

BRÄNSLECELLER I INTERMODALA TRANSPORTSYSTEM

RAPPORT 2018:478



TEKNIKBEVAKNING
BRÄNSLECELLER



Swedish
Electromobility
Centre



Bränsleceller i intermodala transportsystem

Bränsleceller i fordon, hanteringsmaskiner och lok

ANGELIKA TREIBER

ISBN 978-91-7673-478-0 | © Energiforsk mars 2018 | Omslagsfoto: TFK

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

Förord

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

Denna rapport, som har tagits fram inom teknikbevakningsprojektet, är en syntes, eller sammanfattade rapport, där framförallt den statligt finansierade bränslecellsverksamheten i Sverige beskrivs. I rapporten görs även en utblick och analys av världsmarknaden för olika typer av bränsleceller.

Projektet har genomförts av Angelika Treiber, TFK.

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

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

Stockholm mars 2018

Bertil Wahlund, Energiforsk AB

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



**Swedish
Electromobility
Centre**

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

Sammanfattning

Intermodala transporter, som utgörs av en kombination av väg- och järnvägstransporter, har ofta betydande fördelar ur energiförbruknings- och miljösynpunkt jämfört med direkta vägtransporter. De svaga länkarna, utifrån energi-, kostnads- och miljöaspekter, är omlastningar där främst förbränningsmotordrivna hanteringsmaskiner används, samt anslutningstransporter på väg som utförs med förbränningsmotordrivna fordon. Vidare förekommer dieseldrivna lok för växling vid såväl intermodala terminaler som inom den tunga industrins anläggningar. Inom detta område finns därför en stor utvecklings- och förbättringspotential avseende möjligheter att använda alternativa drivsystem och drivmedel.

Anläggningar för vätgasförsörjning av fordon är ofta kostsamma. Det kan därför krävas att det finns ett visst antal fordon, eller andra vätgas användare, till exempel truckar och/eller växellok, i systemet för att kunna bära de höga investeringskostnader som kan uppstå. Intermodala terminaler kan utgöra intressanta noder i ett sådant system. En ansats i denna studie har därför varit att undersöka förutsättningarna för att etablera anläggningar för bränslepåfyllning och/eller vätgasgenerering vid de intermodala terminalerna. Anläggningarna avses därigenom kunna utnyttjas av de vätgasdrivna vägfordonen samt eventuella vätgasdrivna truckar, växellok och andra fordon som används vid terminalerna.

Studien har kartlagt och analyserat hur bränslecellsdrivna vägfordon, hanteringsmaskiner och/eller växellok kan utgöra en del i ett intermodalt transportsystem respektive om vätgasdrivna växellok kan utgöra en del i ett transportsystem inom den tunga industrin. Vidare har det kartlagts vilka effekter detta kan medföra avseende energiförbrukning, miljöpåverkan och kostnader. I studien har två intermodala terminaler och två industrianläggningar studerats.

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

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

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

Summary

Intermodal transports, consisting of a combination of road and rail transport, have often significant energy and environmental benefits compared to direct road transports. The weak links, with respect to energy, cost and environmental aspects, are transshipments where mainly combustion-driven handling machines are used, as well as road haulage services carried out with ICE vehicles. There are also diesel-powered locomotives both at intermodal terminals and at industry facilities. In this area, there is therefore a great potential to develop and improve the transport system by using alternative powertrains and fuels.

Facilities for hydrogen supply for vehicles are often expensive. Therefore, it may be required that there are a certain amount of vehicles, or other hydrogen users, such as trucks and/or locomotives, in the system in order to bear the high investment costs. Intermodal terminals can be interesting nodes in such a system. This study has therefore investigated the prerequisites for establishing facilities for hydrogen refuelling and/or hydrogen generation at intermodal terminals. This means that the facilities can be utilized by hydrogen-powered road vehicles and hydrogen-powered material handling machines, locomotives and other vehicles that are used at the terminals.

The study has mapped and analysed how fuel cell driven road vehicles, handling machines and/or locomotives can be a part of an intermodal transport system, and whether hydrogen-powered locomotives can be a part of the transport system at industrial plants. Furthermore, it has been investigated what effects this can have regarding energy consumption, environmental impact and costs. In the study, case studies have been made for two intermodal terminals and two industrial plants.

The study shows that a shift from diesel fuel to fuel cells and hydrogen can result in a significant reduction in carbon dioxide emissions. Compared with diesel operation, hydrogen operation can lead to lower energy consumption. However, battery-electric operation provides lower power consumption and operating costs, but is not always a possible solution.

Diesel locomotives, which are used for switching at terminals and in industrial areas, can be replaced by fuel cells and hydrogen if other machines and vehicles that operates in the area are using hydrogen. Otherwise, it is difficult to make the investment profitable because there are often only a few locomotives within the relevant areas. The locomotives have also a limited number of operating hours.

Hydrogen-based internal transport systems are believed to be possible to implement at large industrial plants where there is a large amount of energy needed for the transports and where day-to-day operations are common. For intermodal terminals where the machines only operate for a few hours a day and the energy consumption is low, a battery-electric operation is considered to be a better solution. On the other hand, if connecting road transports can be carried out with hydrogen, hydrogen operation can be a possible option, even for terminals with few handling machines and locomotives.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte	8
1.3	Metod	9
2	Omvärldsbevakning	10
2.1	Teknikutveckling	10
2.1.1	Kartläggning	10
2.2	Bränsleceller i fordon och maskiner	11
2.2.1	Dragbilar och lastbilar	11
2.2.2	Arbetsmaskiner, truckar och mobil hanteringsutrustning	12
2.2.3	Växellok	13
3	Fallstudier	15
3.1	Antaganden	15
3.1.1	Kostnader	15
3.1.2	Drivmedel och drivlinor	18
3.2	Fallstudier	19
3.2.1	Coops terminal i Bro	19
3.2.2	Jernhusens kombiterminal i Helsingborg	22
3.2.3	SSAB i Oxelösund	24
3.2.4	SSAB i Borlänge	26
4	Lok	29
5	Resultat och slutsatser	31
5.1	Resultat	31
5.1.1	Bränsleceller inom intermodala transportsystem	31
5.1.2	Jämförelse av vätgasdrift med andra alternativa drivmedel	31
5.1.3	Uppskalning till nationell nivå	32
5.1.4	Styrmedel	33
5.2	Slutsatser	33
5.3	Fortsatta studier	34
	Referenser	35
	Litteratur	35
	Elektroniska källor	36
	Muntliga källor	37

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Transportsektorn står för ca 25 % av Sveriges energianvändning (Energimyndigheten, 2015). 2013 svarade transportsektorn därtill för nästan en tredjedel av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser (Trafikverket, 2014) varav vägtransporter stod för majoriteten av utsläppen från de inrikes transporterna. Sedan 2014 har transportsektorns utsläpp dessutom ökat. Samtidigt fastslås i de transportpolitiska målen och miljö kvalitetsmålen att transportsystemet ska anpassas till en god och hälsosam miljö med en ambition att öka energieffektiviseringen och bryta fossilberoendet.

Intermodala transporter, som utgörs av en kombination av väg- och järnvägstransporter, har ofta betydande fördelar ur energiförbruknings- och miljösynpunkt vid jämförelse med direkta vägtransporter, främst på långa transportavstånd. De svaga länkarna, utifrån energi-, kostnads- och miljöaspekter, är omlastningar vid intermodala terminaler, där främst förbränningsmotordrivna hanteringsmaskiner används, samt anslutningstransporter på väg vilka utförs med förbränningsmotordrivna fordon respektive växling som utförs med dieseldrivna lok.

Växling utgör en väsentlig del av godstransportsystemet på järnväg. En av orsakerna till att diesellok används vid växling är att det saknas kontaktledning på en stor del av de spår där järnvägsvagnar lastas och lossas. Bland annat består problemen vid användning av diesellok i terminal- och växlingstjänst av att det i regel används äldre diesellok för detta ändamål. Detta medför sämre emissions- och bullerprestanda än om nya fordon istället skulle ha använts.

Inom detta område finns därmed en stor utvecklings- och förbättringspotential avseende fordonsutformning, alternativa drivsystem och alternativa drivmedel. Förutsättningarna för att använda olika typer av drivsystem och drivmedel beror på fordonens användnings- och körmonster samt på laddnings- samt bränslepåfyllningsmöjligheter inom de områden som fordonen rör sig. Anslutningstransporterna till de intermodala terminalerna är till största del lokala och sker på begränsade avstånd. Dessutom återvänder de vägfordon som används vid anslutningstransporter vanligen till de intermodala terminalerna vilket medför att det är möjligt att koncentrera laddnings- och/eller bränslepåfyllningen till terminalerna.

I en tidigare förstudie har potentialen för att införa bränslecellsdrift av tunga truckar inom svenska processindustrier undersökts. Förstudien indikerade att bränslecellsdrift, med vätgas som energibärare, har potential att avsevärt minska både energiförbrukningen och koldioxidutsläppen. Vidare identifierades de höga investeringskostnaderna för bland annat vätgasinfrastrukturen som ett av de största hindren för framtagning och implementering av vätgasdrivna fordon (Treiber, 2016).

Anläggningar för vätgasförsörjning av fordon (tankanläggningar) är kostsamma. Det krävs därför att det finns ett visst antal fordon, eller andra vätgasanvändare,

till exempel truckar och växellok, i systemet för att kunna bära de höga investeringskostnader som kan uppstå. Intermodala terminaler kan utgöra intressanta noder i ett sådant system. En ansats i denna studie är därför att undersöka förutsättningarna för att etablera anläggningar för bränslepåfyllning och/eller vätgasgenerering vid de intermodala terminalerna. Anläggningarna avses därigenom kunna utnyttjas av de vätgasdrivna vägfordonen samt av eventuella vätgasdrivna truckar, växellok och andra fordon som används vid eller i anslutning till terminalerna.

Bristen på vätgasinфраstruktur är ett av de största hindren för implementering av vätgasdrivna vägfordon. Genom att ett system med anläggningar för vätgasförsörjning av fordon byggs upp vid de intermodala terminalerna etableras en vätgasinфраstruktur som erhåller en grundläggande beläggning av de fordon för intermodala anslutningstransporter som kontinuerligt återkommer till terminalerna samt den mobila hanteringsutrustning (truckar) och de växellok som finns vid terminalerna. Eftersom vissa intermodala terminaler är etablerade i logistikcentrum kan det även vara möjligt för industrilok samt andra fordon som opererar vid eller i anslutning till logistikcentrumen att utnyttja vätgasinфраstrukturen.

1.2 SYFTE

Studien avser att analysera hur bränslecellsdrivna vägfordon, hanteringsmaskiner och/eller växellok kan utgöra en del i ett intermodalt transportsystem och vilka effekter detta kan medföra. Studien avser att ta fram en ansats avseende uppbyggnad av system för vätgasförsörjning av bränslecellsdrivna fordon för intermodala vägtransporter, hanteringsutrustning (truckar) samt växellok vid intermodala terminaler. En avsikt är att detta skall möjliggöra en högre utnyttjandegrad av vätgasinфраstrukturen vid intermodala terminaler.

Syftet med studien är att:

- Kartlägga och beskriva teknikutvecklingen i världen avseende tunga vägfordon, främst i form av dragbilar, hanteringsmaskiner samt växellok med bränsleceller och som drivs med vätgas.
- Ta fram en ansats för uppbyggnad av vätgasinфраstruktur för intermodala anslutningstransporter med vätgasdrivna vägfordon, hanteringsutrustning samt växellok vid intermodala terminaler. Detta i avsikt att skapa underlag för ett effektivt utnyttjande av den vätgasinфраstruktur som avses att etableras vid de intermodala terminalerna.
- Analysera vilka effekter (energiförbrukning, kostnad samt miljöpåverkan) ett intermodalt system med vägfordon, hanteringsmaskiner samt växellok vid intermodala terminaler medför samt att jämföra dessa effekter med effekterna av andra alternativa drivmedel och drivlinor.

1.3 METOD

En litteraturstudie och omvärldsanalys kring bränslecellsfordon, mobil hanteringsutrustning (truckar) samt industri- och växellok har genomförts. Litteraturstudierna har innefattat tillgänglig teknik samt prognoser för den framtida teknikutvecklingen inom området.

En ansats har sedan gjorts avseende uppbyggnad av system för vätgasförsörjning för vätgasdrivna fordon, hanteringsmaskiner och växellok vid de utvalda intermodala terminalerna/omlastningsplatserna utifrån litteraturstudien samt insamlad data från berörda aktörer. Utifrån ansatsen har energiförbrukning, kostnader och miljönytta med vätgasdrivna fordon, hanteringsmaskiner och växellok analyserats. En jämförelse mellan vätgasdrift och andra alternativa drivmedel och drivlinor har även genomförts. Utifrån analysen och jämförelserna har potentialen för bränslecellsdrift av fordon, maskiner och växellok vid intermodala terminaler samt växellok vid industrianläggningar bedömts.

Slutligen har en uppskalning till nationell nivå gjorts där effekterna av att införa vätgasdrift på flertalet större intermodala terminaler och andra industri- och terminalanläggningar i Sverige, där vägfordon, hanteringsmaskiner (såsom truckar) samt växellok används, analyserats. Vidare har en uppskalning till nationell nivå avseende potentiell användning av växellok med bränslecellsdrift vid olika industrianläggningar genomförts.

Teoretiska beräkningar tillsammans med verklig driftdata har använts för att utvärdera hur stora effekter avseende energiförbrukning, kostnader och koldioxidutsläpp som kan förväntas vid en övergång från dagens förbränningsmotordrivna fordon, maskiner och lok till vätgasdrift. Verkliga terminaler/omlastningsplatser har studerats.

2 Omvärldsbevakning

2.1 TEKNIKUTVECKLING

Utvecklingen kring bränslecellsbussar pågår och även bränsleceller för mellan- och tunga lastbilar är på väg ibland annat USA. Dagens bussar och lastbilar ger upphov till stora mängder koldioxidutsläpp och står för en stor del av utsläppen från transportsektorn i bland annat USA. Genom att etablera särskilda påfyllningsstationer för dessa fordon vid omlastningscentraler eller terminal- och lageranläggningar, gärna i kombination med påfyllningsstation för materialhanteringsmaskiner, kan utvecklingen påskyndas. Dock saknas demonstratorer och goda exempel på användning av för bränsleceller inom dessa applikationer (U.S. Department of Energy, 2017).

Företaget Plug Power har levererat nästan 15 000 bränslecellspack till lätta gaffeltruckar samt över 130 vätgaspåfyllningsanordningar. De har konstaterat att det är viktigt att leverera både vätgasinфраstruktur och fordon till kunden samt att kunden ofta efterfrågar en enhetlig lösning för hela fordonsflottan. Kunden vill oftast inte hantera olika typer av bränslen. Dessutom ökar lönsamheten om mängden vätgas som hanteras vid en anläggning ökar (Shumaker et al, 2017).

En viktig lärdom från demonstrationsprojekten i Kalifornien är att de fordon som testas måste ha samma eller bättre prestanda än dagens förbränningsmotordrivna fordon. Detta för att användarna skall ge positiva omdömen från demonstrationerna. Plug Power betonar även vikten av att tillhandahålla kunden rätt utbildning (Shumaker et al, 2017).

Det som främst behöver utvecklas när det gäller bränsleceller i fordon är kostnaden och livslängden (HTAC, 2016). Enligt U.S. Department of Energy kostar PEM bränsleceller för personbilar idag ca \$ 280/kW vid en produktionsvolym på 20 000 enheter/år (U.S. Department of Energy, 2017).

Målet, enligt U.S. Department of Energy, är att bränslecellerna skall uppnå en livslängd på 5 000 – 8 000 h och en kostnad på \$ 30 – \$ 40/kW till år 2020 (U.S. Department of Energy, 2017).

2.1.1 Kartläggning

Bränslecellstekniken har kommit längst när det gäller kommersialisering i Japan, Korea och USA. Japan hade 2015 ca 45 publika vätgaspåfyllningsstationer (HTAC, 2016).

Kalifornien satsar stort på "nollemissionsfordon" och delstaten är ledande avseende användning av bränslecellsfordon. Idag har Kalifornien även det största antalet stationära bränsleceller för energilagring. I Kalifornien finns även över 350 bränslecellspersonbilar och över 20 publika vätgaspåfyllningsstationer. I 26 delstater i USA finns totalt över 11 000 lätta lagertruckar. I flera delstater finns även bränslecellsbussar. Därav finns 18 bränslecellsbussar i trafik i Kalifornien (U.S. Department of Energy, 2016).

Kalifornien har som mål att till 2024 ha ett nätverk med 100 vätgaspåfyllningsstationer (HTAC, 2016). 2013 ingick 10 delstater i USA ett avtal om att implementera 3,3 miljoner elfordon inklusive bränslecellsfordon i vägtrafiksystemet (U.S. Department of Energy, 2016).

I Europa är Tyskland ledande inom bränslecellsområdet (Ridell et al, 2016). Tyskland hade 20 publika vätgaspåfyllningsstationer i slutet av 2015. Tyskland har som mål att till slutet av 2023 ha 400 vätgaspåfyllningsstationer (HTAC, 2016).

EU finansierar flertalet bränslecellsprojekt inom Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) som är ett publikt-privat partnerskap som stödjer forskning, utveckling och demonstrationer inom området bränsleceller och vätgas i Europa (Ridell et al, 2016).

I Europa finns några olika personbilsmodeller med bränsleceller. Det som hindrar implementeringen av personbilar med bränsleceller i Europa är bristen på vätgasinfrastruktur i form av påfyllningsstationer (Ridell et al, 2016).

I Sverige finns idag 4 publika vätgaspåfyllningsstationer. Dessa är placerade i Göteborg, Mariestad, Stockholm-Arlanda och Sandviken. Det finns även en handfull företag som tillverkar och/eller utvecklar bränsleceller i Sverige (Ridell et al, 2016).

2.2 BRÄNSLECELLER I FORDON OCH MASKINER

2.2.1 Dragbilar och lastbilar

En teknikutveckling för bränslecellsdrivna lastbilar pågår. Kalifornien ligger i framkant när det gäller fordon med bränslecellsdrift samt utbyggnad av vätgasinfrastruktur och delstaten stöder ett flertal utvecklingsprojekt som har till syfte att minska energiförbrukningen och koldioxidutsläppen (Mikulín et al, 2016).

I Kalifornien har CaFCP (California Fuel Cell Partnership) tagit fram en handlingsplan för att accelerera utvecklingen och kommersialiseringen av lätta och tunga lastbilar. I Kalifornien bedöms det att fordon som återkommer till samma terminaler eller utgångspunkter samt kortväga anslutningstransporter endast kräver en minimal utbyggnad av vätgasinfrastrukturen och därför bör utvecklingen inledas med dessa fordon (CaFCP, 2016).

I handlingsplanen konstateras att bränsleceller för lätta lastbilar har bedömts ha störst potential för kostnadseffektiviseringar om de användas som räckviddsförlängare i laddbara elektriska lastbilar (plug-in). För drag- och lastbilar som används till anslutningstransporter bedöms räckviddskravet vara minst 160 km (CaFCP, 2016).

I handlingsplanen poängteras vikten att dra lärdomar från tidigare bränslecellsbussprojekt. Dock måste det beaktas att lastbilar har en annan körcykel en bussar i linjetrafik vilket påverkar kraven samt hur balansen mellan batterier och bränsleceller ska utformas (CaFCP, 2016).

I Kalifornien pågår ett tiotal demonstrationsprojekt med lastbilar och dragbilar med bränsleceller. Exempelvis har företaget Vision tagit fram en terminaldragtruck, Vision Zero-TT, med bränslecellsdrift som inom ett hamnområde används för förflyttning av containrar och påhängsvagnar. Trucken har en dragkapacitet på 60 ton och har en räckvidd på 160 km. Vision har även tagit fram en dragbil, Vision Tyrano, med 36 tons bruttovikt och en räckvidd på 320 km. Dragbilen används för anslutningstransporter med containrar till och från hamnarna Los Angeles och Long Beach (San Pedro Bay Port, 2013).

Även Toyota testar en bränslecellsdragbil vid hamnen i Los Angeles. Dragbilen har försetts med bränslecellsstackar som i kapacitet motsvarar två Toyota Mirai (Toyotas bränslecellspersonbil). Räckvidden uppges vara ca 320 km (Bloomberg, 2017).

Bränslecellslastbilar kan använda samma vätgaspåfyllningsstationer som lätta lagertruckar, men detta bedöms dock inte vara den bästa lösningen eftersom lagertruckar fylls på med 1 – 2 kg vätgas per påfyllning medan lastbilar däremot kräver ca 20 – 30 kg vätgas per påfyllning. Dessutom rör sig lagertruckar inomhus och lastbilarna utomhus vilket försvårar utnyttjandet av samma påfyllningsstation. Däremot kan påfyllningsstationer vid samma anläggning dela vätgaslager vilket är ekonomiskt fördelaktigt (CaFCP, 2016).

Även utanför USA pågår tester och demonstrationer av lastbilar och dragbilar med bränsleceller. I Norge kommer ASKO, Norges största grossist av dagligvaror, att testa 4 bränslecellslastbilar från Scania med 27 tons bruttovikt samt 10 bränslecellsgaffeltruckar (FuelCellWorks, 2016).

Det schweiziska företaget Esoro har tillsammans med Swiss hydrogen och Powercell tagit fram en vätgasdriven lastbil som demonstreras och testas i Schweiz sedan 4 november 2016. Samtidigt invigdes Schweiz första offentliga vätgaspåfyllningsstation. Räckvidden för världens första vätgasdrivna lastbil med släp uppgår till 400 km och fordonet har en lagringskapacitet på 31 kg vätgas fördelat på 7 trycksatta tankar. Ekipaget har 34 tons bruttovikt och används av det schweiziska företaget Coop-logistik. Vätgasen till vätgastankstationen framställs genom elektrolys vid vattenkraftverket i Aarau några km från tankstationen. Framställningen av vätgas sker främst när efterfrågan på el är låg (Coop, 2016).

I december 2016 meddelade företaget Nikola Motor att de planerar att lansera en bränslecellsdragbil med en räckvidd på 1 900 km år 2020 (Nikola Motor, 2016). Med denna långa räckvidd kan även långdistanstransporter utföras, till skillnad från försöken i Kalifornien där bränslecellsdragbilarna endast används till anslutningstransporter till och från hamnarna.

2.2.2 Arbetsmaskiner, truckar och mobil hanteringsutrustning

Utvecklingen av bränslecellsdrifter för tyngre fordon och arbetsmaskiner har inletts och/eller pågår. För lättare truckar avsedda för lager och industriverksamhet har utvecklingen däremot kommit betydligt längre (Landing, 2016). Majoriteten av de truckar som drivs med bränsleceller finns i USA där det finns över 11 000 lätta lagertruckar med bränsleceller (U.S. Department of Energy, 2016). Anledningen till att implementeringen av lätta

bränslecellstruckar har gått betydligt snabbare än för andra mobila tillämpningar med bränsleceller är bland annat att lagertruckar används inom ett begränsat område samt att det relativt enkelt går att ersätta blybatteriet i befintliga eltruckar med ett bränslecellssystem. En majoritet av lagertruckarna har idag dessutom redan en elektrisk drivlina, vilket större truckar och hanteringsmaskiner vanligen inte har.

Toyotas första sålda bränslecellstruck levererades till Woikoski i Finland i juni 2015. Tidigare har Toyotas bränslecellstruckar endast demonstrerats och testats vid olika anläggningar. Trucken är en lagertruck med 2,5 tons lyftkapacitet. Trucken har utrustats med en vätgastank på 1,8 kg vätgas och 350 bar (Toyota Material Handling, 2015).

Majoriteten av de bränslecellstruckar som hittills tillverkats/levererats är lätta gaffeltruckar för användning i lager inomhus, men även några dragtruckar har tagits fram med vätgasdrift. Bland annat har Still testat två bränslecellsdrivna bogserande dragtruckar vid Hamburgs flygplats. I projektet HyLIFT-EUROPE kommer dragtrucken Mulag Comet 3 FC testas vid flygplatserna i Cologne/Bonn och Hamburg (Landinger, 2016).

2012 inledde Vision Industries och Balqon Corporation ett samarbete för att utveckla en bränslecellsdriven terminaltruck, Zero-TT. Balqon stod för drivlinan, Vision Industries utvecklade bränslecellssystemet och chassit kom från Cargotec USA Kalmar (San Pedro Bay Ports, 2013).

US hybrid har tagit fram en bränslecellsdriven dragtruck för användning i militära applikationer samt vid flygplatser. Dragtrucken C-17 är baserad på TUG Technologis Model U30 och har både bränsleceller och batterier. Drifttiden för batteri och bränslecell är ca 12 h på en laddning och en vätgaspåfyllning. Bränslecellssystemet kommer från Hydrogenics (US Hybrid, 2014). Hydrogenics har även tagit fram ett system för att driva en RTG-kran (portalkran med gummihjul) med bränsleceller (Carter et al, 2013).

I ett projekt lett av TFK – TransportForsK tar Kalmar Global fram en tung bränslecellsdriven motviktstruck med en lyftkapacitet på 16 ton. Trucken är avsedd för utomhusdrift och kommer att demonstreras vid SSABs anläggning i Oxelösund under 2018 (TFK, 2016).

En annan typ av materialhanteringsmaskin, som är vanligt förekommande vid containerhantering, är reach stackers. Konecranes lanserades 2013 en reach stacker med seriehybriddrift vilken bestod av ett dieselelektriskt drivsystem med en dieselmotor kopplad till en elektrisk generator och där elektriska motorer svarade för framdriften. Dieselmotorn kan i denna typ av truck i framtiden ersättas med exempelvis bränsleceller. Reach stackern har en lyftkapacitet på 45 ton. Reach stackern har testats i Helsingborgs hamn och där visat en bränslebesparing på 30 – 50 % jämfört med en motsvarande konventionell reach stacker (Konecranes, 2013).

2.2.3 Växellok

Växellok, som används för att växla vagnar, och opererar vid ett lågt medeleffektuttag där effekttoppar kan uppstå när hög dragkraft efterfrågas i

samband med att tunga vagnsätt ska dras igång/förflyttas. Idag är växelloken främst dieseldrivna, men efterfrågan på utsläppsfria växellok ökar. Därför är bränsleceller ett intressant alternativ, särskilt eftersom elmotorer passar bra för låga effekter samt de höga vridmoment som uppstår när en hög startdragkraft efterfrågas. Efterfrågan på utsläppsfria industri-, terminal- och växellok ökar. Därför är bränsleceller ett intressant alternativ, särskilt eftersom elmotorer passar bra för låg effekt och högt vridmoment (Pocard, 2016).

I april 2010 testades ett bränslecells- och batteridrivet växellok av det amerikanska järnvägsföretaget BNSF i Los Angeles. Loket hade en kontinuerlig nettoeffekt på 240 kW och vägde 130 ton. Loket klarade dock inte de efterfrågade topp effekterna på 1 MW. Vätgasen lagrades i 14 kolfibertankar som sammanlagt kunde lagra 70 kg vätgas vid 350 bar. Denna mängd vätgas räcker till mellan 8 och 16 timmars drift, eller 1 – 2 skift. I det aktuella loket hade dieselgeneratoren och dieseltanken tagits bort och ersatts av ett bränslecellssystem och kolfibertankar. För att bibehålla lokets vikt installerades en extra barlast på 9 ton (Hess, 2010).

Vid gruvor där direkt elmatning av gruvlok inte används kan bränslecellsdrift innebära att det behövs mindre ventilation i gruvan, vilket leder till lägre ventilationskostnader (Valicek et al, 2014). Idag har ett par bränslecellslok testats i gruvor. Det första bränslecellsdrivna gruvloket demonstrerades i en guldgruva 2002.

I maj 2012 visade Anglo American Platinum, världens största platinaproducent, upp en prototyp på ett bränslecellsdrivet gruvlok i Sydafrika. Därefter beslöts det att 5 bränslecellsdrivna lok för gruvdrift skulle tas fram (E&MJ, 2012). Under 2015 pågick fortfarande tester och utveckling av bränsleceller för lok och andra tillämpningar (AngloAmerican, 2016). Gruvloken utrustades med ett reversibelt metall-hydrid-lager där vätgasen kan lagras i fast form. Detta för att öka säkerheten i gruvan. Vätgaslagret fylldes på med vätgas vid 20 bar. Nackdelarna med metall-hydrid-lagert är att det är tungt, kostsamt samt att det tar längre tid att fylla på vätgas jämfört med vätgastankar med vätgas vid högre tryck (Valicek et al, 2014).

Flera aktörer är även i utvecklingsstadiet för bränslecellsdrivna spårvagnar och persontåg. Exempelvis har bränslecellstillverkaren Hydrogenics skrivit på ett 10-årigt avtal med Alstom om att leverera minst 200 bränslecellssystem till tåg i regionaltrafik i Europa. Ett annat exempel är att Emaar Properties och TIG/m testat bränslecellsdrivna spårvagnar utanför Dubai (Curtin et al, 2015).

3 Fallstudier

Två terminaler och två industrianläggningar har studerats och potentialen för införande av vätgasdrivna fordon, maskiner och lok vid dessa har analyserats:

- Coops terminal i Bro
- Jernhusens kombiterminal i Helsingborg
- SSABs järnverk i Oxelösund
- SSABs tunnplåtsanläggning i Borlänge

3.1 ANTAGANDEN

Nedan redovisas de antaganden över verkningsgrader som ansatts samt vilka andra data- samt ingångsvärden som använts för beräkningarna i samband med fallstudierna (se Tabell 1).

Tabell 1 Antaganden

Verkningsgrad dieseldrift	36 %
Verkningsgrad diesellok	25 %
Verkningsgrad vid bränslecellsdrift el – el*	40 % (Jobson, 2017)
Verkningsgrad för elektrolysör	70 % (Jobson, 2017)
Verkningsgrad vid batterielektrisk drift	80 % (Jobson, 2017)
Energiinnehåll diesel (kWh/l)	9,8
CO ₂ (g/l diesel)	2 640
Nordisk residualmix 2016 (g CO ₂ /kWh)	350,51
Svensk el (g CO ₂ /kWh)	55 (Electricity Map, 2017)
Energi i 1 Nm ³ vätgas (kWh)	2,975
Densitet vätgas (normalt tryck och temperatur) (g/m ³)	90
Energi i 1 m ³ vätgas, 350 bar (kWh)	992
Densitet vätgas, 350 bar (kg/m ³)	30

* Verkningsgrad från el vid framställning av vätgas via elektrolys till el ut från bränslecellen

3.1.1 Kostnader

Kostnaderna för en vätgaspåfyllningsstation beror på storleken på stationen, det vill säga kapaciteten. I fallstudierna uppskattades kostnaderna enligt de 4 kapacitetsnivåerna för anläggningarna (se Tabell 2) (Melaina et al, 2013). Underhållskostnaderna för elektrolysören antas vara proportionell mot den mängd vätgas som framställs och har ansatts till 7 kr/kg vätgas (Vätgas Sverige, 2015).

Tabell 2 Uppskattade kostnader för vätgaspåfyllningsanläggningar beroende på kapacitetsnivå

Kapacitet	160 kg/dag	450 kg/dag	600 kg/dag	1 500 kg/dag
Introduktionsår	2011-2012	2014-2016	Efter 2016	Efter 2016
Ekonomisk livslängd (år)	12	12	12	12
Total kapitalkostnad (kr)	17 225 000	18 200 000	20 085 000	32 825 000
Kapitalkostnad inkl. elektrolysör (kr)	23 253 750	24 570 000	27 114 750	44 313 750
Kapitalkostnad per kapacitet (kr)	145 336	54 600	45 191	29 543
Kostnad per år (rakt räknat)	1 937 813	2 047 500	2 259 563	3 692 813
Vätgasproduktion per år	58 400	164 250	219 000	547 500
Kapitalkostnad per kg vätgas	33,2	12,5	10,3	6,7
Underhållskostnad elektrolysör (kr/kg vätgas)	7	7	7	7
Kostnad per kg vätgas inkl. underhållskostnad (kr)	40,2	19,5	17,3	13,7

Vid jämförelser mellan olika drivmedelsalternativ bör totalkostnaden för fordonen sammanställas och studeras. Det är dock svårt att få bra kostnadsunderlag för jämförelser av bränsleceller och batterier. Kostnaderna i detta fall baseras på tidigare studie (Treiber, 2016) samt kostnadsuppskattningar för 2016 från Greene et al, 2013 (se Tabell 3).

Tabell 3 Uppskattade kostnader för bränsleceller vid en produktionsvolym på 200 000 enheter per år (Greene et al, 2013)

Kostnadspost	Uppskattad kostnad (\$) 2016 vid en produktionsvolym på 200 000 enheter/år
Bränslecellsstack (85 kW)	15 150
Vätgaslager (5 kg)	5 300
Litiumjonbatteri (35 kW, 2 kWh)	1 300
Elmotor/omriktare/drev (110 kW topp effekt, 60 kW kontinuerlig effekt)	3 150
Växellåda	350
Total kostnad för drivlinan	25 250

Batteritrucken antas ha en batterikapacitet på 100 kWh och priset för ett litiumjonbatteri har ansatts till 5 300 kr/kWh. Livslängden för batterierna antas vara 3 000 cykler, vilket i detta fall antas motsvara 3 års drift.

För bränslecellstrucken ansätts ett bränslecellspris på 1 500 kr/kW och en kostnad för en vätgastank (5 kg) som uppgår till 40 000 kr. Bränslecellstrucken antas ha en batterikapacitet på 2 kWh och en bränslecell med en effekt på 40 kW. Livslängden för bränslecellerna ansätts till 10 000 drifttimmar vilket motsvarar ca 3 års drift.

Den truck vilken använts som underlag för kostnadsanalysen är en 16 tons motviktstruck som används 3 500 drifttimmar per år och i dieselutförandet drar 8 l diesel/h. Underhållskostnaderna för dieseltrucken har ansatts till 20 kr/driftimme och underhållskostnaderna för bränslecellstrucken och den batterielektriska trucken har ansatts till 2,5 kr/driftimme (Treiber, 2016).

För den aktuella vätgaspåfyllningsstationen har kostnaden baserats på de faktoriska kostnader som en vätgaspåfyllningsstation med en kapacitet på 600 kg/dag innebär inklusive underhållskostnad för elektrolytör (se Tabell 2).

Totalkostnaderna för en dieseltruck jämfört med en bränslecellstruck och en batterielektrisk truck har sammanställts i olika poster samt nuvärdesberäknats vid en kalkylränta som ansatts till 15 %. Med dessa antaganden sammanställs nuvärdeskostnaderna per truck för en 6-årsperiod (se Tabell 4). Detta visar att totalkostnaderna för en batterielektrisk truck är lägre än totalkostnaderna för en bränslecellstruck om det är möjligt att ladda trucken mellan skiften. Om det inte är möjligt krävs ett extra batteri som kan laddas samtidigt som trucken är i drift. En batterielektrisk truck med två batterier får enligt detta exempel en högre totalkostnad än bränslecellstrucken. Utfallet av beräkningarna beror i stor utsträckning på ansatta kostnader och ger därmed enbart en uppskattning av kostnadsförhållanden mellan olika drivlinor och drivmedel.

Tabell 4 Nuvärdeskostnader för en 16 tons motviktstruck under en 6-årsperiod

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	-	10 600 kr	530 000 kr	1 060 000 kr
Laddare	-	-	85 000 kr	85 000 kr
Bränslecell	-	60 000 kr	-	-
Vätgastank (ombord)	-	40 000 kr	-	-
Investeringskostnad	1 990 000 kr	2 010 600 kr	2 515 000 kr	3 045 000 kr
Restvärde	(-) 199 000 kr	(-) 0 kr	(-) 0 kr	(-) 0 kr
Kapitalkostnad	1 791 000 kr	2 010 600 kr	2 515 000 kr	3 045 000 kr
Energikostnad under 6 år	1 483 500 kr	654 200 kr	327 100 kr	327 100 kr
Underhållskostnad under 6 år	265 000 kr	33 100 kr	33 100 kr	33 100 kr
Nytt batteri efter 3 år	-	7 000 kr	350 000 kr	-
Ny bränslecell efter 3 år	-	39 500 kr	-	-
Vätgaspåfyllningsstation*	-	490 000 kr	-	-
Totalkostnad för 6 år	3 539 500 kr	3 234 400 kr	3 225 200 kr	3 405 200 kr
Jämförelseindex	100,0	91,4	91,1	96,2
Andel av totalkostnaden som är energikostnad	42 %	20 %	10 %	10 %

* Vätgaspåfyllningsstation med kapacitet för 600 kg/dag som utnyttjas fullt ut och där kostnaden fördelas lika mellan de olika fordonen/maskinerna utifrån den mängd vätgas som de förbrukar.

Kostnaderna är dock kraftigt beroende av batteripriset. Nedan visas utfallet om batteripriset ökar respektive minskar med 30 % (se Tabell 5).

Tabell 5 Nuvärdeskostnader för 16 tons motviktstruck under en 6-årsperiod med 30 % högre respektive lägre batterikostnader

Nuvärde	Dieseltruck	Bränslecells-truck	Batterielektrisk truck (1 batteri)	Batterielektrisk truck (2 batterier)
+ 30 % batterikostnad				
Total investeringskostnad	1 990 000 kr	2 013 800 kr	2 674 000 kr	3 363 000 kr
Totalkostnad för 6 år	3 539 400 kr	3 239 200 kr	3 487 300 kr	3 723 200 kr
Jämförelseindex	100,0	91,5	98,5	105,2
- 30 % batterikostnad				
Total investeringskostnad	1 990 000 kr	2 007 420 kr	2 356 000 kr	2 727 000 kr
Totalkostnad för 6 år	3 539 400 kr	3 228 600 kr	2 960 200 kr	3 087 200 kr
Jämförelseindex	100,0	91,2	83,6	87,2

3.1.2 Drivmedel och drivlinor

Kostnad, koldioxidutsläpp och energiförbrukning för vätgasdrift jämförs med drift med fossil diesel, batterielektrisk drift, HVO samt biogas. Idag använder flertalet industrier och åkerier biodiesel eller HVO (Hydrerade Vegetabiliska Oljor) istället för fossil diesel. HVO är ett syntetiskt dieselbränsle. El som används för att framställa vätgas samt till batterielektrisk drift kan antas vara ursprungsmärkt och i sådant fall är koldioxidutsläppen nära noll. I annat fall är utsläppen från vätgasdrift och batterielektrisk drift beroende av utsläppen från elproduktionen som skiljer sig stort mellan olika länder. Här antas utsläppsnivåer för svensk elproduktion i december 2017. I fallstudierna har nedanstående värden använts för beräkningar (se Tabell 6).

Tabell 6 Verkningsgrad, koldioxidutsläpp och kostnad för drift med olika drivmedel/drivlinor

Drivmedel/drivlina	Systemverkningsgrad	g CO ₂ /kWh	Kostnad (kr/kWh)
Vätgas	40 % ^a	55 ^b	0,7 ^c
Fossil diesel	36 %	270	1,43
Batterielektrisk	80 %	55 ^b	0,7
HVO	36 %	43	1,48
Biogas	36 % ^d	51	1,32

a) Verkningsgrad inklusive elektrolysör

b) Med ursprungsmärkt el är utsläppen nära 0 g CO₂/kWh

c) Elkostnad för framställning av vätgas genom elektrolys

d) Verkningsgraden för gasmotorer är idag jämförbar med verkningsgraden för dieselmotorer (Larsson et al, 2016)

Elpriset i förhållande till dieselpriiset har stor betydelse för om vätgasdrift kommer att vara ekonomiskt fördelaktigt jämfört med dieseldrift. Ju större energibehov anläggningen har för att driva maskiner och fordon, desto mindre påverkar prisförhållandena om vätgasdrift kan bli mer ekonomiskt fördelaktigt jämfört med dieseldrift eller inte. Detta eftersom vätgasen blir billigare per kg ju större vätgasbehovet är, bland annat på grund av att investeringskostnaden för vätgasinfrastrukturen kan fördelas på fler användare.

Förutom elektrolys kan vätgas även framställas genom reformering av biogas eller naturgas alternativt renas från vätgashaltiga restgaser från industrin (se Tabell 7).

Tabell 7 Metoder för framställning av vätgas från olika energikällor (Treiber, 2016)

Energikälla	Metod för framställning av vätgas
El	Elektrolys
Biomassa	Rötning + reformering + gasrening
	Förgasning + reformering + gasrening
Naturgas	Reformering + gasrening

Reformering är generellt en mer kostnadseffektiv metod jämfört med elektrolys. Gasen måste dock renas innan den kan användas i PEM-bränsleceller vilket medför att ett dyrt reningssteg tillkommer i processen. Om vätgasen ska användas i PEM-bränsleceller krävs därmed stora volymer för att få lönsamhet i denna framställningsmetod. Vid reformering kan heller inte produktionshastigheten regleras lika lätt som med elektrolys vilket innebär att vätgasbehovet bör vara relativt konstant (Andersson R, 2016). Eftersom vätgasbehovet i fallstudierna är relativt små antas vätgasen i fallstudierna framställas genom elektrolys.

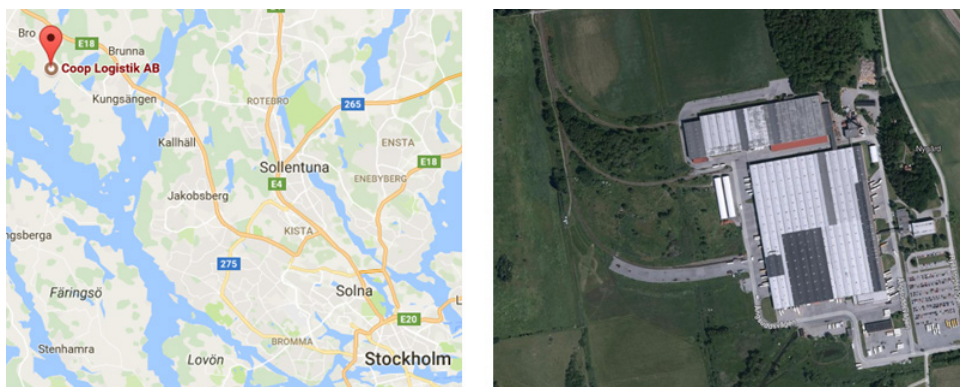
3.2 FALLSTUDIER

3.2.1 Coops terminal i Bro

Coop Logistik (Sverige) bedriver sedan 2009 intermodala varutransporter mellan Skåne och Stockholmsområdet med påhängsvagnar i ett eget systemtågsupplägg, benämnt Coop-tåget. Coops terminal i Bro (se Figur 1) opereras av Baneservice Skandinavien. Baneservice sköter rangering av tåg till och från terminalen samt lossning och lastning av trailers till och från järnvägsvagn.

Till terminalen i Bro ankommer och avgår Coop-tåget 5 dagar i veckan. Söndag – torsdag sker avgångar från Malmö till Bro och måndag – fredag sker avgångar från Bro till Alvesta och Malmö. Den intermodala terminalen i Bro ligger i direkt anslutning till Coops distributions- och lageranläggning för torra varor och non-food.

För omlastning mellan järnvägsvagn och bil används reach stackers. Påhängsvagnarna har en lastvikt på ca 27 ton och dras på väg med dragbil. Coop-tåget har en kapacitet att transportera 36 påhängsvagnar med en sammantagen vagnvikt på 1 600 ton.



Figur 1 Coop Logistik's terminal i Bro

Fordons- och maskinpark

Coop i Bro har 2 reach stackers, 2 diesellok och 2 dragtruckar. En reach stacker är dock endast i reserv. För tågdragnig mellan terminalerna används ellok, idag av Bombardiens TRAXX-typ. Vidare ansätts att 24 dragbilar dagligen trafikerar terminalen (se Tabell 8).

Tabell 8 Antal fordon som används vid Coops terminal i Bro samt deras bränsleförbrukning och drifttimmar per år (Håkansson K, 2017 & Eyrar J, 2017)

Fordon	Antal	Bränsleförbrukning (l/h)	Drifttimmar totalt per år (h/år)	Årlig diesel-förbrukning totalt (l/år)
Reach stackers	2 ^a	20	1 500	30 000
Dragtruckar	2	15	2 000	30 000
Diesellok	2	20	1 040	20 800
Dragbilar	24 ^b	20 ^c	49 920	998 400
SUMMA	30	-	54 460	1 079 200

a) En som används kontinuerligt

b) Ansatt värde

c) Vid genomsnittlig hastighet på 50 km/h och en bränsleförbrukning på 0,4 l/km

Ansats systemuppbyggnad

Nedan visas behovet av vätgas om alla truckar, lok och dragbilar som används vid eller i anslutning till terminalen i Bro skulle drivas med vätgas (se Tabell 9). Om reach stackers, dragtruckar, lok och dragbilar nyttjar samma vätgaspåfyllningsstation behöver stationen ha en kapacitet på knappt 600 kg vätgas per dag.

Tabell 9 Behov av vätgas vid Coops terminal i Bro om alla truckar, lok och dragbilar drivs med vätgas

Fordon	Antal	Drift-timmar per år (h/år)	Årlig diesel-förbrukning (l/år)	Energi-förbrukning vid vätgasdrift (MWh/år)*	Årlig vätgas-förbrukning (m ³ vätgas 350 bar/år)	Vätgas-förbrukning per dag (kg 350 bar vätgas/dag)
Reach stackers	1	1 500	30 000	190	190	15
Drag-truckar	2	2 000	30 000	190	190	15
Lok	2	1 040	20 800	90	90	7
Dragbilar	24	49 920	998 400	6 180	6 230	512
SUMMA	30	54 460	1 079 200	6 640	6 700	549

* Exklusive energi för framställning av vätgas

Analys

Beräkningar visar att batterielektrisk drift ger lägst energiförbrukning, lägst koldioxidutsläpp samt lägst framdrivningskostnad av de jämförda alternativen (se Tabell 10). I kostnaden för vätgas ingår kostnader för påfyllningsstationen, framställning av vätgas genom elektrolys samt underhållskostnader. Övriga kostnader är marknadens drivmedelspris i september 2017.

Vätgasdrift innebär en högre kostnad och högre energiförbrukning samt högre koldioxidutsläpp jämfört med batterielektrisk drift, men lägre kostnad, energiförbrukning och koldioxidutsläpp än dieseldrift. De truckar och lok som används vid Coops terminal i Bro har ett för lågt energibehov för att bära de investeringskostnader som vätgasdrift innebär. För att kunna bära kostnaderna för detta krävs därför att andra fordon och/eller maskiner drivs med vätgas, exempelvis som i detta fall dragbilar och lastbilar som används för anslutningstransporter till och från Bro. I detta fall står dragbilarna för 93 % av vätgasbehovet.

Vid terminalen i Bro kommer ett tåg in tidigt på morgonen där det lossas och lastas. Tåget avgår sedan 12.05. Därmed används inte truckarna eller loken dygnet runt vilket möjliggör batterielektrisk drift. För majoriteten av dragbilarna blir dock batterielektrisk drift svårt på grund av räckvidden. En lösning med batterielektrisk drift för truckar och lok samt vätgasdrift för dragbilar ger en något lägre drivmedelskostnad än om alla maskiner, fordon och lok drivs med vätgas eftersom batterielektrisk drift innebär lägre drivmedelskostnader. Dock tillkommer kostnader för laddstationer och eventuellt extra batterier och batteribytestrymmen om truckarna och loken ska drivas batterielektriskt och inte med vätgas.

Tabell 10 Skillnad i energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt kostnad för olika drivmedel

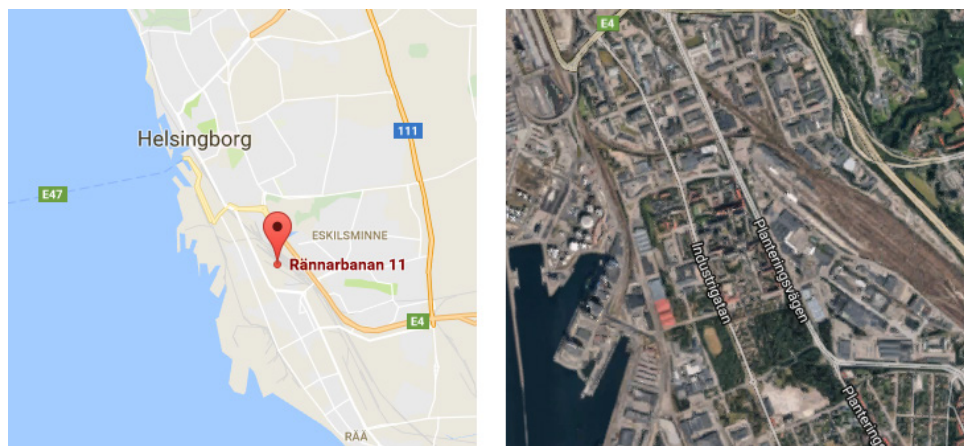
Drivmedel/drivlina	Energiförbrukning (MWh/år)	Koldioxidutsläpp (ton CO ₂ -ekv/år)	Kostnad drivmedel (kr/år)	
			Rörlig kostnad	Totalt
Vätgas	9 500*	520	8 000 000	10 300 000**
Diesel	10 600	2 850	15 100 000	15 100 000
Batterielektrisk	4 700	260	3 310 000	3 310 000
HVO diesel	10 600	450	15 700 000	15 700 000
Biogas	10 600	420	13 900 000	13 900 000
Batterielektrisk drift för truckar och lok, HVO diesel för dragbilar	10 100	440	14 740 000	14 740 000
Batterielektrisk drift för truckar och lok, vätgas för dragbilar	9 200	500	7 700 000	10 000 000**

* Energiförbrukning för att framställa efterfrågad mängd vätgas genom elektrolys

** Inkl. kostnad för vätgaspåfyllningsstation och elektrolysör

3.2.2 Jernhusens kombiterminal i Helsingborg

Jernhusens kombiterminal i Helsingborg opereras av GDL Logistik (se Figur 2). Kombiterminalen har elektrifierade anslutningsspår och har därför inget behov av diesellok för växling. Kombiterminalen ligger i anslutning till Helsingborgs Hamn som varje år hanterar ca 300 000 enheter. Från kombiterminalen avgår dagliga tågpendlar.



Figur 2 Jernhusens kombiterminal i Helsingborg

Fordons- och maskinpark

På terminalen finns 2 reach stackers. Terminalen har även en dragtruck. Dessa fordon drivs med biodiesel. Terminalen ligger vid Västkustbanan. Användningen av diesellok minimeras genom att elektrifierade lok kan användas hela sträckan fram till lastnings- och lossningsspår.

Tabell 11 Antal fordon som används vid kombiterminalen i Helsingborg samt deras bränsleförbrukning och drifttimmar per år (Besic K, 2017)

Fordon	Antal	Bränsleförbrukning (l/h)	Drifttimmar per år (h/år)	Årlig diesel-förbrukning (l/år)
Reach stackers	2	17,5	2 400	42 000
Dragtruckar	1	11,9	600	7 140
SUMMA	3	29,4	3 000	49 140

Ansats systemuppbyggnad

Nedan visas den beräknade vätgasförbrukningen om alla truckar vid Jernhusens kombiterminal i Helsingborg skulle drivas med vätgas. För att kunna driva alla truckar med vätgas krävs en vätgaspåfyllningsstation med en kapacitet på ca 25 kg vätgas per dag.

Tabell 12 Behov av vätgas vid kombiterminalen i Helsingborg om alla truckar drivs med vätgas

Fordon	Antal	Drift-timmar totalt per år (h/år)	Årlig dieselförbrukning (l/år)	Energi-förbrukning vid vätgasdrift (MWh/år)*	Årlig vätgas-förbrukning (m ³ vätgas 350 bar/år)	Vätgas-förbrukning per dag (kg 350 bar vätgas/dag)
Reach stackers	2	2 400	42 000	260	260	22
Dragtruckar	1	600	7 140	44	45	4
SUMMA	3	3 000	49 140	304	305	26

* Exklusive energi för framställning av vätgas

Analys

Beräkningar visar att batterielektrisk drift ger den lägsta energiförbrukningen, det lägsta koldioxidutsläppet samt lägst framdrivningskostnad av de jämförda alternativen (se Tabell 13). Truckarna som används vid kombiterminalen i Helsingborg går i 2-skift. Dragtrucken används i snitt ca 12 h i veckan och drift med reach stackers sker i medeltal under 23 h i veckan. Det är därmed rimligt att det finns tid för att ladda dessa maskiner.

Vätgasdrift innebär i detta fall en betydligt högre kostnad jämfört med andra drivmedel. För att få vätgasdriften ekonomiskt fördelaktig måste det finnas ett större vätgasbehov vilket kan uppnås om fler aktörer nyttja vätgaspåfyllningsstationen, exempelvis maskiner och fordon vid Helsingborgs Hamn samt dragbilar och andra intermodala vägfordon som lämnar och hämtar lastbärare vid terminalen.

Vid den publika vätgaspåfyllningsstationen vid Arlanda uppges vätgasen kosta ca 80 kr/kg (Alpman, 2015). Med Arlandas prissättning på vätgasen blir kostnaden för Helsingborgs terminals uppskattade vätgasförbrukning 730 000 kr/år, vilket blir jämförbart med kostnaden för HVO, men fortfarande dyrare än diesel eller batterielektrisk drift.

Tabell 13 Skillnad i energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt kostnad för olika drivmedel

Drivmedel/drivlina	Energiförbrukning (MWh/år)	Koldioxidutsläpp (ton CO ₂ -ekv/år)	Kostnad (kr/år)	
			Rörlig kostnad	Totalt
Vätgas	430*	24	370 000	2 300 000**
Diesel	480	130	690 000	690 000
Batterielektrisk	220	12	152 000	152 000
HVO	480	21	714 000	714 000
Biogas	480	19	635 000	635 000

*Inkl. energi för elektrolysör

** Inkl. kostnad för vätgaspåfyllningsstation och elektrolysör

3.2.3 SSAB i Oxelösund

SSAB utvecklar höghållfasta stål. Vid SSABs anläggning i Oxelösund (se Figur 3) tillverkas grovplåt såsom slitstål, höghållfast konstruktionsstål, skyddsplåt samt maskin- och verktygsstål. Anläggningen har kokstillverkning, råstålstillverkning, stålbearbetning, stränggjutning, tillskärning, seghärdning samt målning och märkning. De har även leveranser ut från egen hamn. Anläggningen täcker ett område som är dubbelt så stort som Monaco.

Vid SSAB i Oxelösund används ett 50-tal gummihjulsfordon för interna transporter. SSAB i Oxelösund har även 4 dieseldrivna växellok. Fordonen och loken som används för interna transporter kör totalt ca 15 000 km i veckan för att förflytta malm, kol, flytande järn och färdiga plåtar.



Figur 3 SSABs järnverk i Oxelösund

Fordons- och maskinpark

Nedan visas bränsleförbrukningen för de fordon, truckar och lok som används hos SSAB i Oxelösund för interna transporter.

Tabell 14 Antal fordon, truckar och lok som används vid SSAB i Oxelösund samt deras bränsleförbrukning och drifttimmar per år (Hård G, 2017 & Blizniuk J, 2017)

Fordon	Antal	Bränsleförbrukning (l/h)	Drifttimmar totalt per år (h/år)	Årlig diesel-förbrukning (l/år)
Lätta motviktstruckar	50	4	30 000	120 000
Medeltunga motviktstruckar	18	8	36 000	288 000
Tunga motviktstruckar	2	16	6 000	96 000
Dragtruckar	12	18	54 000	972 000
Reach stackers	3	18	9 000	162 000
Hjullastare	1	12	1 500	18 000
Sidlastare	1	9	700	6 300
Slaggtruckar	2	16	9 000	144 000
Lok	4	16	12 150	194 500
SUMMA	93		158 350	2 000 800

Varje dygn anländer dessutom i snitt mellan 25 och 35 lastbilar/dragbilar till SSABs anläggning i Oxelösund. Majoriteten av dessa bilar återvänder kontinuerligt tillbaka till anläggningen i Oxelösund. Transportavstånden för dessa bilar är mellan 3 km och 3 500 km (Blizniuk J, 2017)

Ansats systemuppbyggnad

Nedan visas den beräknade vätgasförbrukningen om alla truckar och lok vid SSAB i Oxelösund drivs med vätgas (se Tabell 15).

Tabell 15 Behov av vätgas vid SSAB i Oxelösund om alla truckar och lok drivs med vätgas

Fordon	Antal	Drift-timmar totalt per år (h/år)	Årlig dieselförbrukning (l/år)	Energi-förbrukning vid vätgasdrift (MWh/år)*	Årlig vätgas-förbrukning (m ³ vätgas 350 bar/år)	Vätgas-förbrukning per dag (kg 350 bar vätgas/dag)
Lätta motvikts-truckar	50	30 000	120 000	740	750	62
Medeltunga motviktstruckar	18	36 000	288 000	1 800	1 800	148
Tunga motviktstruckar	2	6 000	96 000	600	600	49
Dragtruckar	12	54 000	970 00	6 000	6 100	498
Reach stackers	3	9 000	162 000	1 000	1 000	83
Hjullastare	1	1 500	18 000	110	110	9
Sidlastare	1	7 00	6 300	40	40	3
Slaggtruckar	2	9 000	144 000	890	890	74
Lok	4	12 150	194 500	840	840	69
SUMMA	93	158 353	2 000 748	12 000	12 100	996

* Exklusive energi för framställning av vätgas

För att kunna driva SSABs truckar och lok med vätgas krävs en vätgaspåfyllningsstation med en kapacitet på ca 1 000 kg vätgas vid 350 bar per dag. Det höga vätgasbehovet gör att kostnaden för vätgasen kan reduceras. Om även de lastbilar/dragbilar som dagligen anländer till SSABs anläggning drivs med vätgas kan kostnaden för vätgasen reduceras ytterligare.

Analys

Analysen visar att batterielektrisk drift ger den lägsta energiförbrukningen, det lägsta koldioxidutsläppet samt lägst framdrivningskostnad av de jämförda alternativen (se Tabell 16). Dock är det svårt att hinna ladda batterielektriska truckar eftersom de används dygnet runt. Om batterielektriska truckar ska användas krävs dubbla batterier och att batterierna byts mellan varje skift. De extra batterierna medför då ökade investeringskostnader för trucken, se avsnitt 3.1.1.

I kostnaden för vätgas ingår kostnaderna för vätgaspåfyllningsstationen, framställning av vätgas från elektrolys samt underhållskostnader. Övriga kostnader är marknadens drivmedelspris september 2017.

Vätgas ger en energiförbrukning motsvarande dieseldrift, men koldioxidutsläppen och kostnaden för framdrivningen är avsevärt mycket lägre. HVO ger lägre koldioxidutsläpp än vätgasdrift, men har en betydligt högre kostnad.

Med enbart SSABs truckar och lok blir kostnaden för vätgasdrift lägre än kostnaden för dieseldrift. Om även exempelvis lastbilar nyttjar vätgastankstationen kan kostnaden per kg vätgas troligtvis reduceras ytterligare.

Tabell 16 Skillnad i energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt kostnad för olika drivmedel

Drivmedel/drivlina	Energiförbrukning (MWh/år)	Koldioxidutsläpp (ton CO ₂ -ekv/år)	Kostnad (kr/år)	
			Rörlig kostnad	Totalt
Vätgas	17 200*	940	12 200 000	15 900 000**
Diesel	19 600	5 300	28 000 000	28 000 000
Batterielektrisk	8 600	470	6 000 000	6 000 000
HVO	19 600	840	29 100 000	29 100 000
Biogas	19 600	800	25 100 000	25 100 000

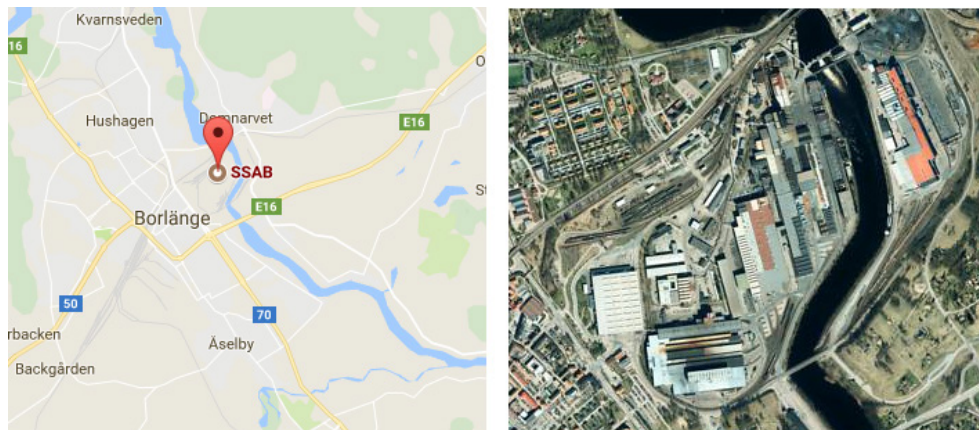
*Inkl. energi för elektrolysör

** Inkl. kostnad för vätgaspåfyllningsstation och elektrolysör

3.2.4 SSAB i Borlänge

SSAB i Borlänge (se Figur 4) tillverkar varmvalsat och kallvalsat höghållfast stål. Ämnen till stålet kommer med tåg från SSAB i Luleå och SSAB i Oxelösund.

SSAB i Borlänge har även en elektrolysör som tillverkar vätgas som används i olika processer. Elektrolysören har i dagsläget en överkapacitet på 3,3 GWh vätgas per år.



Figur 4 SSAB i Borlänge

Fordons- och maskinpark

Nedan visas de truckar och lok som används vid SSAB i Borlänge (se Tabell 17). Green Cargo ansvarar för loken som går inom SSABs område i Borlänge.

Tabell 17 Antal fordon som används vid SSAB i Borlänge samt deras bränsleförbrukning och drifttimmar per år (Haglund E, 2017)

Fordon	Antal	Bränsleförbrukning (l/h)	Drifttimmar totalt per år (h/år)	Årlig diesel-förbrukning (l/år)
Lätta motviktstruckar	2	5	1 000	5 000
Medeltunga motviktstruckar	4	14	7 000	98 000
Tunga motviktstruckar	4	18	1 200	21 600
Dragtruckar	6	21	18 000	378 000
Hjullastare	1	12	1 500	18 000
Lok	2*	16**	6 000**	96 000
SUMMA	19		34 700	616 600

* 2 lok internt (opereras av Green Cargo)

**Ansatt utifrån data från SSAB Oxelösund

Ansats systemuppbyggnad

Nedan visas den beräknade vätgasförbrukningen för de truckar och lok som används vid SSAB i Borlänge (se Tabell 18). För att kunna driva SSABs truckar och lok med vätgas krävs en vätgaspåfyllningsstation med en kapacitet på ca 300 kg vätgas vid 350 bar per dag.

Elektrolysörens överkapacitet kan ge 3,3 GWh vätgas per år (Hirsch T, 2016). För att förse SSABs truckar och lok i Borlänge med vätgas krävs 3,6 GWh vätgas per år.

Tabell 18 Behov av vätgas vid SSAB i Borlänge om alla truckar och lok drivs med vätgas

Fordon	Antal	Drift-timmar totalt per år (h/år)	Årlig dieselförbrukning (l/år)	Energiförbrukning vid vätgasdrift (MWh/år)*	Årlig vätgasförbrukning (m ³ vätgas 350 bar/år)	Vätgasförbrukning per dag (kg 350 bar vätgas/dag)
Lätta motviktstruckar	2	1 000	5 000	31 000	31	3
Medeltunga motviktstruckar	4	7 000	98 000	610 000	610	50
Tunga motviktstruckar	4	1 200	21 600	130 000	140	11
Dragtruckar	4	18 000	378 000	2 340 000	2 360	194
Lok	2	6 000**	96 000**	410 000	420	34
Hjullastare	1	1 500	18 000	110 000	110	9
SUMMA	19	34 700	616 600	3 630 000	3 670	301

* Exklusive energi för framställning av vätgas

** Ansatt

Analys

Analysen visar att batterielektrisk drift ger den lägsta energiförbrukningen, det lägsta koldioxidutsläppet samt lägst framdrivningskostnad av de jämförda alternativen (se Tabell 19). Dock är det svårt att hinna ladda batterielektriska truckar eftersom flertalet av dessa används dygnet runt inom processindustrin. Om batterielektriska truckar ska användas krävs därför dubbla batterier och att batterierna byts mellan varje skift. De extra batterierna medför då ökade investeringskostnader för trucken, se avsnitt 3.1.1.

I detta fall bedöms vätgasdrift vara bäst lämpat utifrån energiförbrukning, kostnad och koldioxidutsläpp i och med att maskinerna används i så stor utsträckning att det inte finns tid att ladda batterierna på maskinerna. Batterielektrisk drift antas därför medföra högre kostnader än vätgasdriften i och med att det krävs extra batterier. SSAB i Borlänge har dessutom redan en elektrolysör för vätgasframställning vilket innebär att kostnaden för vätgasdriften i verkligheten bör vara lägre än vad som anges i Tabell 19.

Tabell 19 Skillnad i energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt kostnad för olika drivmedel

Drivmedel/drivlina	Energiförbrukning (MWh/år)	Koldioxidutsläpp (ton CO ₂ -ekv/år)	Kostnad (kr/år)	
			Rörlig kostnad	Totalt
Vätgas	5 200*	290	4 400 000	6 500 000**
Diesel	6 000	1 600	8 600 000	8 600 000
Batterielektrisk	2 600	140	1 800 000	1 800 000
HVO	6 000	260	8 960 000	8 960 000
Biogas	6 000	230	7 600 000	7 600 000

*Inkl. energi för elektrolysör

** Inkl. kostnad för vätgaspåfyllningsstation och elektrolysör

4 Lok

Inom stål- och processindustrin hanteras ett stort tonnage på ett begränsat antal platser och med ett begränsat antal lok. Exempelvis används sammantaget ca 15 diesellok vid SSABs anläggningar i Oxelösund, Borlänge och Luleå för interna spårtransporter samt för växling. Mellan stålverket i Luleå och valsverken i Borlänge fraktas varje dygn ca 7 700 ton stål på elektrifierad järnväg (SSAB, 2017) och varje vecka lämnar ca 60 tåg SSAB i Borlänge. Vid interna transporter och växling inom SSABs anläggningar samt till och från SSABs anläggningar hanteras uppskattningsvis 15 miljoner ton per år. Detta kan jämföras med de 38,3 miljoner ton som totalt transporterades på järnväg i Sverige 2010 exklusive malmtransporter (Trafikanalys, 2012).

Ett industri- och växellok vid SSAB har en dieselförbrukning på i genomsnitt 16 l/h och är i drift drygt 3 000 h per år. Detta innebär att de 15 växellok som används inom SSABs områden i Sverige tillsammans förbrukar ca 730 000 l diesel per år och släpper ut ca 2 000 ton koldioxid, motsvarande drygt 10 % (Trafikanalys, 2016) av de totala utsläppen från inrikes godstransporter på järnväg. Om dessa 15 lok istället drivs med vätgas kan utsläppen av koldioxid reduceras med 72 % till ca 550 ton. Detta motsvarar istället ca 3 % av de totala utsläppen från inrikes godstransporter på järnväg.

2012 användes, enligt en studie från KTH, 268 diesellok för godstrafik i Sverige. Antalet lok för godstrafik har minskat mellan 1988 och 2012, både när det gäller ellok och diesellok. Samtidigt har även antalet industrispår minskat vilket både beror på att industrier försvinner och att transporterna flyttas till andra transportslag. Även antalet orter i Sverige med godstrafik har minskat (Nelldal et al, 2014).

Enligt Trafikanalys fanns 219 diesellok och 49 diesellokomotorer (mindre lok med effekt under 221 kW) som användes för godstrafik 2012. 2015 var antalet 187 diesellok och 15 diesellokomotorer (Trafikanalys, 2016).

Det är svårt att uppskatta det totala antalet diesellok i Sverige samt hur många drifttimmar dessa har varje år. Ifall befintliga diesellok ersätts med vätgasdrivna lok bör detta ske på platser där det även finns andra vätgasdrivna fordon. De flesta anläggningar har ett fåtal lok och en stor andel av dieselloken används sparsamt.

Nedan visas antalet diesellok som är i drift vid några av de svenska industrier som har flest diesellok (se Tabell 20) (Diehl et al, 2017). Detta visar att det endast finns ett begränsat antal diesellok vid varje anläggning och att dessa inte ensamma utgör ett underlag för att investera i en vätgaspåfyllningsanläggning.

Tabell 20 Diesellok vid några av de svenska industrier som har flest diesellok i drift

Industri	Antal diesellok/lokomotorer (ej avställda)
BillerudKorsnäs Skog & Industri AB (Frövi)	3
BillerudKorsnäs AB (Grums)	2
BillerudKorsnäs AB (Gävle)	2
SSAB Borlänge	2
SSAB Luleå	5
SSAB Oxelösund	4
Sandvik AB (Sandviken)	2
Stora Enso (Skoghall)	2

5 Resultat och slutsatser

5.1 RESULTAT

5.1.1 Bränsleceller inom intermodala transportsystem

En övergång från dieseldrift till bränsleceller och vätgasdrift ger en betydande reduktion av koldioxidutsläppen samt andra emissioner. Eldrivna fordon har dessutom lägre underhållskostnader jämfört med förbränningsmotordrivna fordon. Även buller och vibrationer minskar vilket ger en bättre arbetsmiljö.

Om vätgasen framställs med elektrolys blir dock inte energiförbrukningen nödvändigtvis lägre jämfört med den energi som förbrukas vid dieseldrift om energiåtgången för framställning av vätgas räknas in. Energiförbrukningen beror dock på verkningsgraderna i de olika systemen vilket kan skilja sig mellan olika motorer, elektrolysörer med mera.

Diesellok som används för växling och rangering vid terminaler och industriområden kan bytas ut mot lok med bränsleceller som drivs med vätgas om andra maskiner och fordon inom området drivs med vätgas. I annat fall är det svårt att få investeringen ekonomiskt lönsam eftersom det ofta endast finns ett fåtal lok inom området som dessutom har relativt få drifttimmar totalt.

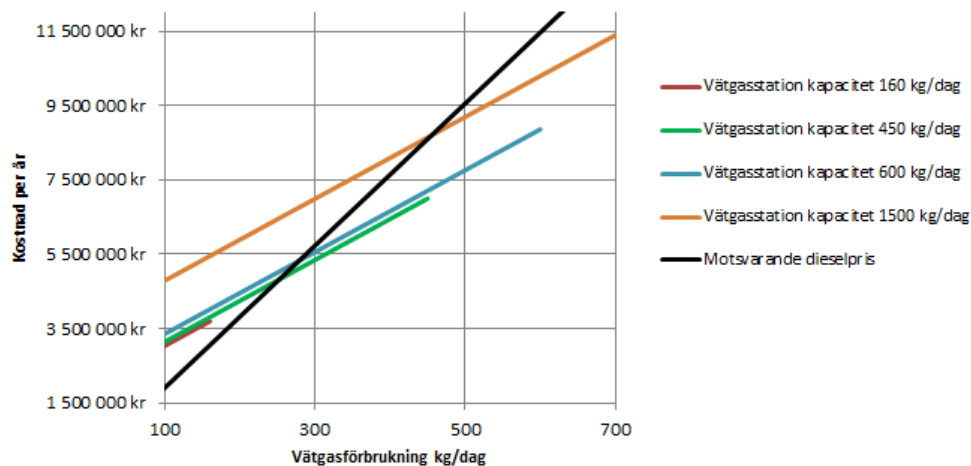
Om industrianläggningar eller intermodala terminaler inte har ett tillräckligt stort behov av vätgas för att bära investeringskostnaden för en vätgaspåfyllningsstation kan denna placeras så att den kan samnyttjas med andra aktörer. Exempel på detta är renhållningsmaskiner, bussar med mera. På detta sätt kan kostnaderna fördelas mellan flera maskiner och fordon.

5.1.2 Jämförelse av vätgasdrift med andra alternativa drivmedel

Drift med diesel, biogas och HVO ger samma verkningsgrad och därmed samma energiförbrukning. Vätgasdrift har generellt något högre verkningsgrad om elektrolysörens verkningsgrad räknas med i den totala verkningsgraden för vätgasdrift. Verkningsgraden för en elmotor med batteri är hög vilket ger en betydligt lägre energiförbrukning.

Koldioxidutsläppen för el- och vätgasdrift påverkas väsentligt av elens ursprung om vätgasen tillverkas genom elektrolys eller på annat sätt. Batterielektrisk drift ger de lägsta driftskostnaderna per kWh och medför inte några utsläpp av koldioxid om ursprungsmärkt el används. Batterielektrisk drift förutsätter dock att det finns tid att ladda batterierna. Batterierna kan laddas ombord på fordonet eller lyftas ur och laddas externt. Om batterierna laddas ombord på fordonet krävs det att fordonen kan stå still under laddtiden. Laddning externt kräver batteribytestsystem och många industrier vill helst undvika batteribyten i och med att det är platskrävande samt att hanteringen av batterier kan innebära olycksrisker. Vid dygnetruntdrift, vilket förekommer vid många industrier, är det därför idag inte önskvärt med elbatteridrift.

I kostnaden för vätgasförsörjning kan investeringen i en vätgaspåfyllningsstation inräknas. Fördelningen av denna kostnad per kvantitet förbrukad vätgas påverkas av påfyllningsstationens kapacitet samt av dess utnyttjandegrad. Den årliga uppskattade kostnaden för vätgasförsörjning som funktion av den dagliga vätgasförbrukningen respektive det kostnadsmässiga beroendet av olika nivåer på kapacitet hos vätgaspåfyllningsstationen har sammanställts i ett diagram (se Figur 5). Kapacitetsnivåerna är kopplade till olika investeringskostnader för vätgaspåfyllningsstationer och elektrolysörer samt underhållskostnad beroende på daglig förbrukning av vätgas. Detta kan jämföras med kostnaden för motsvarande dieselförbrukning. Jämförelserna indikerar att det krävs ett vätgasbehov på minst 250 kg vätgas/dag för att kunna konkurrera med dieseldrift (se Figur 5). Lönsamheten för vätgasdrift är starkt beroende av kostnadsutvecklingen för vätgaspåfyllningsstationer, elektrolysörer, elpris samt bränslecells- och batteripriser.



Figur 5 Uppskattad kostnad för vätgaspåfyllningsanläggning beroende på vätgasförbrukning per dag samt jämförelse med kostnad för dieseldrift

5.1.3 Uppskalning till nationell nivå

En utbyggnad av vätgaspåfyllningsstationer vid intermodala terminaler kan påskynda uppbyggnaden av vätgasinfrastrukturen och utvecklingen av bränslecellsfordon och maskiner. Med fler terminaler och industrier som har vätgaspåfyllningsstationer kan även fler lastbilar och dragbilar gå över till vätgasdrift utan att vara bundna till endast en terminal eller industrianläggning.

Om vätgaspåfyllningsstationerna placeras så att den kan nås utanför området kan lönsamheten för stationerna öka. Detta kan samtidigt påskynda implementeringen av vätgasfordon inom andra sektorer och bland privatpersoner.

En mer utbredd utbyggnad av vätgasinfrastruktur vid terminaler och industrier medför att allt fler fordon och maskiner kan gå över till bränslecellsdrift.

Genom att skapa ett nät för vätgasförsörjning i vilket terminaler och industrianläggningar ingår kan implementeringen av bränsleceller och vätgasdrift påskyndas och underlättas. För att få ner vätgaspriset bör de första stationerna

placeras vid terminaler/industrier där det finns maskiner och fordon med hög årlig energiförbrukning. Detta för att redan i ett utgångsläge erhålla en stor grundanvändare som kan hjälpa till med att bära kostnaderna för stationen.

5.1.4 Styrmedel

Idag innebär en övergång till vätgasdrivna fordon och maskiner betydande investeringar i vätgasinфраstruktur. För att påskynda en implementering av vätgasdrivna fordon och maskiner kan styrmedel vara en katalysator.

För fordon och maskiner som enbart rör sig inom ett begränsat område, exempelvis industriområde, kan styrmedel i form av investeringsbidrag för vätgasinфраstrukturen vara intressant. Ett annat alternativ för att påskynda en övergång till fordon och maskiner med låga koldioxidutsläpp är att införa utsläppsavgifter och höjda skatter för fordon och maskiner med höga koldioxidutsläpp.

Ett bonus-malus-system som inkluderar både tunga fordon och arbetsmaskiner kan medföra ett större intresse både för att tillverka och införskaffa fordon och arbetsmaskiner med bränsleceller. Med ett bonus-malus-system får fordon med låga eller inga koldioxidutsläpp stora bonusar medan fordon med stora utsläpp får en extraskatt (malus).

För fordon som rör sig utanför slutna områden kan miljözoner och vägavgifter också vara alternativ på styrmedel för att öka andelen låg- eller nollemissionsfordon.

Genom att införa styrmedel kan det bli möjligt att även mindre flottor av vätgasdrivna fordon och maskiner blir konkurrenskraftiga gentemot med dieseldrivna fordon och maskiner.

5.2 SLUTSATSER

Effekterna av ett intermodalt system med vägfordon, hanteringsmaskiner samt växellok vid intermodala terminaler och industrier jämfört med andra alternativa drivmedel och drivlinor påverkas av det totala energibehovet för fordonen och maskinerna samt av prisutvecklingen för drivmedel och komponenter. I ett intermodalt system som har ett stort energibehov kan en övergång till vätgasdrift medföra både kostnadsbesparingar samt minskad energiförbrukning och koldioxidutsläpp. I de fall där det finns möjlighet att ladda fordonen är dock batterielektrisk drift mer fördelaktigt.

Med ursprungsmärkt el kan koldioxidutsläppen från vätgasdrift reduceras helt. I annat fall beror koldioxidutsläppen från vätgasdrift på elens ursprung och om vätgasen framställs genom elektrolys. Jämfört med dieseldrift kan vätgasdrift medföra en lägre energiförbrukning. Energitillbehovet beror på verkningsgrader på drivlinor och elektrolysören.

Möjligheterna till att implementera ett vätgasbaserat intermodalt transportsystem bedöms därmed vara möjliga för stora industrianläggningar med ett stort energibehov och dygnetrunt-drift. För intermodala terminaler med ett lågt

energibehov och en drifttid för maskinerna på endast några timmar per dag bedöms batterielektrisk drift vara att föredra.

Det är främst de hanteringsmaskiner och lok som har en hög energiförbrukning och många drifttimmar per år som är av intresse att anpassa för vätgasdrift. Det är därför som dessa till stor del avgör potentialen för att implementera ett vätgasbaserat system för fordon och maskiner inom och kring terminalen.

Antalet lastbilar/dragbilar som används till anslutningstransporter till och från terminalerna och som potentiellt kan drivas med vätgas kan dessutom i många fall avgöra om vätgasdrift är lönsamt eller inte genom att de kan bära en stor del av investeringskostnaden för en vätgaspåfyllningsstation. Terminaler med endast ett fåtal maskiner och lok kan inte själva bära kostnaden för en vätgaspåfyllningsstation. Om maskinerna och loken inte används dygnet runt kan batterielektrisk drift vara mer fördelaktig än vätgasdrift om det finns tidsfönster för att ladda dessa samt laddplatser.

5.3 FORTSATTA STUDIER

Denna studie bör följas av en demonstration i vilken det testas, demonstreras och analyseras hur bränslecellsdrivna fordon, hanteringsmaskiner och växellok i framtiden kan inverka på hela den intermodala transportkedjan utifrån kostnad, energiförbrukning och miljönytta. Resultatet från denna studie visar att ett sådant projekt bör genomföras vid en relativt stor anläggning där fordonen och maskinerna har en hög total energiförbrukning och används kontinuerligt dygnet runt.

En annan fortsättning på denna studie är att djupare analysera bränslecellsdrift för växellok inom industrin. Denna studie har visat att ett fåtal växellok vid ett industriområde inte utgör underlag nog för en vätgaspåfyllningsanläggning, men genom att samordna vätgasanvändning för växellok med användning av vätgas för truckar, hanteringsmaskiner och intertransportfordon respektive olika externa fordon kan investeringskostnaderna för vätgaspåfyllningsstationerna fördelas mellan ett större antal användare.

Potentialen att införa ett vätgasbaserat intermodalt transportsystem är kraftigt beroende av prisutvecklingen för drivmedel och komponenter. I denna studie har endast översiktliga analyser gjorts med ansatta kostnader enligt dagens prognoser. Fler studier behövs för att analysera hur potentialen förändras i framtiden beroende på hur prisutvecklingen ser ut.

Referenser

LITTERATUR

- AngloAmerican, *Sustainable development report 2015* (2016)
- CaFCP, *Medium- & Heavy-duty fuel cell electric truck Action Plan for California*, California Fuel Cell Partnership (2016)
- Curtin S et al, *Fuel cell technologies market report 2015*, Fuel Cell and Hydrogen Energy Association (2015)
- Diehl et al, *Svenska lok och motorvagnar med personvagnar 2017*, Förlagsstallet HB (2017)
- Energimyndigheten, *Transportsektorns Energianvändning 2014*, ES 2015:01 (2015)
- E&MJ, *Anglo American Platinum Pioneering Fuel Cell Locomotive*, Engineering and mining journal, volym 213, häfte 6, sida 36 (2012)
- Greene et al, *Status and Prospects of the Global Automotive Fuel Cell Industry and Plans for Deployment of Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Refueling Infrastructure*, Oak Ridge National Laboratory (2013)
- Hess K et al, *Demonstration of a Hydrogen Fuel-Cell Locomotive*, Fuelcell Propulsion Institute Golden, CO (2010)
- HTAC, *Hydrogen and Fuel Cells 2015 Annual report*, The Hydrogen and Fuel Cell Technical Advisory Committee (2016)
- Jobson E, *Summering av discussion om bränsleceller i fordon*, Omvärldsanalys av energieffektiva vägfordon Nyhetbrev OmEV 2017-10-24 (2017)
- Larsson M et al, *Scenarier för gasanvändning i transportsektorn till 2030*, SWECO, uppdragsnummer 5471978000 (2016)
- Melaina et al, *Hydrogen Station Cost Estimates*, NREL (2013)
- Mikulin J et al, *Medium- & heavy-duty fuel cell electric truck action plan for California*, California Fuel Cell Partnership (2016)
- Nelldal et al, *Utveckling av rangerbangårdar I Sverige*, KTH (2014)
- Pocard N et al, *Fuel Cell Electric buses: an attractive value proposition for zero-emission buses in the United Kingdom*, Ballard (2016)
- Ridell et al, *Syntesrapport teknik och omvärldsbevakning bränsleceller 2015*, Energiforsk rapport 2016:285 (2016)
- San Pedro Bay Ports, *Clear Air Action Plan Technology Advancement Program*, 2012 Annual Report (2013)
- Shumaker C et al, *Hydrogen and fuel cell on-road freight workshop report*, California Hydrogen Business Council (2017)

Trafikanalys, *Bantrafik 2015*, Rapport 2016:18 (2016)

Trafikanalys, *Godstransporter i Sverige*, Rapport 2012:7 (2012)

Trafikverket, *Transportsektorns utsläpp*, (2014)

Treiber A, *Potential för bränslecellsdrift av tunga truckar*, Energiforsk 2016:335 (2016)

U.S. Department of Energy, *Multi-Year Research, Development, and Demonstration Plan* (2017)

U.S. Department of Energy, *State of the States: Fuel Cells in America 2016* (2016)

Valicek P et al, *Fuel cell technology in underground mining*, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy (2014)

Vätgas Sverige, *Lokal studie av möjligheterna med vätgas i Hallands transportsystem*, HIT (2015)

ELEKTRONISKA KÄLLOR

Alpman, *Nu är nya vätgasmacken öppen*, Ny Teknik 2015-09-18 (2015)

<https://www.nyteknik.se/energi/nu-ar-nya-vatgasmacken-oppen-6344599>

Bloomberg, *Toyota puts fuel cell semi truck to the test at Los Angeles port*, 2017-04-19 (2017)

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-04-19/toyota-puts-fuel-cell-semi-truck-to-the-test-at-los-angeles-port>

Carter D et al, *Event report – Hydrogen + Fuel cells 2013*, FuelCellToday, Vancouver Convention Centre, Canada (2013)

http://www.fuelcelltoday.com/media/1880472/hfc_2013.pdf

Coop, *Coop öppnar första offentliga vätgasstationer i Schweiz*, Coop Schweiz (2016) <http://www.coop.ch/pb/site/medien/node/84684539/Lde/index.html>

Electricity Map, *Live CO₂ emissions of electricity consumption*, Tomorrow, Hämtad 2017-12-08

<https://www.electricitymap.org/?wind=false&solar=false&page=map>

FuelCellWorks, *Norwegian Foods Distributor ASKO Launches Hydrogen Truck Demo*, 2016-04-28 (2016)

<https://fuelcellworks.com/news/norwegian-foods-distributor-asko-launches-hydrogen-truck-demo>

Konecranes, *Konecranes presents the world's first hybrid reach stacker*, (2013) <http://ins-news.com/en/100/832/2115/Konecranes-presents-the-world%E2%80%99s-first-hybrid-reach-stacker-----.htm>

Landinger H, *Internationale Perspektiven für Brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge in der Logistik*, Brennstoffzellenforum 13 september 2016, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (2016)

https://www.h2bz-hessen.de/mm/mm001/07_Landinger_LBST.pdf

Nikola Motor Company, *Nikola One Truck Revealed on December 1, 2016* (2016)

<https://nikolamotor.com/>

SSAB, *Produktion i Luleå*, (2017)

<http://www.ssab.se/ssab/om-ssab/production-sites-in-sweden/lulea/om-lulea>

TFK, *SSAB satsar på koldioxidfria interna transporter*, 2016-11-24 (2016)

<http://www.tfk.se/web/page.aspx?refid=290&newsid=164301&page=2>

Toyota Material Handling, *Sustainability Report 2015*, (2015)

<http://www.toyota-forklifts.eu/SiteCollectionDocuments/PDF%20files/About%20us/Sustainability/sustainability-report-2015.pdf>

US Hybrid, *H₂Tug Fuel Cell Plug-In Hybrid Electric C-17 Tow Tractor*, Hämtad 2017-01-09 (2014) <http://www.ushybrid.com/documents/PDF/2/H2TUG.pdf>

MUNTliga KÄLLOR

Andersson R, AGA, 2016-04-18

Besic, Kadir, GDL Logistik, 2017-10-16

Blizniuk, Janusz, SSAB Oxelösund, 2017-09-18

Eyram, Jörgen, Baneservice, 2017-09-08

Haglund, Emil, SSAB Borlänge, 2017-08-24

Hirsch, Tomas, SSAB Stockholm, 2016-06-29

Håkansson, Kjell, Coop Logistik, 2017-09-19

Hård, Göran, SSAB Oxelösund, 2017-09-21

BRÄNSLECELLER I INTERMODALA TRANSPORTSYSTEM

Intermodala transporter, det vill säga en kombination av väg- och järnvägstransporter, har ofta betydande fördelar ur energiförbruknings- och miljösynpunkt jämfört med direkta vägtransporter. Det är en svag länk är vid omlastning där man använder dieseldrivna maskiner och i de anslutande vägtransporterna som görs med förbränningsmotordrivna fordon.

Rapporten visar att det finns en stor utvecklings- och förbättringspotential om vätgasdrift införs. En övergång från dieseldrift till bränsleceller och vätgasdrift ger en betydande reduktion av koldioxidutsläppen. Men anläggningar för vätgas till fordon är kostsamma och det krävs ett visst antal fordon, truckar och växelock i ett system för att kunna bära de höga investeringskostnaderna. Resultaten visar här att intermodala terminaler kan utgöra intressanta noder i ett sådant system.

Det är möjligt att implementera ett vätgasbaserat internt transportsystem för stora industrianläggningar med ett stort energibehov och med drift dygnet runt. För intermodala terminaler med ett lågt energibehov och en drift av maskinerna på endast några timmar per dag är däremot batterielektrisk drift att föredra. Om anslutningstransporter med dragbilar inräknas kan däremot vätgasdrift vara ett möjligt alternativ även för terminaler med få fordon, materialhanteringsmaskiner och lok.

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