten och värme. Ett bränslecellssystem består huvudsakligen av bränsleceller, ett energilager i form av ett batteri, en DC/DC-omriktare mellan bränslecellen och batteriet samt kontroll- och stödsystem till bränslecellen (se Figur 6). DC/DC- omriktaren kontrollerar energiflödet från bränslecellen till batteriet och skyddar bränslecellen från strömmar från batteriet (Bodén & Hedebjörn, 2015). Utöver detta behövs en bränsletank för vätgasen.



Figur 6 Bränslecellssystem med de huvudsakliga komponenterna (Bodén & Hedebjörn, 2015)

2.3.1 Bränslecellstyper

Det finns flera olika typer av bränsleceller. De materialhanteringsmaskiner, inkluderat truckar, som idag drivs med bränsleceller är i princip uteslutande försedda med bränsleceller av typen PEM eller i undantagsfall DMFC.

PEM

Användning av bränsleceller av typen Proton Exchange Membrane (PEM) medför generellt högre kostnader än vid användning av andra typer av bränsleceller samtidigt som PEM-cellerna har en högre livslängd än andra celltyper. Dessa används därför främst till motviktstruckar inom klass 1 och 2 vilka har ett högt antal drifttimmar per år. PEM drivs med vätgas och är den typ av bränslecell som omfattas av denna rapport. PEM-bränslecellsstackar har en livslängd på ca 24 000 drifttimmar och en systemverkningsgrad på 45 – 59 % (Mayyas et al, 2014).

DMFC

En annan typ av bränslecell som är mindre vanlig bland materialhanteringsmaskiner är Direct Methanol Fuel Cells (DMFC). DMFC är något billigare än PEM men har lägre livslängd varför dessa främst används till klass 3 truckar som har ett lägre antal drifttimmar per år. DMFC har metanol som bränsle (Mayyas et al, 2014). Denna studie har dock avgränsats till bränslecellsdrift med vätgas som bränsle och därför inkluderas inte DMFC i denna studie.

2.3.2 Exempel på bränslecellssystem för materialhantering

Idag finns ett flertal tillverkare som erbjuder bränsleceller för mobila tillämpningar, exempelvis för användning i fordon (se Tabell 6). Ett flertal av de bränslecellssystem för materialhanteringsmaskiner som idag finns på marknaden presenteras nedan. De flesta system är anpassade för lätta motviktstruckar som används vid inomhusdrift på lageranläggningar och har därmed lägre effekt och utspänning än vad som krävs för tyngre applikationer. En tung motviktstruck (16 tons lyftkapacitet) har en medeleffekt på ca 40 kW och en maxeffekt på ca 160 kW. En dragtruck med 60 tons dragkapacitet kan ha en medeleffekt på ca 70 kW och en maxeffekt på ca 240 kW (Treiber et al, 2016). Hydrogenics erbjuder dock bränslecellssystem för medeltunga och tunga fordon med en effekt upp till 198 kW och SymbioFC har bränslecellssystem med en effekt upp till 300 kW.

Tabell 6 Bränslecellssystem för materialhanteringsmaskiner som finns på marknaden idag (2016)

Tillverkare	Produkt	Effekt (kW)	Övrigt
Ballard Power Systems	FCgen-1020ACS	1,5 – 3,6	PEM Spänning: ≤ 70,2 V (FC gen1020ACS), 12,8 – 70,2 V (FC-velocity 9SSL)
	FC-velocity-9SSL	4 – 21	
H2Logic	H2Drive	Ca 10	PEM H2Drive passar i de flesta materialhanteringsmaskiner med en systemspänning på 80 V.
Hydrogenics GmbH	HyPX Power Packs	22 – 30	PEM/hybrid Spänning: 36 – 48 V Levererar även bränslecellssystem till medeltunga och tunga fordon med effekt på 33 – 198 kW HyPX Power Packs väger mellan 1,1 och 1,4 ton.

Tillverkare	Produkt	Effekt (kW)	Övrigt
Nuvera Fuel Cells	Orion-	10 – 30	PEM
	Power-Edge		Spänning: 24 – 80 V Bränslecellssystemen är anpassade för att rymmas i det befintliga batteriutrymmet på elektriska truckar. Dessa system är designade efter eltruckars effekt, vikt och krav. Passar i elektriska motviktstruckar klass 1 – 3 (upp till 5 tons lyftkapacitet). Kapacitet på 0,7 – 2,6 kg vätgas.
Nedstack	XXL Stack	2 – 9,5	PEM
	HP Stack	2 – 10	Spänning: 9 – 73 V Stackarna väger 20 – 40 kg beroende på effekt. Bränslecellssystemen finns i två varianter, High Performance (HP) och XXL. Livslängden uppges vara över 4 500 timmar för HP och över 20 000 timmar för XXL. För materialhantering används XXL.
Oorja Protonics	OorjaPac Model 3	1,5	DMFC Spänning: 24 eller 48 V Oorja Model 3 är anpassad för material-hantering för klass 3 materialhanterings-maskiner. Bränslecellen fungerar som ombordladdare för batteriet. Tanken rymmer 12 l vätgas. Bränslecellsmodulen väger 77 kg.
Plug Power	GenDrive Series 1000	8 – 10	PEM
	GenDrive Series 2000	8 – 10	Spänning: 36 eller 48 V (Series 1000), 24, 36 eller 48 V (Series 2000), 24 V (Series 3000)
	GenDrive Series 3000	2,9 – 4	Plug Power levererar bränslecellslösningar till elektriska truckar för materialhantering, exempelvis motviktstruckar, i klass 1,2 och 3. Lösningarna går att sätta in i befintliga elektriska truckar och maskiner och ersätter blybatterierna. Plug Power är Toyotas leverantör av bränsle-celler till deras motviktstruckar (1,5 – 3,5 ton) och lagertruckar (1 – 2 ton) (Senneryd, 2016). GenDrive Series 3000 väger 270 kg.
PowerCell	S1 Fuel Cell	1 – 5	PEM
	S2 Fuel Cell	5 – 25	Spänning: 5,5 – 57 V (S1), 25 – 250 V (S2) PowerCells bränslecellssystem klarar reformerad vätgas från exempelvis biogas, naturgas biodiesel eller standarddiesel. Användningsområdet är stationära eller telekomlösningar samt för kupévärme, motorvärme och tempererade transporter.
	S3 Fuel Cell	100	S1 Fuel Cell väger 7,9 – 25,1 kg beroende på effekt. S3 är en bränslecellsstacksprototyp för lastbil.
Proton Motor GmbH	HyRange25	25	PEM
	PM400	≤30	Spänning: 35 – 120 V (HyRange25), 52 – 110 V (PM400) Proton Motor GmbH säljer bränslecells-lösningar att kombinera med batterier i redan elektrifierade fordon. HyRange 25 väger 190 kg och PM400 väger 40,5 kg.
SymbioFC	Range Extender	5 – 20	SymbioFC har både bränslecellslösningar för räckviddsförlängning och för full drift.

Tillverkare	Produkt	Effekt (kW)	Övrigt
	Full drive	80 – 300	

2.4 DRIVSYSTEM FÖR BRÄNSLECELLSDRIFT

Dimensioneringen av drivsystemet måste göras utifrån den tänkta körcykeln. Optimering av drivsystemet blir mer komplext än för ett konventionellt dieseldrivsystem eftersom kapaciteten hos ett elektriskt drivsystem beror på samspel och fördelning av effekt mellan batteri, motor och bränslecell respektive energilagringsskapacitet. Batteri och bränslecell måste ha en tillräcklig kapacitet för att kunna förse elmotorerna med tillräcklig energi och effekt. Vid regenerering av bromsenergi måste systemet ha tillräcklig kapacitet för att kunna ta tillvara på energin.

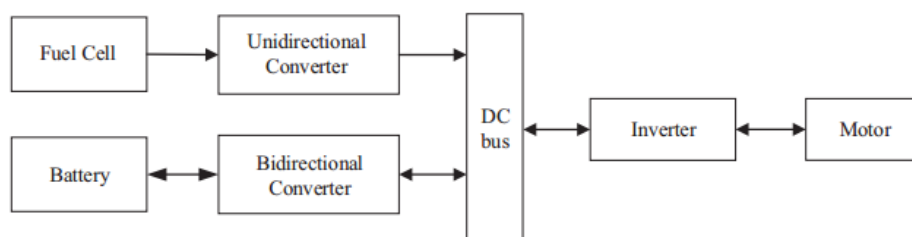
Bränsleceller kan användas tillsammans med batteri i ett hybriddrivsystem, som räckviddsförlängning i ett batterielektriskt fordon eller som ensam energikälla. Nedan presenteras dessa tre alternativ.

2.4.1 Hybriddrift

Genom ett hybriddrivsystem med både bränsleceller och batterier kan energi tas från antingen batteriet eller bränslecellen eller från båda. En hybriddrift med bränsleceller och batterier innebär dock en reducerad batterilivslängd på grund av många i- och urladdningar varför superkondensatorer kan vara ett intressant alternativ till batterier (Sulaiman et al, 2015).

Fördelen med hybriddrift är att batteriet kan ge en hög ström till startmotorn och begränsa lasten så att bränslecellen inledningsvis kan operera vid låg effekt för att sedan öka effekten. Lasten kan fördelas mellan batteriet och bränslecellen. Genom att använda batterier i bränslecellsfordon kan även bromsenergin regenereras.

Ett exempel på kopplingen mellan de olika komponenterna vid hybriddrift visas i Figur 7. En fördel med att endast elmotorn är kopplad till drivhjulen är att drivsystemet blir flexibelt när det gäller placering av drivsystemkomponenterna vilket gör att man kan optimera viktfordelningen på fordonet.



Figur 7 Bränslecells- och batterihibridelektriskt fordon (FCHEV) (Sulaiman et al, 2015)

2.4.2 Räckviddsförlängning

Bränsleceller används idag i en del eldrivna fordon som räckviddsförlängare. En räckviddsförlängare är en extra elektrisk energikälla som levererar lägre effekt än den huvudsakliga energikällan och ökar elfordonets räckvidd. Genom att förse ett batterielektriskt fordon med en bränslecell förbättras även fordonets funktion vid låga temperaturer. En räckviddsförlängare behöver inte heller ha samma korta responstid

på lastförändringar som huvudsystemet. Med bränsleceller som räckviddsförlängare krävs ett bra kontrollsystem för bränslecellen (Walters et al, 2015).

2.4.3 Ren bränslecellsdrift

Ett drivsystem med endast bränsleceller innebär ofta långsamma dynamiska egenskaper, främst på grund av kompressorn. Med endast bränslecellsdrift blir även starttiden lång på grund av att det tar tid att få upp temperaturen i bränslecellen. Det är därför rekommenderat att kombinera bränsleceller med någon typ av energilager för att undvika dessa problem. En kombination av bränsleceller och ett energilager ökar bränslecellens hållbarhet och tillförlitlighet. Med ett energilager kan även bromsenergin tas tillvara. Med ren bränslecellsdrift måste bränslecellssystemet dimensioneras för det maximala effektbehovet. Bränslecellssystemet kan skalas ner om hybriddrift istället tillämpas (Liu et al, 2011).

2.5 UPPSKALNING AV BEFINTLIG TEKNIK

För att ett fordon ska kunna drivas av bränsleceller krävs det att fordonet har ett elektriskt drivsystem. Elektriska drivsystem finns idag tillgängliga på marknaden för motviktstruckar med en lyftkapacitet på upp till 9 – 12 ton. Bland tyngre truckar dominerar dieseldrift och inga befintliga helektriska drivsystem för tunga tillämpningar, som enkelt kan omvandlas för vätgasdrift genom att de kompletteras med bränslecellsenheter, finns idag tillgängliga på marknaden.

Idag använder batteri- och hybridbilar (personbilar) en systemspänning på 400 V, medan en bränslecell vanligen har en utspänning på 100 – 300 V för en stack med en effekt på upp till 30 kW. För stack med en effekt upp till 100 kW är utspänningen kring 200 – 450 V. Ett internt styrsystem måste därför reglera in- och utgående ström och spänning. Tyngre vägfordon (lastbilar) har en systemspänning kring 600 V vilket innebär att ett fordon med ett bränslecellssystem kräver en spänningsomvandlare för att den elektriska energin ska kunna användas för att ladda batterier eller driva en elmotor. Den utgående spänningen från DC/DC-omvandlaren måste därmed anpassas efter tillämpningens systemspänning (Bodén & Hedebjörn, 2015).

Om en befintlig dieseldriven truck eller arbetsmaskin ska konverteras till eldrift begränsas möjligheterna till detta av dess utformning och yttre dimensioner. Utrymme för batterier och bränsleceller kan vara svårt att hitta inom befintliga utrymmen på arbetsmaskiner eller truckar. En fördel med ett elektriskt drivsystem är däremot att elektriska kablar är mer flexibla i dragningen än vad mekaniska eller hydrauliska komponenter är. Ett elektriskt drivsystem ger även möjligheten att placera motorerna i hjulaxlarna eller i hjulnaven. Med hjulmotorer kan varje hjul styras individuellt vilket ger bättre styr- och manövreringsegenskaper. Med elsystem istället för hydrauliska system kan även svarstiden bli kortare. Genom att använda elektriska drivsystem med elmotorer erhålls även en snabb acceleration (Larsson, 2012).

För truckar och maskiner med motvikter kan vikten från batterier och bränsleceller utgöra en del av motvikten. Detta innebär att extra vikt från komponenter inte behöver vara en nackdel för dessa typer av truckar och maskiner, exempelvis motviktstruckar och bogserande truckar. För andra fordon som inte har behov av motvikt kan den extra vikten från batterier och bränsleceller reducera möjlig lastvikt.

För truckar och arbetsmaskiner som har ett stort antal drifttimmar per år ställs högre krav på bränslecellens och andra komponenters livslängd jämfört med fordon och

truckar som har betydligt färre antal drifttimmar per år. Detta kan innebära ett hinder för implementering av bränslecellsdrift på tunga truckar och maskiner eftersom det i dagsläget är svårt att ge en bra uppskattning på batteriers och bränslecellers livslängd.

3 Vätgasgenerering

För att truckar och andra fordon och arbetsmaskiner ska kunna drivas med bränsleceller krävs det att vätgas finns tillgänglig. Vätgasen kan framställas där den ska användas, det vill säga vid de industrier som använder truckar och arbetsmaskiner i sin verksamhet, för att undvika kostnads- och energikrävande transporter av gasen.

3.1 FRAMSTÄLLNING AV VÄTGAS

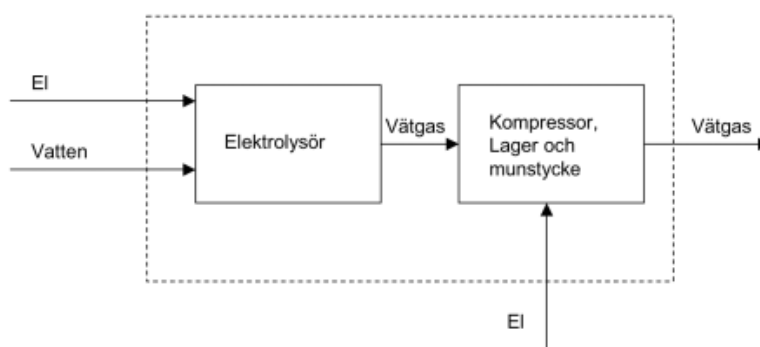
Vätgas framställs främst genom reformering eller elektrolys, men kan även framställas från biomassa genom att först röta eller förgasa biomassan och sedan reformera och rena gasen (se Tabell 7) (Saxe, 2012).

Tabell 7 Metoder för framställning av vätgas från olika energikällor

Energikälla	Metod för framställning av vätgas
Förnyelsebar elektricitet	Elektrolys
Kärnkraft	
Biomassa inklusive avfall	Rötning + reformering + gasrening
	Förgasning + reformering + gasrening
Naturgas	Reformering + gasrening

3.1.1 Elektrolys

Vätgas kan framställas genom elektrolys av vatten (se Figur 8). I elektrolysören spjälkas vattenmolekylerna upp till vätgas och syrgas. Vätgasen leds sedan via en gasvätskeavskiljare till en gasklocka och därefter vidare till en vattenringpump där vätgasens tryck höjs. Vätgasen renas slutligen från eventuella syrerester och komprimeras ytterligare (Air Liquide Gas AB, 2016).



Figur 8. Principbild för vätgasframställning genom elektrolys (Karlström & Andersson, 2007)

Genom framställning av vätgas genom elektrolys kan mängden producerad vätgas enkelt regleras genom att variera mängden el. Elektrolys är en lämplig metod för produktion av vätgas i liten skala (Andersson R, 2016). Idag ligger verkningsgraden för en elektrolysör på ca 60 – 80 % (Elforsk, 2016, Byman et al, 2013).

Inom industrier där stora mängder av överskottsvärme uppstår kan detta överskott utnyttjas för att generera el som i sin tur kan användas till att producera vätgas. Ett annat alternativ är att använda el från förnybara intermittenta energikällor för framställning av vätgas genom elektrolys.

Produktion av el från restgaser

Restgaserna kan förbrännas och användas för produktion av el och värme. Gasen kan exempelvis förbrännas i en gasmotor förutsatt att gasen innehåller tillräckligt mycket energi för att kunna upprätthålla oxidationen. Verkningsgraden för en gasmotor ligger kring 35 – 40 % för produktion av el om naturgas används som bränsle. Systemets totala verkningsgrad blir betydligt högre om även värmen används. En mikrogasturbin (30 – 4 000 kW el) kan även användas för att producera el från restgaser. Elverkningsgraden ligger kring 30 – 35 % (TUW & Energiepark Bruck an der Leitha, 2012).

3.1.2 Reformering

Vätgas kan framställas från biogas eller naturgas genom ångreforming. Detta innebär att högtempererad ånga används för att producera kolmonoxid och vätgas. Därefter följer en process där kolmonoxiden reagerar med vattenånga och bildar koldioxid och vätgas. Slutligen renas vätgasen från koldioxiden och andra föroreningar (Energy.gov, 2016). Verkningsgraden för ångreforming uppgår till 75 – 82 % (Maack, 2008).

Vätgasframställning från biogas eller naturgas genom reformering är generellt en kostnadseffektivare metod jämfört med elektrolys. Dock måste gasen renas innan den kan användas i PEM-bränsleceller vilket innebär att ett dyrt reningssteg tillkommer i processen. Om vätgasen ska användas i PEM-bränsleceller krävs därför stora volymer för att få lönsamhet i denna framställningsmetod. Vid reformering kan produktionshastigheten inte regleras lika lätt som med elektrolys (Andersson R, 2016).

3.2 RENING

Om vätgasen innehåller för höga halter av föroreningar kan detta skada bränslecellen och förkorta bränslecellens livslängd. Därför är det viktigt att en tillräckligt ren vätgas används. Vid vätgasframställning från industriens restgaser krävs det att vätgasen separeras från andra gaser och renas. Innehåller restgaserna många olika ämnen blir reningen kostsam (Andersson R, 2016).

PEM bränsleceller har höga krav på vätgasens renhet eftersom katalysatorn innehåller platina som är känslig mot föroreningar i vätgasen. Detta medför att vätgasen måste nästintill vara fri från svavel, klor, kolväten, koldioxid och kolmonoxid. Beroende på gasens ursprung kan olika föroreningar förekomma (MKS, 2013).

Pressure Swing Adsorption (PSA) används vanligen för att utvinna vätgas från naturgas. Vätgas som innehåller en för hög halt föroreningar kan renas med samma metod för att uppnå en tillräckligt hög vätgaskvalitet (UOP, 2016).

Renhetsnormerna för vätgas är relativt hårda, kring 99,95 % ren vätgas (Basi et al, 2014). Riktlinjerna för maximal halt anges i ISO 14687 – 2:2012 och framgår av Appendix A.

3.3 KARTLÄGGNING AV ÖVERSKOTTSENERGI FRÅN PROCESSINDUSTRIER

Processindustrier, som ofta använder många och energikrävande tunga truckar och arbetsmaskiner i sin verksamhet, har ofta även stora mängder överskottsenergi från produktionsprocesserna. En kartläggning av processindustriernas överskottsenergi och restgaser har genomförts för att undersöka möjligheter att producera vätgas lokalt för drivning av truckar, arbetsmaskiner och andra fordon inom anläggningen. En sammanställning av kartläggningen över processindustriernas årliga energiöverskott redovisas i Tabell 8.

Tabell 8 Sammanställning över den årliga överskottsenergin vid stora svenska industrianläggningar

Industrianläggning	Tillgänglig överskottsenergi
SSAB Luleå	Totalt 319 GWh restgaser (varav 35 GWh vätgas) som idag facklas.
SSAB Borlänge	Elektrolysören i en befintlig anläggning för vätgasframställning har en överkapacitet vilket kan ge 3,3 GWh vätgas per år.
SSAB Oxelösund	Totalt 239 GWh restgaser (varav 27 GWh vätgas) som idag facklas.
Iggesunds Bruk och Skärnäs Hamn	Idag går all överskottsenergi till fjärrvärme- eller elnätet eller används inom anläggningen. Idag produceras ca 0,3 TWh el inom anläggningen och målet är att bli självförsörjande på el.
Ovako Hofors	Har inga restgaser eller överskottsenergi från processerna.
Ovako Smedjebacken	Har inga restgaser eller överskottsenergi från processerna.
Uddeholms AB	Har idag ingen tillgänglig överskottsenergi som kan användas till vätgasframställning.
Sandvik AB	Idag har Sandvik en avtalad mängd vätgas till en tankstation för främst vägfordon (personbilar) på 400 000 Nm ³ vätgas per år.
Outokumpu Stainless AB	Outokumpu har tre stora överskottsenergiflöden främst i form av restgaser från: Konvertern i stålverket: 50 GWh varav inget tas tillvara Stegbalksug i varmvalsverket: 45 GWh varav 30 GWh ej tas tillvara Glödningsugnar i glödnings- och betningslinjen: 8 GWh varav 5 GWh som ej tas tillvara

Mängden överskottsenergi samt hur och hur stora andelar som tas tillvara beskrivs mer utförligt för respektive anläggning nedan.

3.3.1 SSAB

SSAB producerar höghållfasta stål och har tre produktionsanläggningar i Sverige: Luleå, Borlänge och Oxelösund. Vid SSABs anläggning i Luleå sker tillverkning av stålämnen samt tillverkning av koks och råjärn, stålframställning samt stränggjutning. Produkterna skickas sedan vidare till andra anläggningar, främst till SSAB i Borlänge, för vidare förädling. SSABs anläggning i Borlänge är SSABs största tunnplåtsvalsverk och framställer varmvalsat och kallvalsat höghållfast stål. Vid SSABs anläggning i Oxelösund tillverkas slitstål, höghållfast konstruktionsstål, skyddsplåt och maskin- och verktygsstål. Två av de totalt tre masugnar som finns i Sverige finns vid SSABs anläggning i Oxelösund. Delprocesserna i plåttillverkningen utgörs av kokstillverkning, råstålstillverkning, färsknig (stålframställning), stränggjutning, valsning och härdning.

Vid anläggningarna genereras främst tre olika restgaser; masugnsgas, koksugnsgas och LD-gas. För data över de olika gaserna, se Appendix B. Dessa restgaser innehåller olika

mängder vätgas (se Tabell 9). Gaserna kan därmed teoretiskt sätt renas till ren vätgas, men rening medför stora kostnader.

Tabell 9 Vätgasinnehåll och värmevärde för olika gaser (Hirsch, 2016)

	Vätgasinnehåll (vol %)	Värmevärde (MJ/Nm ³)
Koksgas (COG)	65	17,3
LD gas (BOFG)	4,5	8
Masugns gas (BFG)	3	2,96

Mängden tillgänglig gas beror på om restgasen tas till vara inom andra processer eller om all restgas kan tas till vara för produktion av vätgas i den mån detta är möjligt. Idag tas exempelvis all restgas omhand vid anläggningen i Oxelösund bortsett från LD-gasen eftersom det idag saknas utrustning för att samla upp och distribuera denna. Detta innebär att all LD-gas facklas. En anskaffning av utrustning för att kunna ta till vara på LD-gasen skulle uppskattningsvis innebära en investering på minst 400 miljoner kr (Pettersson, 2016).

Mängden tillgänglig gas påverkas även bland annat av driftläget. Under 2014 facklades följande mängder gas vid SSABs anläggningar i Luleå och Oxelösund (se Tabell 10) (Hirsch, 2016).

Tabell 10 Mängd (GWh) facklad gas under 2014 vid SSABs anläggningar i Luleå och Oxelösund (Hirsch, 2016)

Anläggning	Koksugns gas (GWh)	LD-gas (GWh)	Masugns gas (GWh)	Totalt (GWh)
Luleå	14	81	224	319
Oxelösund	31	156	53	239

Restgaserna vid SSAB i Luleå och Oxelösund produceras intermitterande vilket är en orsak till att de idag facklas (bränns). För att tillvarata denna gas krävs nya investeringar. I Borlänge har de en elektrolysör som används för att producera vätgas till ståltillverkningsprocesserna. Elektrolysören har en överkapacitet vilket gör att mängden producerad vätgas kan regleras. Överkapaciteten för elektrolysören är 1,1 MNm³ vätgas per år. Borlänge har därmed ren vätgas att tillgå, medan det i Luleå och Oxelösund krävs rening av gaser från processerna (Hirsch, 2016).

Mängden ekvivalent energi i form av vätgas i de olika restgaserna samt tillgänglig överskottsproduktion av vätgas från elektrolysören i Borlänge visas i Tabell 11.

Tabell 11 Överskott av vätgas (GWh) vid SSABs anläggningar (Hirsch, 2016)

	Mängd vätgas i processgaserna (GWh)			Vätgas från elektrolys (GWh)	Totalt (GWh)
	Koksugns gas	LD-gas	Masugns gas		
Luleå	5,8	4,9	24,3	-	35,0
Borlänge	-	-	-	3,3	3,3
Oxelösund	12,3	9,4	5,7	-	27,4

3.3.2 Iggesunds Bruk

Igesunds Bruk är en ledande papperstillverkare som satsat stort på energiåtervinning inom tillverkningsprocesserna. Överskottsvärmen levereras till det kommunala

fjärrvärmenätet. 2012 sattes en ny sodapanna och turbin i drift vilket i stor omfattning minskade behovet av inköpt el (Holmen, 2016).

Vintertid säljer Iggesunds Bruk el till nätet om priset är tillräckligt bra medan de under sommaren köper in el eftersom elen då är billigare. Elproduktionen är biooljebaserad vilket innebär att ersättningen måste vara relativt hög för att Iggesund ska exportera elen ut till stamnätet. I framtiden, vid installation av en ny bark/flispanna kan det dock vara möjligt att Iggesunds Bruk blir helt självförsörjande på el och eventuellt även har möjlighet att exportera el under kortare perioder vintertid. Det krävs dock att ersättningen för elen som matas ut på nätet minst täcker bränslekostnaden inklusive turbin- och pannverkningsgraderna. Möjligheten till att exportera el finns endast vintertid eftersom utrymmet att generera el är kopplad till processens ångförbrukning vilken är högre vintertid. Idag förbrukar Iggesunds Bruk årligen ca 0,45 TWh varav de själva producerar 0,3 TWh. Iggesunds Bruk har även en egen gaspanna som genererar ångkraft till fabriken. Gaser bränns även i mesaugnen (roterugn som används inom massaindustrin). Detta innebär att alla gaser tas tillvara och att ingen fackling sker (Larsson, 2016 & Valeur, 2016).

3.3.3 Ovako

Ovako tillverkar komponentstål till kullager-, transport- och tillverkningsindustrin. Ovako har två stålverk i Sverige: i Hofors och i Smedjebacken.

Ovako Hofors har ett skrotbaserat elektrostålverk och tillverkar stänger, rör, rörkomponenter och ringar. Ovako Smedjebacken tillverkar långa stålprodukter. Anläggningen vid Smedjebacken har både ett skrotbaserat elektrostålverk och ett mediumvalsverk. I processerna uppstår emellertid inga restgaser (Asp, 2016).

3.3.4 Uddeholms AB

Vid Uddeholms anläggningar framställs stål från skrot genom användning av 4 huvudprocesser; ljusbågsugn, skänkugn, stiggjutning och slutligen smidning/valsning och värmebehandling.

Idag tas majoriteten av överskottsenergin vid Uddeholm inte till vara. Detta beror på nya brännarsystem som gör att det inte finns någon överskottsvärme att tillgå i rökgaserna eftersom värmeväxlingen sker vid brännarna. Andra restvärmeflöden utgörs av kylvattnet. Detta har dock endast en temperatur på ca 40 °C.

Överskottsenergin från rökgaser från ljusbågsugnen kommer att tas till vara efter år 2017 då ombyggnation av systemet sker. Värmen kommer då att användas till förvärmning och uppvärmning. Detta innebär att Uddeholm inte har någon överskottsenergi som inte tillvaratas och som därmed skulle kunna användas för framställning av vätgas (Ahlqvist, 2016).

3.3.5 Sandvik Materials Technology

Sandvik Materials Technology i Sandviken utvecklar och tillverkar produkter i rostfritt stål och speciallegeringar. Ett av områdena är bränslecellsmaterial där Sandvik utvecklar en process för tillverkning av ytbelagda specialstål för bipolära plattor i bränslecellsstackar (Ny Teknik, 2014).

Tillsammans med Sandvikens Kommun och AGA Gas ska Sandvik Materials Technology etablera en vätgastankstation i Sandviken. Tankstationen beräknas vara i

drift i oktober 2016 (Vätgas Sverige, 2016b). Tankstationen är utformad för vätgastankning av vägfordon (personbilar och bussar) vilket innebär att tankning sker vid ett högre tryck än vad som behövs för truckar. Idag har Sandvik en avtalad mängd vätgas till tankstationen på 400 000 Nm³ per år som produceras från Sandviks befintliga elektrolysör som även används för att producera vätgas till Sandviks tillverkningsprocesser (Roos, 2016).

3.3.6 Outokumpu Stainless AB

I Avesta finns Outokumpu Stainless ABs stålverk. En stor del av restgaserna används för att producera värme som säljs till fjärrvärmenätet. Ett hinder för att utnyttja mer spillvärme från stålverket är att baslasten i Avesta fjärrvärmenät täcks med avfallsförbränning (Cornholm et al, 2009).

I Avesta har Outokumpu stora mängder restenergi som inte tas tillvara, både rökgaser och varmvatten från flera olika processer (Ruist, 2016).

Tre av de större restvärmeflödena är restvärme från konvertern i stålverket, stegbalksugnen i varmvalsverket samt från glödgningsugnarna i glödgnings- och betningslinjen. Nedan framgår ungefärliga värden på restvärmeflöden. Dessa är dock i stor omfattning beroende av variationer i produktionen (Bengtsson, 2016):

- **Konvertern i stålverket:** Detta är en batch-process. Maxeffekten på rökgasvärmen är ca 27 MW och med en medeleffekt på ca 10 MW. Totalt avges 50 GWh energi per år från rökgaserna. Temperaturen innan kylning ligger kring 1 800 och 2 000 °C.
- **Stegbalksugn i varmvalsverket:** Detta är en kontinuerlig process där överskottsenergi avges både i form av avgaser och vatten. Avgaserna har en maxeffekt på över 7,3 MW och en medeleffekt på 3 MW. Temperaturen på avgaserna efter rekuperativa brännare och rekuperatorer är 400 – 500 °C. Vattnet från balkkylningen har en maxeffekt på ca 4 MW och en medeleffekt på ca 3 MW. Temperaturen på vattnet ligger kring 100 – 110 °C. Totalt ger detta 45 GWh överskottsenergi per år.
- **Glödgningsugnar i glödgnings- och betningslinjen:** Detta är en kontinuerlig process. Maxeffekten på rökgasvärmen är ca 3 MW och medeleffekten är ca 0,9 MW. Medeltemperaturen på rökgaserna är 750 °C och maxtemperaturen är ca 1 150 °C. Rökgaserna ger en överskottsenergi på ca 8 GWh per år.

Ingen överskottsvärme från konvertern i stålverket tas tillvara idag. Värmen från stegbalksugnen utnyttjas idag till fjärrvärmeproduktion under vinterhalvåret, men under sommarhalvåret fås ett energiöverskott. Under ett år ligger det totala överskottet från stegbalksugnen på 30 GWh, det vill säga ca 15 GWh av överskottsvärmen från ugnen går till fjärrvärmeproduktion. Värmen från glödgningsugnarna utnyttjas idag till ångproduktion för att finfördela förbränningsolja. Beroende på produktiviteten uppstår ett överskott av ånga. Under ett år blir detta överskott ca 5 GWh (Bengtsson, 2016).

Nettoöverskottet från dessa tre processer efter att delar av energin har tagits tillvara för fjärrvärme- eller ångproduktion redovisas i Tabell 12.

Tabell 12 Överskottsenergi från tre av de större restvärmeflödena från produktion vid Outokumpu i Avesta (Bengtsson, 2016)

Process	Totalt årligt överskott (GWh)	Årligt nettoöverskott (GWh)
Konvertern i stålverket	50	50
Stegbalksugn i varmvalsverket	45	30
Glödningsugnar i glödnings- och betningslinjen	8	5
Totalt	103	85

4 Intervjuundersökning

Förutom möjligheterna att framställa vätgas vid processindustriplanläggningarna krävs kunskap och intresse hos industrierna samt intresse från trucktillverkarna att leverera truckar med bränsleceller för att en övergång till bränslecellsdrift ska vara möjlig. Genom intervjuer per telefon och mailkontakter med respondenter från truckanvändare, trucktillverkare, en gasleverantör samt intresseorganisationer under perioden april – augusti 2016 har dessa aktörers kunskap och intresse inom området bränsleceller och vätgas sammanställts. Intervjufrågorna redovisas i Appendix C.

4.1 TRUCKANVÄNDARE

Inom detta avsnitt, benämnt truckanvändare, har ett flertal representanter för stora processindustrier som använder tunga truckar och arbetsmaskiner kontaktats angående pågående aktiviteter inom området bränsleceller och vätgas, vilka för- och nackdelar de ser med bränslecellsdrift av truckar och fordon, för vilka fordon och maskiner som de anser bränsleceller vara intressant samt hur de ser på framtiden för bränslecellsdrift.

4.1.1 SSAB

SSAB, LKAB och Vattenfall ska genomföra en förstudie under 2016-2017 gällande en ny teknik för stålframställning där det kol eller den naturgas som idag används ersätts med vätgas. Syftet är att vätgasen ska framställas från förnybar el genom elektrolys. Efter avslutad förstudie är tanken att en pilotanläggning tas fram och testas under 2018 – 2024 och därefter kommer ett större demonstrationsprojekt att genomföras under 2025 – 2035 (Vätgas Sverige, 2016a).

Luleå

SSAB i Luleå har ett stort intresse av bränslecellsdrivna tunga truckar. Utöver detta har de även undersökt vätgas som additiv i förbränningsmotorer. SSAB i Luleå ser många fördelar med vätgasdrivna bränsleceller för fordonsdrift, främst att det är ett hållbart alternativ. Nackdelen är att tekniken idag inte finns tillgänglig för tyngre maskiner och att detta inledningsvis medför mindre effektiva maskiner till en högre ekonomisk kostnad men att detta på sikt kommer att jämnas ut sig (Niva, 2016).

Bränslecellsdrift anses vara aktuellt för alla fordon som idag har förbränningsmotorer eller stora batterielektriska maskiner. SSAB i Luleå ser mycket ljus på framtiden för vätgas och bränsleceller för truck- och fordonstillämpningar inom verksamheten. Företagets strategi tar stöd för bränslecellssatsning samtidigt som de har tillgång till vätgas inom de egna produktionsprocesserna. SSAB i Luleå ser inga områden där de idag använder fossila förbränningsmotorer där bränsleceller och vätgas inte skulle kunna användas (Niva, 2016).

Borlänge

Vid SSAB i Borlänge pågår det i dagsläget inga aktiviteter inom området bränsleceller och vätgas, bortsett från medverkan i denna studie. De fördelar som de ser med bränslecellsdrift istället för dagens dieseldrift är följande (Haglund, 2016):

- Minskade utsläpp till luft och en reducerad miljöpåverkan.

- Sänkta bullernivåer både i och utanför fordonen.
- Minskade vibrationer för förarna.
- Minskade risker för oljespill till den yttre miljön. Den totala volymen av smörjoljor i trucken minskas med mellan 100 – 200 l per truck jämfört med ett traditionellt drivsystem.
- Lägre driftskostnader.
- Färre restprodukter efter utförd intervallbaserad service i form av bland annat spilloljor.
- SSAB vill föregå med gott exempel. Förhoppningsvis tar andra brukare av tunga fordon och truckar efter SSAB.

Att bränsleceller för tunga truckar är ett obeprövat område ur ett tekniskt perspektiv samt att det innebär höga investeringskostnader, särskilt i inledningsskedet, ses som nackdelar (Haglund, 2016).

SSAB i Borlänge är främst intresserade av bränslecelldrift av dragtruckar och motviktstruckar med en lyftkapacitet på minst 16 ton. De anser att vätgas och bränsleceller för truck- och fordonstillämpningar är oerhört intressant och spännande och ser möjligheter till stora yttre miljö- och arbetsmiljövinster. Som ett alternativ till fossila bränslen för tunga truckar och arbetsmaskiner kan bränsleceller vara en framtida möjlighet (Haglund, 2016).

Oxelösund

SSAB i Oxelösund bedriver idag inga andra aktiviteter inom området bränsleceller och vätgas bortsett från medverkan i denna studie. De fördelar som de ser med bränslecelldrift av truckar och fordon inom verksamheten är följande (Hård, 2016):

- Möjlighet till egenproducerat fossilfritt bränsle genom egen vätgasframställning (vätgasfabrik).
- Arbetsmiljövinster genom minskade vibrationer, ljudnivåer och ökad komfort för förarna.
- Yttre miljövinster i form av reduktion av utsläpp av koldioxid och NO_x samt minskat oljeläckage och färre restprodukter så som spilloljor och filter.
- Lägre underhållskostnader tack vare färre rörliga komponenter i det elektriska drivsystemet.
- Lägre samantagna driftskostnader jämfört med dieseldrift.
- Samarbeten inom närområdet genom att kommunala sopbilar, bussar med mera kan drivas med vätgas från SSABs vätgasfabrik.
- Sverige kan bli världsunikt genom ståltillverkning utan kol – inklusive interna transporter utan fossila bränslen.
- Ger ett stort bidrag till SSABs vision om *”En starkare, lättare och mer hållbar värld.”*
- Motiverar truck- och fordonstillverkare att utveckla bränslecellsdrifter

Nackdelarna med bränslecellsdrift anses främst vara att det är en obeprövad teknik samt att den initialt medför höga investeringskostnader (Hård, 2016).

De fordon och maskiner som SSAB i Oxelösund främst är intresserade av att utrusta för bränslecellsdrift är dragtruckar, motviktstruckar och lok, men på sikt är detta av intresse för samtliga SSABs fordon. SSAB i Oxelösund ser bränslecellsdrift för truck- och fordonstillämpningar som en bra framtida lösning för en energieffektivisering av verksamheten eftersom detta innefattar ett tillvaratagande av överskottsenergi i processerna genom tillverkning av vätgas för drift av fordon, truckar och materialhanteringsmaskiner. För att kunna uppnå målet med en fossilfri fordonsflotta om 10 år krävs det att förändringsarbetet startar nu (Hård, 2016).

4.1.2 Uddeholms AB

Uddeholms FoU-avdelning håller sig löpande uppdaterade kring användningen av bränsleceller. Detta för att se om de kan hitta affärer för deras produktion. Om detta kan lösas med egen produktion av vätgas ser de bara fördelar med truckar som drivs med bränsleceller. De anser vidare att bränsleceller är av intresse för samtliga truckar, fordon och maskiner. Ett särskilt intresse föreligger emellertid för lösningar för deras mindre truckar under 9 ton som främst körs inomhus. Eftersom allt i slutändan handlar om pengar bör de miljömässiga vinsterna prissättas och staten bör till en början hjälpa till med att få igång och motivera en övergång till bränslecellsdrift (Eriksson, 2016).

Uddeholms anser att det är av intresse att använda spillenergi för att producera el som sedan genom elektrolys kan användas för att framställa vätgas, men det bedöms dock inte vara aktuellt för verksamheten eftersom det inte finns några betydande mängder överskottsenergi att utnyttja för detta. Uddeholms använder även naturgas (LNG) vilken kan användas till framställning av vätgas genom ångreforming. Det bedöms dock vara bättre att anpassa truckarna för direkt drift med LNG (Ahlqvist, 2016).

4.1.3 Iggesunds Bruk och Skärnäs Hamn

Iggesunds Bruk och Skärnäs Hamn använder ett flertal truckar och arbetsmaskiner som i framtiden kan drivas med bränsleceller (se Appendix D). Vid Iggesunds bruk och Strömsbruk finns även små truckar under 8 tons lyftkapacitet som ej är listade här. Detta visar att det finns ett stort intresse för vätgasdrift av truckar och arbetsmaskiner som används vid anläggningarna. En uppfattning är vidare att batteri- och bränslecellsteknik hör framtiden till (Larsson, 2016).

Idag bedriver Iggesunds Bruk och Skärnäs Hamn inga aktiviteter inom området bränsleceller och vätgas utöver medverkan i denna förstudie. Fördelarna med bränslecellsdrift är bättre miljö och på längre sikt lägre kostnader. Nackdelarna som de ser med bränslecellsdrift är högre investeringskostnader. De anser vidare att bränslecellsdrift är intressant för fordon, maskiner och truckar med över 8 tons kapacitet. Iggesunds bruk och Skärnäs Hamn tror att bränsleceller på något sätt hör framtiden till, men är osäkra kring hur stor omfattningen kommer att bli (Larsson, 2016).

4.1.4 Sandvik Materials Technology

Idag har Sandvik Materials Technology i Sandviken huvudsakligen två pågående aktiviteter gällande bränsleceller och vätgas. Den ena är inom bränslecellsteknologi med produktion av bipolära plattor till bränslecellsstackar. Den andra aktiviteten är byggandet av en tankstation för vätgas som sker i samarbete med Sandvikens kommun och AGA Gas. Tankstationen ska dock ligga utanför Sandviks område. Från början var

tanken att Sandvik även skulle kunna tanka sina truckar med vätgas, men det ansågs sedan vara en dålig kompromiss för båda parter. Dessutom saknas det idag bränslecellsdrivna truckar på marknaden som är i den viktklass som är lämpade för Sandviks verksamhet (Roos, 2016). Sandvik försörjer tankstationen från sin befintliga elektrolysör och transporterar gasen genom en ledning direkt till tankstationen.

Däremot planerar Sandvik att byta ut en del av deras hyrbilsflotta till bränslecellsdrivna fordon. Ungefär 55 – 60 % av de uthyrda bilarna körs sträckor kortare än 400 km vilket därmed med marginal är inom räckvidden för en full tank vätgas. Dessutom sker ett samarbete med kommunen för att bygga ut ett nätverk av lokala användare för att öka vätgasens avtryck i samhällsbilden. Tankstationen förväntas ha en hög tillgänglighet och de nya bränslecellsdrivna fordonen förväntas kunna användas på samma sätt som de med konventionell drift (Roos, 2016).

Om det varit möjligt att köpa tyngre truckar med bränslecellsdrift hade Sandvik sett en stor potential i att kunna utnyttja bränslecellsdrivna truckar i större utsträckning. Med bränslecellsdrift skulle det vara möjligt att köra truckarna inomhus i större utsträckning för att kunna lasta och lossa på de mest logistiskt optimala platserna. Idag sker lastning och lossning oftast direkt innanför portarna i produktionsanläggningens lokaler. Truckarna går dessutom ofta på tomgång vilket med bränslecellsdrift skulle ge en bättre bränsleekonomi än idag (Roos, 2016).

Sandvik anser att bränsleceller främst är intressant för personbilar, minivans och tyngre truckar (6-25 ton). På sikt förväntar sig Sandvik att kunna byta ut allt fler fordon mot fordon med bränslecellsdrift. När tunga truckar med bränslecellsdrift finns på marknaden är även detta av intresse. Då tankstationen i Sandviken öppnar hösten 2016 är Sandvik intresserade och beredda att vara värd för demonstrationsprojekt kring vätgasdrift för tyngre truckar (Roos, 2016).

4.1.5 Oxelösunds Hamn

Oxelösunds Hamn anser att bränslecellsdrift av truckar och maskiner är ett intressant alternativ som de gärna är med och hjälper till att utreda för att komma fram till en kommersiell lösning (Zetterlund, 2016).

Oxelösunds Hamn har en tung fordonsflotta som rör sig flexibelt mellan olika hamnuppdrag. Därför är elanslutning inte möjlig och energitätheten i konventionella batterier bedöms vara för låg för att Oxelösunds Hamn ska bli fossiloberoende. De opererar ett tiotal tunga hjullastare i samband med fartygslossning/lastning, samt vid terminalytor. Dessa samt containertruckar och terminaltraktorer/dragare ses som intressanta att förse med bränsleceller (Zetterlund, 2016).

4.2 TRUCK- OCH FORDONSTILLVERKARE

Inom avsnittet truck- och fordonstillverkare har olika tillverkare av lätta och tunga truckar och arbetsmaskiner kontaktats. Detta angående pågående forskning och/eller utveckling inom området bränsleceller och vätgas, vilka för- och nackdelar de ser med bränslecellsdrift och vad som är de största hindren för framtagning och lansering av fordon, truckar och arbetsmaskiner med bränslecellsdrift. De har även tillfrågats om vad de ser som de mest lämpliga tillämpningarna för bränsleceller, om de idag kan leverera truckar, fordon eller arbetsmaskiner med bränsleceller samt hur de ser på framtiden för bränsleceller för olika mobila tillämpningar.

4.2.1 Kalmar

Kalmar erbjuder lösningar och tjänster inom lasthantering vid hamnar, terminaler, distributionsanläggningar och tung industri. Kalmar har i sitt standardsortiment eldrivna motviktstruckar med upp till 9 tons lyftkapacitet och dieseldrivna motviktstruckar med upp till 52 tons lyftkapacitet (Kalmarglobal, 2016).

Kalmar kan leverera bränslecellsdrivna truckar som utgår från de befintliga eltruckarna, det vill säga motviktstruckar med en lyftkapacitet på upp till 9 ton. Leveranstiden för bränslecellsdrivna truckar är längre än för Kalmars befintliga truckar, men om en lång leveranstid accepteras kan det mesta som kunden önskar erbjudas. Kalmar planerar att i ett kommande TFK-projekt ta fram en prototyp av en bränslecellsdriven motviktstruck med en lyftkapacitet på 14 ton (Andersson M, 2016).

Kalmar har tidigare, under 2008 – 2009 i ett samarbete med en högskola i Finland, bestyckat en lätt (5 – 9 tons lyftkapacitet) eldriven motviktstruck med bränslecellspaket. Kalmar medverkar även tillsammans med SP/Tunga Fordon i en förstudie om bränslecellsdrivna truckar (Andersson M, 2016).

Kalmar ser bränslecellsdrift som ett bra alternativ ur ett miljöperspektiv och som även möjliggör kontinuerlig drift med snabb tankning. Detta jämfört med de långa laddningstider som uppstår när eltruckar med batterilösningar utan ett snabbt batteribytesystem används. Kalmar anser även att bränsleceller är lämpliga för att modulanpassa mot det befintliga eltruckssortimentet. Det största hindret för framtagning och lansering av fordon och truckar med bränsleceller anses dock vara den idag begränsade tillgängligheten av vätgas. Ett annat hinder är kostnaderna för bränslecellskomponenter och moduler i relation till alternativa lösningar (Andersson M, 2016).

Kalmar anser att bränslecellsdrivna truckar främst är lämpliga för tillämpningar inom- och utomhus vid industrier och andra verksamheter som har tillgång till vätgas som biprodukt eller på annat sätt har vätgas lättillgängligt. Extrema temperaturer vid truckhanteringen kan dock vara en begränsande faktor för bränslecellsdrivna truckar (Andersson M, 2016).

Bränsleceller är fördelaktiga ur miljö- och energisynpunkt och en positiv kostnadsutveckling gör att bränslecellsdrifter närmar sig kostnaderna för alternativa lösningar såsom förbränningsmotorer eller batterier. Detta anses enligt Kalmar kunna bidra till goda framtidsmöjligheter för bränsleceller (Andersson M, 2016).

4.2.2 Toyota Material Handling

Toyota Material Handling Europe har etablerat ett samarbete med bränslecellsleverantören Plugpower. Tillsammans med potentiella kunder diskuteras bränslecellstekniken med dess fördelar och möjligheten att fylla på/tanka vätgas samt vilken truckmodell som passar bäst (Senneryd, 2016).

Idag kan Toyota Material Handling erbjuda olika truckmodeller av låglyftare, orderplockare, skjutstativtruckar och motviktstruckar med bränsleceller till intresserade kunder. Antalet sålda bränslecellstruckar i Europa är begränsat, men intresset finns hos många kunder. Stora motviktstruckar med en lyftkapacitet över 16 ton är inget som Toyota tillverkar, varför de heller inte kan erbjuda några sådana med bränsleceller (Senneryd, 2016).

Fördelarna med bränsleceller och vätgasdrift av truckar är att det är ett miljövänligt alternativ och att det går snabbt att tanka jämfört med laddtiden för ett batteri. Dock är investeringskostnaderna fortfarande höga vilket gör att det behövs en stor maskinflotta för att uppnå en god ekonomisk kalkyl. Den kund som väljer att använda truckar med bränsleceller måste även investera i en egen tankstation och antingen köpa vätgas i bulk eller tillverka den själv. Förutom den höga kostnaden för bränslecellen är de största hindren för framtagna och lansering av bränsleceller till truckar installationen och infrastrukturen. Ett annat hinder är att det finns för få bränslecellsleverantörer som verkar över hela Europa (Senneryd, 2016).

Ju mer intensiv användningen av truckarna är, gärna flerskiftsanvändning, desto mer fördelar finns med bränsleceller. Bränsleceller är intressant för alla typer av truckar förutom de allra minsta gå-truckarna (Senneryd, 2016)

Toyota Material Handling anser att miljöfördelarna som truckar med bränsleceller kan ge är intressant, men att de flesta kunder inte är beredda att ta en allt för stor kostnad för detta. Framtiden för bränsleceller för trucktillämpningar är kraftigt beroende av prisutvecklingen samt konkurrens från andra energialternativ så som litium-jon batterier (Senneryd, 2016).

4.2.3 Linde Material Handling

Linde Material Handling har idag eldrivna motviktstruckar med en lyftkapacitet upp till 8 ton och dieseldrivna motviktstruckar upp till 18 ton.

Linde Material Handling i Tyskland arbetar idag med forskning och utveckling inom bränsleceller och vätgas. Idag har Linde motvikts- och stödbenstruckar i drift hos flera kunder i Europa och de anser att vätgas och bränsleceller för truck- och fordonstillämpningar är ett intressant område (Alestig, 2016).

4.2.4 Still

Idag erbjuder Still eltruckar och dieseltruckar upp till 8 tons lyftkapacitet. Still bedriver idag forskning kring bränsleceller. De stora fördelarna Still ser med bränslecellsdrift av truckar är miljöfördelarna samt att om det fungerar så ger det en säker drift. Idag säljer Still truckar med bränsleceller, men kostnaden utgör ett problem. Det är för dyrt och för små volymer. Bränsleceller bedöms vara lämpliga till både truckar och bilar. Still tror på bränsleceller för truckar i framtiden, men hävdar samtidigt att samtliga truckleverantörer idag satsar mer på litiumjonbatterier än på bränsleceller. Anledningen till detta kan vara att det är mer komplicerat med bränslecellsdrift eftersom det krävs övervakning för bränslecellens status samt att tankningsinfrastrukturen måste lösas (Salievski, 2016).

4.2.5 Konecranes

Konecranes är världsledande inom lyftverksamheter och erbjuder komponenter, kranar och materialhanteringslösningar för bland annat processindustrier, hamnar och intermodala terminaler (Konecranes, 2016).

Konecranes el/diesel-hybriddrivna reachstacker utgör en del av deras produktsortiment och en av planerna är att elektrifiera så många av delsystemen som möjligt i denna reachstacker. Detta för att göra steget till en helt elektrisk maskin avsevärt kortare än från en konventionell reachstacker (Arnesson, 2016).

Idag bedriver Konecranes ingen utveckling specifikt mot bränsleceller, men de har diskuterat detta med kunder och stämt av deras intresse för detta. Teknikens mognad för större maskiner samt begränsningar i infrastrukturen för vätgas utgör emellertid osäkerhetsfaktorer. Konkurrenter kan leverera mindre truckar med bränsleceller vilket förr eller senare kanske leder till att marknaden även efterfrågar större truckar med bränsleceller och därför är Konecranes självklart intresserade av denna teknik (Arnesson, 2016).

4.3 GASLEVERANTÖR

Gasleverantören AGA Gas inom Lindegruppen har intervjuats angående hur en gasleverantör ser på vätgas och bränsleceller för fordonstillämpningar samt vilka för- och nackdelar de ser med bränslecellsdrift av fordon och truckar. Vidare har AGAs forskning och utveckling inom området kartlagts liksom, vilka produkter de idag har för produktion, transport, lagring och tankning av vätgas. Vidare har en kartläggning skett av hur de ser på framtiden för bränsleceller och vätgas för fordonstillämpningar.

4.3.1 AGA Gas

Idag bedriver Linde forskning och utveckling inom bränsleceller och vätgas i München och i Wien. AGA Gas har de flesta produkter som behövs när det gäller produktion, lagring och distribution (både gasformigt eller flytande) av vätgas. De har däremot inga produkter för själva fordonen eller vätgastankar för fordon (Andersson R, 2016).

Fördelarna med bränsleceller för truckar och fordon är att dessa truckar och fordon inte avger några avgaser, att det är miljövänligt, att fordonen och truckarna kan köras både inne och ute samt att det går snabbt att tanka. Nackdelarna är den högre investeringen samt att tekniken inte är tillräckligt beprövad och testad. Lönsamheten idag anses tveksam (Andersson R, 2016).

Roger Andersson på AGA tror att vätgas och bränsleceller kommer att vara ett utmärkt komplement till batteridrift och att det för distributionsfordon och bussar är det enda praktiskt realistiska nollutsläppsalternativet (Andersson R, 2016).

5 Analys

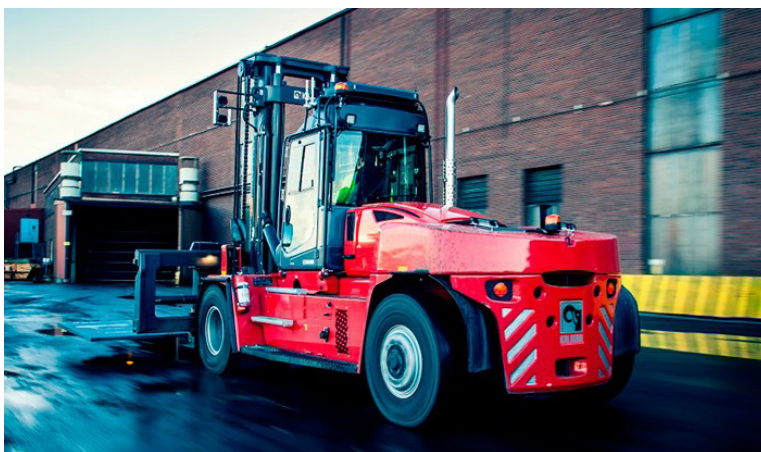
Nedan följer beräkningar och analyser av vilka effekter en övergång till vätgasdrift kan få samt hur stor potentialen är för vätgasgenerering vid olika industrianläggningar. För att utvärdera potentialen för bränslecellsdrift av truckar har även en kostnadsberäkning utförts samt en sammanställning av process- och fordonsindustrins åsikter kring bränsleceller och vätgas gjorts. De utförda beräkningarna framgår av Appendix E,F och G.

5.1 ENERGI- OCH MILJÖEFFEKTER

Genom att ersätta dagens dieseldrivna truckar med truckar med bränsleceller som drivs med vätgas kan både energibesparingar och minskad miljöbelastning uppnås. Genom att dieselförbrukningen för truckarna elimineras blir dessa oberoende av fossil energi. Förutsatt att vätgasen som ersätter dieseln produceras från el som gett upphov till endast låga koldioxidutsläpp alternativt utvinns från restgaser kan utsläppen av växthusgaser reduceras kraftigt. Med ett elektriskt drivsystem minskar även utsläppen av partiklar och kväveoxider vilket förbättrar den lokala luftkvaliteten och minskar påverkan på förurning och övergödning. Fordon med elektrisk drift ger, främst i låga hastigheter, även upphov till mindre buller än fordon med förbränningsmotorer vilket förbättrar arbetsmiljön för förarna.

5.1.1 Exempel på energi- och miljöeffekter för en 16 tons motviktstruck

För att åskådliggöra de energi- och miljöeffekter en övergång till vätgasdrift kan ge redovisas ett räkneexempel baserat på data för en motviktstruck med lyftkapacitet på 16 ton vid SSABs anläggning i Oxelösund. Trucken är av typen Kalmar DCG160-12 och har en genomsnittlig dieselförbrukning på 8 l/h. Trucken är i drift i snitt ca 3 500 h per år. Trucken har en lyftkapacitet på 16 ton och en bruttovikt med last på 38,4 ton. Tjänstevikten är 22,4 ton.



Figur 9 Kalmar motviktstruck DCG160-12 vid SSAB i Oxelösund (Kalmar)

Data och antagna verkningsgrader som använts för beräkningarna framgår av Tabell 13. Vätgasen antas i detta exempel vara framställd genom elektrolys.

Tabell 13 Data och antagna verkningsgrader för en motviktstruck med lyftkapacitet på 16 ton

Dieselförbrukning (l/h)	8
Drifttimmar (h/år)	3 500
Verkningsgrad dieseldrift	36 %
Verkningsgrad eldrift	91 %
Verkningsgrad bränslecell	70 %
Verkningsgrad bränslecellsdrift	64 %
Verkningsgrad elektrolysör	80 %
Energiinnehåll diesel (kWh/l)	9,8
CO ₂ (g/l diesel)	2 640
Nordisk elmix (g CO _{2-ekv} /kWh)	76,4

Med dessa värden och antaganden fås följande energibesparing och minskade koldioxidutsläpp vid vätgasdrift jämfört med dieseldrift.

Tabell 14 Tillförd energi och emissioner av koldioxid för en 16 tons motviktstruck med diesel- respektive vätgasdrift med vätgas från elektrolys

	Dieseldrift	Vätgasdrift
Tillförd energi per truck och år	274 400 kWh tillförd energi i form av diesel	154 350 kWh för drift 192 938 kWh tillförd energi för framställning av vätgas via elektrolys
CO ₂ per truck och år (kg)	73 920	14 740

Utifrån antaganden angivna i Tabell 13 samt värdena i Tabell 14 kan följande positiva effekter uppnås om dagens dieseldrivna 16 tons motviktstruckar ersätts med likvärdiga vätgasdrivna truckar:

- Ca 30 % mindre tillförd energi
- Ca 80 % lägre CO₂-utsläpp
- 0 % dieselförbrukning → fossiloberoende drift

5.2 POTENTIAL FÖR VÄTGASGENERERING

I kartläggningen av den årliga överskottsenergin vid några större svenska industrianläggningar som utförts i denna studie har det även kartlagts hur stor del av överskottsenergin som tas till vara. De flesta processindustrier säljer idag överskottsvärme och el till fjärrvärmenätet respektive elnätet om energin inte kan utnyttjas inom anläggningen. Restgaser som inte kan tas tillvara facklas.

Flera processindustrier har restgaser som idag inte tas tillvara. Dessa gaser skulle teoretiskt sätt kunna renas om de innehåller tillräckligt höga halter vätgas. Dock bedöms rening av dessa restgaser till ren vätgas vara för kostsam för att vara ett realistiskt alternativ. För industrier som har vätgas som är förorenat med något enstaka ämne kan det dock vara intressant att undersöka möjligheten att rena gasen (Andersson R, 2016). Restgaser kan även potentiellt användas till elproduktion för att sedan framställa vätgas genom elektrolys om dessa har rätt egenskaper. För att ta

tillvara på gaserna, både vätgas och andra restgaser, krävs dock i de flesta fall stora investeringar.

För att bedöma om de restgaser som finns vid processindustrierna teoretiskt skulle kunna generera vätgas i tillräckligt stor omfattning för att driva de tunga truckar och arbetsmaskiner som används vid anläggningen har vätgasbehovet för truckarna uppskattats. I beräkningarna har följande data och antaganden använts:

Tabell 15 Data och antaganden för beräkning av vätgasförbrukning

Energiinnehåll vätgas	119 MJ/kg
Densitet vätgas (normalt tryck och temperatur)	90 g/m ³
Energi i 1 Nm ³ vätgas	2,975 kWh (10,71 MJ)
Densitet vätgas, 350 bar	30 kg/m ³
Energi i 1 m ³ vätgas, 350 bar	992 kWh

Utifrån exemplet i avsnitt 5.1.1 över bränslecellsdrift av en 16 tons motviktstruck med en lyftkapacitet på 16 ton och med en verkningsgrad på mellan 25 och 40 % för produktion av el från restgaser behövs mellan 480 och 770 MWh restgas för att driva trucken i ett år. Detta kan jämföras med de ca 274 MWh energi i form av diesel som behövs vid dieseldrift eller 193 MWh energi i form av el som behövs vid framställning av vätgas från elektrolys med el direkt från nätet.

Sandvik, som har en avtalad mängd på 400 000 Nm³ vätgas att producera till vätgastankstationen, kan driva 7 stycken 16 tons motviktstruckar förutsatt att truckarna drar 15 Nm³ vätgas per drifttimme och truck och truckarna körs 3 500 h per år.

I Tabell 16 framgår bränsleförbrukningen vid dagens dieseldrift, ungefärligt antal drifttimmar per år samt uppskattad energiförbrukning vid vätgasdrift beräknat utifrån dieselförbrukningen och antalet drifttimmar. Uppgifterna baseras på data och mätningar av truckanvändning vid några stora svenska processindustrier (Treiber et al, 2016). Den årliga energiförbrukningen beror dock på antalet drifttimmar per år vilket kan variera kraftigt mellan olika truckar och industrier.

Tabell 16 Bränsleförbrukning (diesel), antal drifttimmar samt uppskattad energiförbrukning vid vätgasdrift per år för tre olika trucktyper baserat på data från några stora processindustrier

Trucktyp	Bränsle- förbrukning (l/h)	Drifttimmar (h/år)	Uppskattad energiförbrukning vätgas vid vätgasdrift (MWh/år)*
Tung motviktstruck (≥ 16 ton lyftkapacitet)	8	3 500	154
Dragtruck (motoreffekt 130 – 560 kW)	15	4 500	372
Grenseltruck	25	2 250	310

* Baserat på 36 % verkningsgrad för dieselmotorn och 64 % verkningsgrad vid bränslecellsdrift.

I Tabell 17 framgår antalet tunga truckar, den uppskattade totala energiförbrukningen för drift av dessa truckar samt den teoretiska potentialen för vätgasgenerering vid industrianläggningarna. Energiförbrukningen vid vätgasdrift är uppskattad utifrån energiförbrukningen vid dieseldrift och framgår i Tabell 16. Den teoretiska potentialen för vätgasgenerering är baserad på överskottsenergi som ej tas tillvara idag och är beräknad med antagande om att verkningsgrader för generering av el från

överskottsenergin är 25 – 40 % samt att elektrolysören har en verkningsgrad på 80 % (se Tabell 8).

Detta är dock en grov teoretisk uppskattning då det är troligt att delar av överskottsenergin inte kan användas för att generera el vilket därmed minskar potentialen för vätgasproduktionen vid processindustrins anläggningar. Den teoretiska potentialen för vätgasproduktion ska därför ses som den största möjliga potentialen, men att den verkliga potentialen för vätgasproduktion troligtvis är lägre. Genereringen av restgaser är även i flera fall intermittent vilket innebär att det behövs en viss mängd vätgas i buffert om truckarna drivs med endast vätgas.

I Tabell 17 visas antalet tunga motviktstruckar, dragtruckar och grensletruckar som används vid respektive anläggning samt en uppskattning av den totala energiförbrukningen i form av vätgas om dessa truckar drivs av bränsleceller med vätgas. Detta vätgasbehov jämförs med den teoretiska potentialen för vätgasproduktion vid anläggningarna. Vätgasen antas produceras genom att överskottsenergin/restgaserna används för att producera elektricitet som i sin tur används för att generera vätgas i en elektrolysör alternativt att restgaserna renas till vätgas. För SSAB har anläggningen i Oxelösund valts ut som representativ anläggning och för Ovako har anläggningen i Hofors valts ut. För SSAB Oxelösund har även den teoretiska potentialen för andel vätgas som kan tas fram genom rening av processgaserna beräknats.

Tabell 17 Antal tunga truckar vid industrianläggningar samt uppskattad energiförbrukning för dessa truckar baserat energiförbrukningen i Tabell 16 och den teoretiska potentialen för vätgasproduktion vid respektive anläggning baserat på Tabell 8

Industri-anläggning	Tunga motvikts-truckar	Dragtruckar	Grensletruckar	Total energiförbrukning för vätgasdrift av tunga truckar (GWh/år)	Teoretisk maxpotential för vätgasproduktion (GWh)	
					Elektrolys ^a	Rening ^b
SSAB Oxelösund	12	18	0	8,5	48 – 76	27,4
Ovako Hofors	2	5	5	3,7	0	0
Uddeholms	9	4	0	2,9	0	0
Outokumpu	16	31 ^c	2	14,6 ^c	21 – 33	I.U.
Skärnäs Hamn	2	5	0	2,2	I.U.	0

a Beräknat på överskottsenergi som idag inte tas tillvara och beräknas med 25 – 40 % verkningsgrad restenergi till el och 80 % verkningsgrad för elektrolysör.

b Rening av processgaser till vätgas.

c Inkluderar även lastmaskiner, dumprar m.m.

Den totala energiförbrukningen för respektive industrianläggnings tunga truckar, som framgår av Tabell 17, underskrider den teoretiska potentialen för vätgasgenerering för de industrier som har restgaser och annan överskottsenergi. Varken Uddeholms eller Ovako har några restgaser och Uddeholms uppger att de idag tar vara på all energi vid anläggningen eller säljer energin till el- eller fjärrvärmenätet. Därmed har de ingen potential att generera vätgas från överskottsenergi. Iggesunds Bruk och Skärnäs Hamn producerar idag 0,3 TWh el och förbrukar 0,45 TWh el. Korta perioder vintertid finns möjlighet till överproduktion av el vilken skulle kunna användas för att producera vätgas. Vätgasen kan i sin tur lagras och användas för drift av truckarna.

Både vid SSABs och Outokumpus anläggningar uppstår dock stora mängder restgaser och annan överskottsenergi. Vid SSABs anläggning i Oxelösund räcker en tredjedel av den idag facklade vätgasen för att driva alla tunga motviktstruckar och dragtruckar som används vid anläggningen. Även Outokumpu bedöms kunna generera en större mängd vätgas än det årliga vätgasbehovet för vätgasdrift av deras tunga truckar.

5.3 KOSTNADER

En av de främsta nackdelarna med bränslecellsdrift som framkommit i denna förstudie är att bränslecellsdrift bedöms medföra höga investeringskostnader. Samtidigt har reducerade drift- och underhållskostnader lyfts fram som en fördel. En översiktlig kostnadsjämförelse mellan dieseldrift, vätgasdrift och batterielektrisk drift har därför genomförts för att ge en indikation på vilka kostnader vätgasdrift medför.

Kostnadsjämförelsen baseras på SSAB i Oxelösunds motviktstruckar. Vid SSAB i Oxelösund används bland annat motviktstruckar med en lyftkapacitet på 16 ton. Genom att använda data för drift med dagens dieseldrivna truckar kan de ekonomiska effekterna med vätgasdrivna truckar med bränsleceller samt batterielektriska truckar uppskattas. SSAB i Oxelösund har idag 7 motviktstruckar med 16 tons lyftkapacitet i drift och sammantaget 30 tunga truckar av olika utförande.

En uppskattning av driftkostnader avseende energi- och underhållskostnader för en 16 tons motviktstruck med dieseldrift, vätgasdrift respektive batterielektrisk drift enligt data från SSAB i Oxelösund framgår av Tabell 18. Både trucken med vätgasdrift och trucken med batterielektrisk drift har en elektrisk drivlina och antas därför ha samma underhållskostnader.

Tabell 18 Jämförelser av driftkostnader för en 16 tons motviktstruck med diesel- respektive vätgasdrift med vätgas från elektrolys

	Dieseldrift	Vätgasdrift	Batterielektrisk drift
Energiförbrukning	8 l diesel/h	15 Nm ³ vätgas/h 55 kWh el för produktion av 15 Nm ³ vätgas/h genom elektrolys	34 kWh/h
Drifttimmar	3 500 h/år	3 500 h/år	3 500 h/år
Energipris	9,5 kr/l diesel	1 kr/kWh el	1 kr/kWh el
Underhåll	20 kr/drifttimme	2,50 kr/drifttimme	2,50 kr/drifttimme
Energikostnad per truck och år	266 000 kr/år	192 940 kr/år	120 000 kr/år
Underhållskostnad per truck och år	70 000 kr/år*	8 750 kr/år	8 750 kr/år
Totalt energi- och underhållskostnad per truck och år	336 000 kr/år	201 700 kr/år	128 750 kr/år

* Huvuddelen av underhållskostnaden hänförs sig till drivsystemet, det vill säga dieselmotor och växellåda

Per truck och år uppgår, med ovanstående antaganden, besparingen i driftkostnader till 134 300 kr för en vätgasdriven truck jämfört med en dieseldriven truck. För de 7 truckar som används vid SSAB i Oxelösund idag innebär det en årlig besparing på totalt 940 100 kr för drift och underhåll. Med batterielektriska truckar blir den årliga besparingen än större vilket beror på högre systemverkningsgrad.

För att jämföra de totala kostnaderna beräknas nuvärdeskostnaden för energi- och underhållskostnaderna samt investeringskostnaderna per truck under 6 år baserat på en fordonsflotta på 30 truckar (antalet tunga truckar hos SSAB i Oxelösund). Nedanstående investeringskostnader är baserat på kostnadsuppgifter för en 16 tons dieseldriven motviktstruck (Robertsson, 2016). Grundkostnaden för plattform bestående av chassi, lyftanordning, hytt med mera antas vara densamma för dieseldrivna, bränslecellsdrivna och batteridrivna truckar. Bränslecellstrucken antas ha en batterikapacitet på 2 kWh och en bränslecell med uteffekt på 164 kW (motoreffekten för Kalmar 16 tons motviktstruck med dieseldrift). Batteritrucken antas ha en batterikapacitet på 100 kWh. I beräkningarna används ett batteripris för litiumjonbatteri på 3 000 kr/kWh (Treiber et al, 2016). För bränslecellstrucken ansätts ett bränslecellspris på 470 kr/kW och 130 kr/kWh för vätgastanken (Fuel Economy, 2016).

Vid vätgasdrift tillkommer en investeringskostnad för en vätgastankstation vilken uppskattningsvis uppgår till 5 miljoner (Andersson R, 2016). Livslängden för bränslecellen antas vara ca 10 000 drifttimmar vilket i detta fall motsvarar ca 3 års drift (Proton Motor, 2016). Livslängden för litiumjonbatteri antas vara 3 000 cykler, vilket i detta fall motsvarar ca 3 års drift (Treiber et al, 2016). För de batterielektriska truckarna med ett batteri per truck måste däremot ett nytt batteri per truck anskaffas efter 3 år och för bränslecellstruckarna erfordras ny bränslecell efter 3 år. Den ekonomiska livslängden för truckarna har ansatts till 6 år medan livslängden på vätgastankstationen har ansatts till det dubbla, det vill säga 12 år. Kalkylräntan sätts ofta på en hög nivå för denna typ av investeringar och har här ansatts till 15 % vilket är den kalkylränta SSAB använder (Hård, 2016).

I jämförelsen finns både batterielektriska truckar med ett batteri per truck och batterielektriska truckar med 2 batterier per truck. Alternativet med endast ett batteri per truck är i dagsläget inte ett rimligt alternativ på grund av den intensiva driften som medför att det sällan finns tid för laddning mellan varje skift eller mellan de olika körpassen under skiften. Tiden per pass uppgår i genomsnitt till 150 min och paustiden mellan passen uppgår till ca 30 min. En laddning av batteriet tar dock minst 1 timme (Treiber et al, 2016).

Nuvärdeskostnaderna per truck för en truckflotta på 30 truckar och för en 6-årsperiod visas i Tabell 19.

Tabell 19 Nuvärdeskostnader för en dieseldriven, bränslecellsdriven respektive batterielektrisk 16 tons motviktstruck (baserat på en kalkylperiod på 6 år)

Nuvärde	Dieseltruck	Bränslecells-truck	Batterielektrisk truck (1 batteri)	Batterielektrisk truck (2 batterier)
Grundkostnad för truckplattform	1 900 000 kr	1 900 000 kr	1 900 000 kr	1 900 000 kr
Specifika komponenter:				
Partikelfilter	90 000 kr	-	-	-
Batteri	-	2 560 kr	300 000 kr	600 000 kr
Laddare	-	-	85 000 kr	85 000 kr
Bränslecell	-	77 080 kr	-	-
Vätgastank (ombord)	-	11 700 kr	-	-
Total investeringskostnad	1 990 000 kr	1 991 340 kr	2 285 000 kr	2 585 000 kr
Restvärde	199 000 kr	0 kr	0 kr	0 kr
Energikostnad under 6 år	1 271 586 kr	763 330 kr	487 252 kr	487 252 kr
Nytt batteri efter 3 år	-	1683 kr	197 255 kr	-
Ny bränslecell efter 3 år	-	50 681 kr	-	-
Vätgastankstation*	-	116 360 kr	-	-
Totalkostnad för 6 år	3 062 586 kr	2 923 395 kr	2 969 507 kr	3 072 252 kr
Jämförelseindex	100,0	95,5	97,0	100,3

* Kostnaden för en vätgastankstation antas delas mellan 30 tunga truckar

Nuvärdesberäkningarna visar att det, med ovanstående antaganden, är möjligt att få en lönsamhet med bränslecellstruckar. Antalet truckar och fordon som kan dela på vätgastankstationen påverkar dock kraftigt lönsamheten för bränslecellstruckarna. Kostnaderna påverkas även av verkningsgrader och komponenternas livslängder samt ansatt kalkylränta.

I beräkningarna för nuvärdeskostnaderna har det antagits att en bränslecellstruck respektive batterielektrisk truck inte har något restvärde. Detta är sannolikt en underskattning eftersom bränslecellstrucken och de batterielektriska truckarna genom ett ytterligare byte av bränslecell respektive batteri bör kunna användas i minst tre år till vilket därmed ger dem ett restvärde. I kalkylen har heller inte kostnader för en batteribytesstation inkluderats vilket behövs om batteribytten ska ske. Batterielektriska truckar medför dessutom större förändringar i driftmönstren på grund av batteribytten och/eller laddning av batterier jämfört med en övergång från dieseltruckar till bränslecellstruckar som tankas med vätgas.

Om vätgasen framställs från el och det vid anläggningarna inte redan finns en anläggning med elektrolysör tillkommer även en investeringskostnad för elektrolysör. Om elen till elektrolysören ska produceras från överskottsenergi och restgaser tillkommer investerings- och underhållskostnader för detta system. Idag säljer de flesta industrier delar av överskottsvärmen och elen, en inkomst som kan försvinna om energin istället används till vätgasproduktion.

5.4 KUNSKAP OCH INTRESSE AV BRÄNSLECELLER INOM PROCESS- OCH FORDONSINDUSTRIN

En sammanställning av intervjuerna med olika representanter inom process- och fordonsindustrin visar vilken kunskap och intresse som finns för bränslecellsdrift av truckar och arbetsmaskiner.

Intresset för bränsleceller och vätgas är stort inom process- och fordonsindustrin och de flesta av de intervjuade aktörerna har idag egen forskning och utveckling kring bränsleceller och vätgas eller är involverade i olika projekt inom ämnet. Nedan presenteras ett urval av de aktiviteter kring vätgas och bränsleceller som utförs av de intervjuade process- och fordonsindustrierna.

Tabell 20 Ett urval av de aktiviteter gällande vätgas och bränsleceller som de intervjuade process- och fordonsindustrierna är involverade i

Aktörer	Aktivitet
SSAB, LKAB, Vattenfall	Projekt/förstudie gällande ny teknik för stålframställning där kol eller naturgas ersätts med vätgas
SSAB Luleå	Vätgas som additiv i förbränningsmotorer
Uddeholms AB	FoU-avdelningen håller sig löpande uppdaterade kring användningen av bränsleceller för att se om de kan hitta affärer för deras produktion
Sandvik Materials Technology	Produktion av bipolära plattor till bränslecellsstackar
Sandvik Materials Technology, AGA Gas, Sandvikens kommun	Vätgastankstation för vägfordon i Sandviken
Linde Material Handling	Forskning och utveckling inom bränsleceller och vätgas i Tyskland
Still	Forskning och utveckling inom bränsleceller och vätgas
AGA Gas	Forskning och utveckling inom bränsleceller och vätgas i München och i Wien

Truckanvändarna lyfter fram miljö och hållbarhet som den främsta fördelen med bränslecellsdrift. Andra fördelar som truckanvändarna ser med bränslecellsdrift är att det skapar ett fossiloberoende, möjliggör inomhusdrift samt kan ge lägre kostnader på längre sikt. Även fördelar såsom mindre buller och vibrationer samt mindre oljespill och oljeförbrukning nämns. Den största nackdelen är de höga investeringskostnaderna och bristen på vätgasinfrastruktur samt att tekniken idag inte finns tillgänglig för tyngre maskiner.

Önskvärda tillämpningsområden skiljer sig något mellan de olika truckanvändarna, men majoriteten är intresserade av bränslecellsdrift av tyngre truckar och maskiner, över 6 – 9 ton, men intresse för bränslecellsdrift av mindre truckar finns också. Truckanvändarna ser generellt en framtid med bränslecellsdrift av truckar, maskiner och andra fordon, men uppfattningen om hur stor omfattningen kommer att bli skiljer sig något. Bränsleceller kan vara en lösning för att minska processindustrins och truckanvändarnas beroende av fossila bränslen.

Även truck- och fordonstillverkarna lyfter fram de positiva miljöeffekterna med bränsleceller som den främsta fördelen. Andra fördelar som trucktillverkarna ser är att

det går snabbt att tanka vätgas jämfört med att ladda batterier. Den största nackdelen är de höga investeringskostnaderna som gör att det krävs stora fordonsflottor och flerskift för att få en god ekonomisk kalkyl.

Truck- och fordonstillverkarna anser att bränsleceller är lämpade för drift av alla fordon och truckar bortsett från de minsta gå-truckarna. De största hindren för framtagning och implementering av bränslecellsfordon och truckar anses vara avsaknaden på vätgasinfrastruktur. Truck- och fordonstillverkarna ser inte lika ljus på bränslecellernas framtid som truckanvändarna utan menar att framtiden till stor del påverkas av prisutvecklingen och konkurrensen från andra alternativ, exempelvis litiumjonbatterier.

En anledning till att truck- och fordonstillverkarna inte är lika positiva som truckanvändarna kan vara att det innebär risker och kostnader med att vara först med tunga bränslecellstruckar eftersom den nya tekniken måste testas samtidigt som det krävs större resurser för att skapa kunskap om marknaden och vad den efterfrågar. Risken finns att de resurser som satsas inte ger den utdelning som förväntats. Genom att inte vara först kan lärdomar från andras misstag tas samtidigt som det finns möjlighet att vidareutveckla produkten. Det är därmed säkrare att vänta in konkurrenterna samt följa batteriprisutvecklingen för att därefter välja vilken inriktning som bör satsas på.

Truckanvändarna ser däremot bränslecellsdrift som ett sätt för dem att minska sitt fossiloberoende, sänka driftkostnaderna samt minska utsläppen av koldioxid inom verksamheten. Truckanvändarna har därmed mer att tjäna och tar en mindre risk jämfört med trucktillverkarna.

6 Slutsatser

En majoritet av de tunga truckarna, fordonen och arbetsmaskinerna som idag används inom processindustrin har hydrodynamiska drivsystem med förbränningsmotorer. I och med att dessa truckar, fordon och maskiner inte har utformats och/eller är anpassade för installation av elektriska drivsystem blir utvecklingskostnaderna högre än om tillverkarna kunnat utgå från en befintlig truck med elektriskt drivsystem och endast behövt komplettera denna med en bränslecell, på samma sätt som ofta gjorts vid framtagning av bränslecellsdrivna lätta motviktstruckar. Vid elektrifiering av drivsystemet krävs nya komponenter som måste rymmas på fordonet. Detta utrymme kan vara begränsat beroende på fordonets utformning och eventuella restriktioner avseende dess yttre dimensioner.

6.1 UTVECKLINGSBEHOV FÖR TRUCKAR OCH TEKNISKA SYSTEM

För att undvika att en trucks eller ett fordons utformning, främst avseende yttre dimensioner, utgör en begränsning vid framtagning och implementering av elektriska drivsystem bör en övergång till och anpassning för elektriska drivsystem ske vid framtagningen av nästa generations truckar, fordon och maskiner. Vid framtagning av nya koncept kan utformningen av fordonen anpassas efter nya komponenter samt att plats förbereds för exempelvis batterier och bränsleceller. Bränsleceller kräver generellt större utrymme än batterier eller förbränningsmotorer (Saxe, 2012). Osäkerheten kring komponenternas livslängd samt komplexiteten i att dimensionera och optimera energifördelningen mellan batteri och bränslecell kan utgöra ett hinder för tillverkare att ta steget och ta fram bränslecellsdrivna tunga truckar och arbetsmaskiner.

Trucktillverkarna nämner inte några tekniska utmaningar som stora hinder för framtagning och implementering av bränslecellsdrivna truckar förutom att drivsystemet vid bränslecellsdrift blir mer komplext jämfört med ett konventionellt dieseldrivet system. Trucktillverkarna ser större hinder i vätgasinfrastrukturen och de därav höga kostnaderna för investeringar i fasta anläggningar som bränslecellsdrift medför. Detta gör att det idag krävs stora fordonsflottor för att få bränslecellsdrift lönsamt. Vätgasinfrastrukturen, så som tankstationer och eventuella elektrolysör- eller reningsanordningar, måste även få plats på industriområdena och särskilda regler kring hantering av trycksatt gas måste beaktas.

Truck- och fordonstillverkarna anser att framtiden för bränsleceller avgörs av prisutvecklingen. De ser även konkurrensen från litiumjonbatterier som en stor anledning till att trucktillverkarna avvaktar med framtagning av nya tyngre bränslecellsdrivna truckar. Utvecklingen av litiumjonbatterier och andra batterier kan dock vara till fördel även för utvecklingen av bränslecellsdrivna truckar och fordon eftersom drivsystem med bränsleceller med fördel kan kombineras med energilagring i batterier. För lätta truckar och arbetsmaskiner kan det med förbättrade batterier och lägre batteripriser däremot bli svårt för bränsleceller att slå igenom. För tyngre truckar och arbetsmaskiner där det av utrymmes-, vikt-, tids- eller kostnadsmässiga skäl inte är möjligt med ren batteridrift kan emellertid bränsleceller utgöra ett möjligt alternativ. Förutom kostnader för utveckling och investeringar i utbyggnad av vätgasinfrastruktur lyfts även det begränsade antalet bränslecellstillverkare i Europa fram som ett hinder för framtagning och implementering av truckar och fordon med bränsleceller.

En övergång till bränslecellsdrift från dagens dieseldrivna tunga truckar kan ge ett flertal positiva miljö- och energieffekter, bland annat kan det medföra att mängden energi för framdrivning av truckarna kan minska med 30 %. Vidare kan mängden koldioxidutsläpp från driften av truckarna minskas med 80 %. Energi- och underhållskostnaderna är dessutom lägre för en bränslecellsdriven truck jämfört med en dieseldriven truck med ett traditionellt drivsystem.

6.2 TILLGÅNG PÅ VÄTGAS

Industrianläggningarnas överskottsenergi kan utnyttjas för att producera el, vilken genom elektrolys används för att framställa vätgas. Alternativt kan restgaser renas till vätgas. Kartläggningen indikerar att mängden överskottsenergi och restgaser på ett flertal av de större processindustrierna i Sverige är av sådan omfattning att flertalet av dessa teoretiskt sett kan driva hela sin tunga truckflotta med vätgas. Den teoretiska potentialen för vätgasproduktion samt mängden truckar som används varierar dock kraftigt mellan de olika anläggningarna. Det har dessutom inte studerats hur stor andel av överskottsenergin och restgaserna som det är praktiskt och ekonomiskt möjligt att utnyttja för vätgasproduktion. Framförallt rening av restgaser riskerar att medföra stora kostnader på grund av att föroreningsgraden är hög och vätgashalten låg.

Samtliga av de tillfrågade industrierna medverkar idag i bränslecellsprojekt eller visar ett intresse för bränslecellsdrift. De stora trucktillverkarna kan idag erbjuda lätta truckar med bränslecellsdrift och produkter som behövs för produktion, lagring och distribution av vätgasen finns på marknaden. Detta innebär att alla delar som behövs för införandet av bränslecellsdrift av truckar finns. Det som hittills saknats är betalningsviljan och incitamenten till att tillverka och köpa in truckar med bränslecellsdrift. Flera trucktillverkare och truckanvändare verkar avvakta utvecklingen för litiumjonbatterier.

6.3 FORTSATTA STUDIER

Denna förstudie har innefattat en översiktlig kartläggning av ett antal processindustriers potential att generera vätgas inom produktionsanläggningarna. Denna kartläggning har visat att det finns stora mängder överskottsenergi och restgaser som idag inte tas tillvara och som det finns förutsättningar att använda för vätgasframställning. Dock krävs en djupare analys av den verkliga potentialen och kostnaderna för en framtida vätgasgenerering vid dessa processindustriers produktionsanläggningar. Detta för att klargöra hur stor mängd av överskottsenergin och restgaserna som i verkligheten kan renas alternativt utnyttjas för elproduktion som sedan används för vätgastillverkning genom elektrolys.

Studien har visat att intresset för bränslecellsdrift av tunga truckar är stort inom processindustrin och att det finns en stor teoretisk potential för både vätgasgenerering och bränslecellsdrift av truckar vid de aktuella industrianläggningarna. Dock krävs det ytterligare studier och forskning inom området för att utreda den verkliga potentialen med bränslecellsdrift och vätgasgenerering inom processindustrin samt att genom demonstrationer visa genomförbarheten av detta samt vinna drifterfarenheter.

Referenser

LITTERATUR

- Bark P, red, *Materialhantering – 3e omarbetade utgåvan*, TFK-rapport 2002:8, TFK, Stockholm (2002)
- Basi J, Farquharson N, *PEM Fuel Cells Make a Powerful Case for Small Business Backup*, Commscope (2014)
- Bodén A, Hedebjörn A, *Kravställning av kraftelektronik för användning av bränsleceller i elektriska fordon*, Energiforsk Rapport 2015:211 (2015)
- Byman K et al, *Power to gas – Internationell utblick och potentialen i Sverige*, ÅF – Infrastructure AB, Energy Management (2013)
- Cornholm L-Å et al, *Spillvärme från industrier och värmeåtervinning från lokaler*, Svensk Fjärrvärme Rapport 2009:12 (2009)
- Energiforsk, *Processindustrin och nollvisionen*, Energiforsk Rapport 2015:138 (2015)
- Engström I, *Processmässig statusbedömning och optimering av bensenverket vid SSAB Oxelösund AB*, Examensarbete Civilingenjörsprogrammet Kemiteknik, Luleå tekniska universitet (2009)
- Kalmar, *Electric evolution – Kalmar ECG50-90 5-9 ton capacity Technical information* (2014)
- Karlström M, Andersson E, *Miljöpåverkan av vätgasförsörjning – miljösystemanalys för vätgas i Göteborg*, Vätgas Sverige (2007)
- Larsson G, *Hybridisering av mobile maskiner – översikt över teknikläget samt drivkrafter och begränsningar för framtida utveckling*, SLU Rapport 043 (2012)
- Linde Material Handling, *Elektric Tow Tractor Capacity 25000 kg P250, series 127-02* (2008)
- Liu X et al, *Design methodology of hybrid electric vehicle energy sources: application to fuel cell vehicles*, International Journal of Automotive Technology Vol. 12, No. 3, s 433 – 441 (2011)
- Maack M, *Generation, of the energy carrier HYDROGEN – In context with electricity buffering generation through fuel cells*, New Energy Externalities Developments for Sustainability, Project no: 502687 (2008)
- Mayyas A et al, *Fuel Cell Forklift Deployment in the U.S.* (2014)
- OMEV, *Omvärldsanalys av energieffektiva vägfordon*, Magnus Karlström, Chalmers. Nyhetsbrev 2015 – 2016
- Ridell B & Pohl H, *Syntesrapport teknik och omvärldsbevakning bränsleceller 2015*, Energiforsk rapport 2016:285 (2016)
- San Pedro Bay Port, *San Pedro Bay Ports Clean Air Action Plan Technology Advancement Program – 2012 Annual Report* (2013)
- Saxe M, *Bränsleceller – Framtid eller återvändsgränd*, ÅF Energi- och systemanalys (2012)

SSAB EMEA AB Luleå, *Miljörapport 2012* (2012)

Sulaiman et al, *A review on energy management system for fuel cell hybrid electric vehicle: Issues and challenges*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 52 (2015)

Transportnytt, nr 1 2008 – 2016 (2008-2016)

Transportnytt , nr 8 2015 (2015)

Treiber A et al, *Innovativa arbetsmaskiner för energieffektiv framtida internlogistik inom tung industri*, TFK-rapport 2016:1, Stockholm (2016)

TUW & Energiepark Bruck an der Leitha, *Behandling av restgas från biogasuppgradering – teknisk översikt*, Technische Universität Wien (TUW) & Energiepark Bruck an der Leitha som delleverans i Bio-Methane Regions, ett projekt i programmet Intelligent Energy – Europe (2012)

US Department of Energy, State of the States, *Fuel Cells in America 2014* (2014)

Walters M et al, *Fuel Cell Range Extender for Battery Electric Vehicles*, International Conference on Electrical Systems of Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Vehicles (ESARS) (2015)

INTERNET

Air Liquide Gas AB, *Produktion av hydrogen*, hämtad 2016-05-11
http://www.airliquide.se/file/otherelement/pj/produktion_av_hydrogen80304.pdf

Atlas Copco, *Electric Minetruck EMT35 – Technical Specification*, Hämtad 2016-04-11.
 (2013)
http://www.atlascopco.se/images/technical_specification_electric_minetruck_emt35_9851_3263_01_tcm836-3525767.pdf

Atlas Copco, *Making mining cleaner and safer with battery driven equipment*, 2016-05-09
<http://www.atlascopco.se/sesv/news/productnews/making-mining-cleaner-and-safer-with-battery-driven-equipment.aspx>

Balqon, *Balqon receives contract from the port of Los Angeles to retrofit electric yard tractors*, Hämtad 2016-05-31 (2012)
<http://www.balqon.com/balqon-receives-contract-port-los-angeles-retrofit-electric-yard-tractors/>

Crown, *FC 4500 Series Specifications Four Wheel Counterbalance Truck*
<https://www2.crown.com/uk/forklifts/pdfs/specs/forklift-fc4500-spec-GB.pdf> (2016)

Crown, *America's Largest Independent Coca-Cola Bottler Fills Up* (2011)
<http://www2.crown.com/china/en/Coca-Cola.html>

DanTruck, *DanTruck 3000 Power Hybrid – from hydrogen to power!* Hämtad 2016-04-11(2016)
http://hylift-demo.eu/public/Publications/DanTruck_3000-Power-Hydrogen-forklift_ENG_web.pdf

Elforest, *Elforest Technologies största elhybridsprojekt*, Hämtad 2016-04-11, (2016a)
<http://www.elforest.se/sv/elforest-technologies-storsta-elhybridprojekt>

Elforest, *Elforest technologies hybrid electric turbo*, Hämtad 2016-04-11 (2016b)
http://www.elforest.se/sites/default/files/produktblad_elforest_technologies_electric_turbo1_2.pdf

Elforsk, *Vätgas som energibärare – Några slutsatser*, Elforsk. Hämtad 2016-05-11
<http://www.elforsk.se/Programomraden/Omv--System/Avslutade-program/Vatgas/>

Energy.gov, *Hydrogen production: natural gas reforming*, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Hämtad 2016-05-11
<http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming>

Fueleconomy, *Challenges*, Official U.S. government source for fuel economy information. Hämtad 2016-09-06
https://www.fueleconomy.gov/feg/fcv_challenges.shtml

Hestra, *Steeltrac E3-30*, Hämtad 2016-05-31 (2016)
<http://www.hestratruck.se/sv/nya-truckar/dragtruckarflaktruckar/steeltrac/steeltrac-e3-30/?id=1443>

HIT-TEN T, *Hydrogen Infrastructure for Transport*, Hämtad 2016-05-31 (2016)
<http://www.hit-tent.eu/>

Holmen, *Iggesunds bruk*, Hämtad 2016-04-29 (2016)
<https://www.holmen.com/sv/Om-Holmen/Affarsomraden/Iggesund-Paperboard/Iggesunds-bruk/>

Jernkontorets energihandbok, *Energiinnehåll i LD-gas*, Hämtad 2016-05-26 (2016a)
<http://www.energihandbok.se/energiinnehall-i-ld-gas/>

Jernkontorets energihandbok, *Energiinnehåll i masugns gas*, Hämtad 2016-05-26 (2016b)
<http://www.energihandbok.se/energiinnehall-i-masugns-gas/>

Kalmarglobal, *Kalmar i korthet*, Hämtad 2016-08-08 (2016)
<http://www.kalmarglobal.se/om-oss/kalmar-i-korthet/>

Kalmar Motor AB, *Releasing the new electric and hybrid tractors*, Hämtad 2016-05-26
<http://www.kalmarmotor.com/products/tbl-hybrids/>

Konecranes, *Konecranes presents the world's first hybrid reach stacker*, Hämtad 2016-04-11(2013)
<http://www.kclifftrucks.com/products/reach-stackers/worlds-first-hybrid-reach-stacker>

Konecranes, *Om Konecranes*, Hämtad 2016-08-08 (2016) <http://www.konecranes.se/om-konecranes/om-konecranes>

Linde Material Handling, *Launch of H2IntraDrive project: Sustainable intralogistics, sustainable production*, Hämtad 2016-05-31 (2013)
http://www.linde-mh.com/en/main_page/news/pressreleases/pressreleases_1_4032.jsp

MKS Instruments, *Application Note – Hydrogen Purity Analysis by FTIR* (2013)
<http://www.mksinst.com/Docs/r/OnLineHydrogenPurityAnalysis-AppNote.pdf>

Ny Teknik, *Sandvik tankar vätgas*, Marie Alpman Ny Teknik 2014-10-14 (2014)
<http://www.nyteknik.se/nyheter/sandvik-tankar-vatgas-6397457>

Proton Motor, *PM 400 Stack*, Hämtad 2016-09-09 (2016) <http://www.proton-motor.com/pm-400-stack-hydrogen-fuel-cell-technology/>

- Ottossontruck, *Semax El 120-600tp*, Hämtad 2016-05-31 (2015)
http://www.ottossontruck.se/motviktstruckar/semaxel-120-600tp__279
- Still, *Hamburg airport tests innovative truck technology*, Hämtad 2016-05-31 (2016a)
<http://www.still.co.uk/hamburg-airport-truck-technology.0.0.html>
- Still, *Ecologic Fuel Cell Technology at Port of Hamburg*, Hämtad 2016-05-31 (2016b)
<http://www.still.de/589+M5659b72b7e2.0.30.html>
- Toyota Industries Corporation, *Fuel cell forklift truck development status* (2015)
<http://sunjet-project.eu/sites/default/files/Toyota%20Industries-Suzuki.pdf>
- Toyota Material Handling, *Franska företaget FM Logistics testar bränslecellstruckar tillsammans med Toyota Material Handling* (2015)
<http://www.toyota-forklifts.se/Sv/News/News/Pages/fm-logistics-pilots-fuel-cell-trucks-with-tmh.aspx>, (2015)
- UOP, *UOP Polybed Pressure Swing Adsorption (PSA) System* (2016)
<http://www.uop.com/?document=psa-systems-for-hydrogen-production-by-steam-reforming&download=1>
- Vätgas Sverige, *Sveriges största kolförbrukare vill gå över till vätgas*, Vätgas Sverige (2016a)
<http://www.vatgas.se/2016/04/04/sveriges-storsta-kolforbrukare-vill-ga-over-till-vatgas/>
- Vätgas Sverige, *Vätgasstation byggs i Sandviken*, Vätgas Sverige (2016b)
<http://www.vatgas.se/2016/03/30/vatgasstation-i-sandviken/>

MUNTliga KÄLLOR

- Ahlqvist B, Projektledare, Uddeholm, 2016-04-22
- Alestig B, VD, Linde Material Handling AB Sverige, 2016-06-01
- Andersson M, Chef Truckutveckling, Kalmar Cargotec Group, 2016-07-08
- Andersson R, Affärsutvecklare – Clean Energy, AGA, 2016-04-18 & 2016-05-13
- Arnesson T, Machine safety Engineer, Konecranes Lift Trucks, 2016-08-08
- Asp P, Transportansvarig, Ovako, 2016-07-07
- Bengtsson S, Energisamordnare, Avesta Works, Outokumpu, 2016-04-21
- Ekman T, tidigare Transportchef vid SSAB i Oxelösund, 2011.
- Eriksson P, Chef för intern service, Uddeholms AB, 2016-05-12
- Haglund E, Flödestekniker – Transport & Utlastning, SSAB EMEA AB, Borlänge, 2016
- Hirsch T, Energy Affairs Manager, SSAB, 2016-06-29
- Hård G, Chef för interna transporter, SSAB Oxelösund, 2016-05-02, 2016-06-30 & 2016-09-20
- Larsson P-O, Maskinansvarig, Skärnäs Hamn, Iggesund, 2016-04-29
- Niva R, Chef fordonsverkstad, SSAB EUROPE, Luleå, 2016-06-27
- Pettersson J, Energy Managment, SSAB Special Steels, Oxelösund, 2016-04-05

Robertsson O, Product Business Manager, Cargotec Sweden AB, 2016-09-20

Roos D, Project Manager, Sandvik Material Technology, 2016-03-30 & 2016-05-27

Ruist G, Miljöchef, Outokumpu Stainless AB, 2016-04-21

Salievski R, VD, Still Sverige AB & Still Danmark A/S, 2016-06-01

Senneryd M, Senior Applications Manager Product Management, Toyota Material Handling Europe, 2016-04-01 & 2016-05-11

Valeur S, Energisamordnare, Iggesunds Bruk, 2016-06-30

Wiberg E, Vätgas Sverige, Vätgasseminarium 2015-09-18 Stockholm

Zetterlund E, VD/CEO, Oxelösunds Hamn AB, 2016-05-10

Appendix

A. ISO 14687-2:2012

Riktlinjer för kvalitet för vätgas som avses att användas i PEM-bränsleceller.

Tabell 21 Riktlinjer för vätgaskvalitet för PEM bränsleceller enligt ISO 14687 – 2:2012

Förorening	Maximal halt enligt ISO 14687 – 2:2012 (ppm)
Ammoniak (NH ₃)	0,10
Kolmonoxid (CO)	0,20
Koldioxid (CO ₂)	2,00
Formaldehyd (H ₂ CO)	0,01
Metansyra (HCOOH)	0,20
Total mängd kolväten	2,00
Metan (CH ₄)	0,10
Etan (C ₂ H ₆)	0,10
Etylen (C ₂ H ₄)	0,10
Propan (C ₃ H ₈)	0,01
Vatten (H ₂ O)	5,00
Syre (O ₂)	5,00
Helium (He)	300
Kvävgas/Argon (N ₂ /Ar)	100
Total mängd svavelföreningar	0,004
Total mängd halogenföreningar	0,05
Maximal partikelkoncentration	1 mg/kg

B. BRÄNSLEDATA

Bränsledata är hämtat från <http://www.energihandbok.se/formler-och-berakningar-index/> (2016)

Koksugns gas

Bränsledata - Koksugns gas						
Kemisk beteckning	-					
C [-]	0,42					
H [-]	2,44					
O [-]	0,09					
C/H [-]	0,17					
Molmassa [g/mol]	10,25					
Koncentration [mol/Nm³] (ideala gaslagen)	44,61					
Molvolyt [Nm³/kgmol] (ideala gaslagen)	22,42					
Densitet [kg/Nm³] (ideala gaslagen)	0,46					
Värmevärde						
Enhet	kJ/Nm³	kWh/Nm³	kJ/kg	kWh/kg	kJ/mol	kWh/mol
HHV (förbränningsentalpi)	21470,31	5,9640	98325	27,3124	481,3268	0,1337
LHV	19016,14	5,2823	83980	23,3278	426,3086	0,1184
Emissionstal för koldioxid						
Enhet	mol _{CO2} /mol	kg _{CO2} /kg	kg _{CO2} /MJ (LHV)	kg _{CO2} /MJ (HHV)	kg _{CO2} /kWh (LHV)	kg _{CO2} /kWh (HHV)
Emissionstal CO ₂	0,395123	0,968	0,002	0,002	0,079	0,085
Brännbarhet						
Gräns	Undre			Övre		
Flamgräns i luft [volym%]	4,8			32,5		
Tändtemperatur						
Oxidant	Luft			Syre		
Tändtemperatur [°C]	na			na		
Stökiometrisk fullständig förbränning						
Oxidationsmedel	Luft			Syrgas		
Enhet	Nm³/Nm³	Nm³/kg		Nm³/Nm³	Nm³/kg	
Teoretisk syreåtgång	0,99	2,16		0,99	2,16	
Teoretisk luftåtgång	4,70	10,28		-	-	
Rökgaskomponenter	CO ₂	H ₂ O	N ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂
Förbränningsprodukter [Nm³/kg _{bränsle}]	0,92	2,67	8,12	0,92	2,67	0,00
Rökgassammansättning [%]	7,9	22,8	69,3	25,7	74,3	0,0
Rökgasvolyt [Nm³/kg _{bränsle}]	11,71			3,59		
Adiabatisk flamtemperatur [°C]	na			na		

LD-gas

Bränsledata - LD-gas						
Kemisk beteckning	-					
C [-]	0,81					
H [-]	0,03					
O [-]	0,95					
C/H [-]	27,00					
Molmassa [g/mol]	29,72					
Koncentration [mol/Nm³] (ideala gaslagen)	44,61					
Molvolyt [Nm³/kmol] (ideala gaslagen)	22,42					
Densitet [kg/Nm³] (ideala gaslagen)	1,33					
Värmevärde						
Enhet	kJ/Nm³	kWh/Nm³	kJ/kg	kWh/kg	kJ/mol	kWh/mol
HHV (förbränningsentalpi)	8784,605	2,4402	9002	2,5007	196,9355	0,0547
LHV	8754,455	2,4318	8668	2,4077	196,2596	0,0545
Emissionstal för koldioxid						
Enhet	mol _{CO2} /mol	kg _{CO2} /kg	kg _{CO2} /MJ (LHV)	kg _{CO2} /MJ (HHV)	kg _{CO2} /kWh (LHV)	kg _{CO2} /kWh (HHV)
Emissionstal CO ₂	0,68	1,068	0,011	0,011	0,380	0,380
Brännbarhet						
Gräns	Undre			Övre		
Flamgräns i luft [volym%]	18,0			71,2		
Tändtemperatur						
Oxidant	Luft			Syre		
Tändtemperatur [°C]	na			na		
Stökiometrisk fullständig förbränning						
Oxidationsmedel	Luft			Syrgas		
Enhet	Nm³/Nm³	Nm³/kg		Nm³/Nm³	Nm³/kg	
Teoretisk syreatgång	0,34	0,26		0,34	0,26	
Teoretisk luftåtgång	1,63	1,23		-	-	
Rökgaskomponenter	CO ₂	H ₂ O	N ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂
Förbränningsprodukter [Nm³/kg _{bränsle}]	0,61	0,01	0,97	0,61	0,01	0,00
Rökgassammansättning [%]	38,3	0,7	61,0	98,2	1,8	0,0
Rökgasvolyt [Nm³/kg _{bränsle}]	1,59			0,62		
Adiabatisk flamtemperatur [°C]	na			na		

Masugnsgas

Bränsledata - Masugnsgas						
Kemisk beteckning	-					
C [-]	0,42					
H [-]	0,04					
O [-]	0,61					
C/H [-]	10,50					
Molmassa [g/mol]	30,51					
Koncentration [mol/Nm³] (ideala gaslagen)	44,61					
Molvolum [Nm³/kmol] (ideala gaslagen)	22,42					
Densitet [kg/Nm³] (ideala gaslagen)	1,36					
Värmevärde						
Enhet	kJ/Nm³	kWh/Nm³	kJ/kg	kWh/kg	kJ/mol	kWh/mol
HHV (förbränningsentalpi)	3174,407	0,8818	5169	1,4359	71,16466	0,0198
LHV	3134,207	0,8706	4723	1,3120	70,26345	0,0195
Emissionstal för koldioxid						
Enhet	mol _{CO2} /mol	kg _{CO2} /kg	kg _{CO2} /MJ (LHV)	kg _{CO2} /MJ (HHV)	kg _{CO2} /kWh (LHV)	kg _{CO2} /kWh (HHV)
Emissionstal CO ₂	0,231	0,363	0,004	0,004	0,129	0,129
Brännbarhet						
Gräns	Undre			Övre		
Flamgräns i luft [volym%]	48,3			70,7		
Tändtemperatur						
Oxidant	Luft			Syre		
Tändtemperatur [°C]	na			na		
Stökiometrisk fullständig förbränning						
Oxidationsmedel	Luft			Syrgas		
Enhet	Nm³/Nm³	Nm³/kg		Nm³/Nm³	Nm³/kg	
Teoretisk syreatgång	0,13	0,09		0,13	0,09	
Teoretisk luftåtgång	0,60	0,44		-	-	
Rökgaskomponenter	CO ₂	H ₂ O	N ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂
Förbränningsprodukter [Nm³/kg _{bränsle}]	0,31	0,01	0,35	0,31	0,01	0,00
Rökgassammansättning [%]	46,1	2,2	51,7	95,5	4,5	0,0
Rökgasvolum [Nm³/kg _{bränsle}]	0,67			0,32		
Adiabatisk flamtemperatur [°C]	na			na		

C. INTERVJUFRÅGOR

Följande frågor har ställts till olika aktörer såsom truckanvändare, truck- och fordonstillverkare, en gasleverantör samt till representanter för medlems- och partnerskapsorganisationer.

Till truckanvändarna har följande frågor ställts:

- Bedriver ni idag några aktiviteter inom området bränsleceller och vätgas?
- Vilka för- och nackdelar ser ni med bränslecellsdrift av era truckar och fordon?
- För vilka fordon och maskiner anser ni att bränslecellsdrift är intressant?
- Hur ser ni på vätgas och bränsleceller i framtiden för truck- och fordonstillämpningar inom er verksamhet?

Till truck- och fordonstillverkare har följande frågor ställts:

- Bedriver ni idag någon forskning eller utveckling inom området bränsleceller och vätgas?
- Vilka för- och nackdelar ser ni med bränslecellsdrift?
- Vad ser ni som de största hindren för framtagning och lansering av fordon och truckar med bränsleceller?
- Vilka är de mest lämpliga tillämpningarna för bränsleceller anser ni?
- Kan ni leverera en truck eller ett fordon med bränsleceller om en kund önskar detta?
- Hur ser ni på vätgas och bränsleceller i framtiden för fordonstillämpningar?

Till gastillverkaren har följande frågor ställts:

- Bedriver ni idag forskning eller utveckling inom området bränsleceller och vätgas?
- Vilka för- och nackdelar ser ni med bränsleceller för fordon och truckar?
- Vilka produkter har ni idag för produktion, transport, lagring och tankning av vätgas?
- Hur ser ni på vätgas och bränsleceller i framtiden för fordonstillämpningar?

Till medlems- och partnerskapsorganisationer har följande frågor ställts:

- Vilka för- och nackdelar ser ni med bränsleceller för fordon och truckar?
- Hur ser ni på vätgas och bränsleceller i framtiden för fordonstillämpningar?
- Vad anser ni är de största hindren för implementering av fordon och truckar med bränsleceller?

D. TRUCKAR OCH ARBETSMASKINER VID IGGESUNDS BRUK OCH SKÄRNÄS HAMN

Tabell 22 Truckar idag och vilka som kan vara lämpliga för bränslecellsdrift i framtiden vid Skärnäs Hamn

Fordon	Storlek	Antal (idag)	Drivmedel (idag)	Drivmedel (framtid)	Antal (framtid)
Truck	3 ton	1	Diesel	Batteri/bränslecell	1
Truck	9 ton	6	Diesel	Batteri/bränslecell	7

Fordon	Storlek	Antal (idag)	Drivmedel (idag)	Drivmedel (framtiden)	Antal (framtiden)
Truck	15 ton	3	Diesel	Batteri/bränslecell	2
Truck	25 ton	2	Diesel	Batteri/bränslecell	2
Dragtruck	Typ RT323	5	Diesel	Batteri/bränslecell	6
Material-hanterare	7 ton på 23 m	2	Diesel	Direktel	2
Hjullastare	12 ton	3	Diesel	Batteri/bränslecell	3
Lastbil	FH12	2	Diesel	Batteri/bränslecell	2
Sopmaskin	Liten	1	Diesel	Batteri/bränslecell	1

Tabell 23 Truckar idag och vilka som kan vara lämpliga för bränslecellsdrift i framtiden vid Iggesund Terminal

Fordon	Storlek	Antal (idag)	Drivmedel (idag)	Drivmedel (framtiden)	Antal (framtiden)
Truck	8 ton	1	Diesel	Batteri/bränslecell	1
Truck	8 ton	2	Batteri	Batteri/bränslecell	3
Truck	3 ton	5	Batteri	Batteri/bränslecell	5
Sopmaskin	Liten	1	Batteri	Batteri/bränslecell	1

Tabell 24 Truckar idag och vilka som kan vara lämpliga för bränslecellsdrift i framtiden vid Vedgården

Fordon	Storlek	Antal (idag)	Drivmedel (idag)	Drivmedel (framtiden)	Antal (framtiden)
Vedgårdstruck	32 ton	3	Diesel	Batteri/bränslecell	3
Hjullastare	12 ton	2	Diesel	Batteri/bränslecell	2

Tabell 25 Truckar idag och vilka som kan vara lämpliga för bränslecellsdrift i framtiden vid Iggesund bruk

Fordon	Storlek	Antal (idag)	Drivmedel (idag)	Drivmedel (framtiden)	Antal (framtiden)
Truck	8 ton	2	Batteri	Batteri/bränslecell	2
Hjullastare	12 ton	1	Diesel	Batteri/bränslecell	1

Tabell 26 Truckar idag och vilka som kan vara lämpliga för bränslecellsdrift i framtiden vid Strömsbruk

Fordon	Storlek	Antal (idag)	Drivmedel (idag)	Drivmedel (framtiden)	Antal (framtiden)
Truck	8 ton	2	Diesel	Batteri/bränslecell	2

E. BERÄKNINGAR ENERGI OCH MILJÖEFFEKTER

Dieselförbrukning (l/h)	8
Drifttimmar (h/år)	3 500
Verkningsgrad dieseldrift	36 %
Verkningsgrad eldrift	91 %
Verkningsgrad bränslecell	70 %
Verkningsgrad bränslecellsdrift	64 %
Verkningsgrad elektrolysör	80 %
Energiinnehåll diesel (kWh/l)	9,8
CO ₂ (g/l diesel)	2 640
Nordisk elmix (g CO ₂ -ekv/kWh)	76,4

Dieseldrift:

Tillförd energi i form av diesel: $8 \text{ l/h} \times 3\,500 \text{ h/år} \times 9,8 \text{ kWh/l} = 274\,400 \text{ kWh/år}$

CO₂ från dieseltruck: $8 \text{ l/h} \times 3\,500 \text{ h/år} \times 2,64 \text{ kg/l} = 73\,920 \text{ kg/år}$

Vätgasdrift:

Energi för drift: $274\,400 \text{ kWh/år diesel} \times 0,36 / 0,64 = 154\,350 \text{ kWh}$

Tillförd energi för framställning av vätgas via elektrolys: $154\,350 \text{ kWh} / 0,8 = 192\,938 \text{ kWh/år}$

CO₂ från vätgastruck: $192\,938 \text{ kWh} \times 0,0764 \text{ kg/kWh} = 14\,740 \text{ kg/år}$

Energi- och miljöeffekter

Minskning tillförd energi: $(1 - (192\,938 \text{ kWh} / 274\,400 \text{ kWh})) \times 100 = 30 \%$

Minskning CO₂-utsläpp: $(1 - (14\,740 \text{ kg} / 73\,920 \text{ kg})) \times 100 = 80 \%$

F. BERÄKNINGAR POTENTIAL FÖR VÄTGASGENERERING

Energiinnehåll vätgas	119 MJ/kg
Densitet vätgas (normalt tryck och temperatur)	90 g/m ³
Energi i 1 Nm ³ vätgas	2,975 kWh (10,71 MJ)
Densitet vätgas, 350 bar	30 kg/m ³
Energi i 1 m ³ vätgas, 350 bar	992 kWh

Verkningsgrad för produktion av el från restgaser: 25 – 40 %

Mängd restgaser för att driva en 16 tons truck ett år:

- Med 25 % verkningsgrad för produktion av el från restgaser: 192 938 kWh/år / 0,25 = 771 750 kWh
- Med 40 % verkningsgrad för produktion av el från restgaser: 192 938 kWh/år / 0,40 = 482 344 kWh

Vätgasförbrukning för en 16 tons truck:

- Energi för drift av vätgastruck: 154 350 kWh / 3 500 h = 44,1 kWh/h
- Mängd vätgas: 44,1 kWh / 2,975 kWh = 15 Nm³ vätgas

Uppskattad energiförbrukning vid vätgasdrift:

- Tung motviktstruck: 8 l/h × 3 500 h/år × 9,8 kWh/l × 0,36 / 0,64 = 154 350 kWh
- Dragtruck: 15 l/h × 4 500 h/år × 9,8 kWh/l × 0,36 / 0,64 = 372 094 kWh
- Grensletruck: 25 l/h × 2 250 h/år × 9,8 kWh/l × 0,36 / 0,64 = 310 078 kWh

Total energiförbrukning och teoretisk potential för vätgasproduktion:

- SSAB Oxelösund:
 - Total energiförbrukning för drift av truckarna: 12 × 154 MWh + 18 × 372 MWh = 8,5 GWh
 - Teoretisk potential för vätgasproduktion: 239 GWh överskottsenergi
 - 25 % verkningsgrad: 238 GWh × 0,25 × 0,8 = 48 GWh
 - 40 % verkningsgrad: 238 GWh × 0,40 × 0,8 = 76 GWh
- Ovako Hofors:
 - Total energiförbrukning för drift av truckarna: 2 × 154 MWh + 5 × 372 MWh + 5 × 310 MWh = 3,7 GWh
- Uddeholms:
 - Total energiförbrukning för drift av truckarna: 9 × 154 MWh + 4 × 372 MWh = 2,9 GWh
- Outokumpu:
 - Total energiförbrukning för drift av truckarna: 16 × 154 MWh + 31 × 372 MWh + 2 × 310 MWh = 14,6 GWh
 - Teoretisk potential för vätgasproduktion: 103 GWh överskottsenergi
 - 25 % verkningsgrad: 103 GWh × 0,25 × 0,8 = 21 GWh
 - 40 % verkningsgrad: 103 GWh × 0,40 × 0,8 = 33 GWh
- Skärnäs Hamn:
 - Total energiförbrukning för drift av truckarna: 2 × 154 MWh + 5 × 372 MWh = 2,2 GWh
- Sandvik Materials Technology:
 - Teoretisk potential för vätgasproduktion: 400 000 Nm³ vätgas
 - 400 000 Nm³ × 2,975 kWh/Nm³ = 1,2 GWh

G. BERÄKNINGAR KOSTNADER**Energi- och underhållskostnader:****Dieseldrift**

- Energikostnad per truck och år: $8 \text{ l/h} \times 3\,500 \text{ h/år} \times 9,5 \text{ kr/l} = 266\,000 \text{ kr/år}$
- Underhållskostnad per truck och år: $3\,500 \text{ h/år} \times 20 \text{ kr/h} = 70\,000 \text{ kr/år}$
- Energi- och underhållskostnad per truck och år: $266\,000 \text{ kr/år} + 70\,000 \text{ kr/år} = 336\,000 \text{ kr/år}$

Vätgasdrift

- Energikostnad per truck och år: $55,125 \text{ kWh/h} \times 3\,500 \text{ h/år} \times 1 \text{ kr/kWh} = 192\,940 \text{ kr/år}$
- Underhållskostnad per truck och år: $3\,500 \text{ h/år} \times 2,5 \text{ kr/h} = 8\,750 \text{ kr/år}$
- Energi- och underhållskostnad per truck och år: $192\,940 \text{ kr/år} + 8\,750 \text{ kr/år} = 201\,700 \text{ kr/år}$

Batterielektrisk drift

- Energikostnad per truck och år: $34 \text{ kWh/h} \times 3\,500 \text{ h/år} \times 1 \text{ kr/kWh} = 120\,000 \text{ kr/år}$
- Underhållskostnad per truck och år: $3\,500 \text{ h/år} \times 2,5 \text{ kr/h} = 8\,750 \text{ kr/år}$
- Energi- och underhållskostnad per truck och år: $120\,000 \text{ kr/år} + 8\,750 \text{ kr/år} = 128\,750 \text{ kr/år}$

Nuvärdesberäkning

Jämförelsekalkyl för truckar						
Kalkylränta 5 %			Dieseltruck	Bränslecellstruck	1 batteri	Eltruck
						2 batterier
					1 900 000	1 900 000
Grundkostnad för en "truckplattform"						
Tillkommande komponenter med samma livslängd som trucken						
	Partikelfilter		90 000			
	Vägstank (på truck)			11 700		
	Batteri			2 560	300 000	600 000
	Batteriladdare				85 000	85 000
	Bränslecell			77 080		
Total initial investering			1 990 000	1 991 340	2 285 000	2 585 000
Kalkylränta		1,15				
Restvärde		10%	199 000	0	0	0
Energikostnad kr/år			336 000	201 700	128 750	128 750
Total energikostnad 6 år			1 271 586	763 330,1594	487 252,1	487 252,1
Batterikostnad 6 år			0	1 683,241 555	197 254,9	0
Bränslecell extra			0	506 81,3512	0	0
Vägstankstation total investering				500 000		
Annuitet total investering				92 2400		
Nuvärde 6 år per truck				116 360,2279		
Totalt nuvärde för 6 år			3 062 586	2 923 395	2 969 507	3 072 252
			100%	95,5	97,0	100,3

BRÄNSLECELLSDRIFT AV TUNGA TRUCKAR

Här redovisas resultaten från en förstudie av potentialen för bränslecellsdrift av tunga truckar inom processindustrin. Den här industrin står för en stor andel av koldioxidutsläppen i Sverige samtidigt som det förekommer en omfattande och energikrävande transport- och logistikverksamhet. Processindustrin genererar också stora mängder överskottsenergi i form av värme och ånga, liksom olika gasfraktioner, däribland vätgas. Det här är energi som idag återanvänds i en begränsad omfattning.

Resultaten visar att det vid ett flertal processindustrier finns möjlighet att producera eller utvinna en tillräcklig mängd vätgas för att driva verksamhetens tunga truckar. Men det krävs att truckarna förses med elektrisk drivlina och bränsleceller. En övergång från dieseldrift till vätgasdrift skulle kunna innebära en 30-procentig energibesparing och en reduktion av koldioxidutsläppen med 80 procent.

En utmaning inför en omställning från diesel till vätgas är att tunga truckar och maskiner i dag saknar elektrisk drivlina. Dessutom bedöms kostnaderna för att investera, främst i nya vätgastankanläggningar, utgöra ett hinder för en övergång till vätgasdrift.

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