

Slutrapport

EL- OCH BRÄNSLECELLSDRIFT INOM MASSGODSTRANSPORTER I STÄDER OCH TÄTORTER

- analys av systemupplägg

December 2021

Ingrid Nordmark
TFK – TransportForsk

FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH SYSTEM 2018-2021

Ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och
f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel

FÖRORD

Detta projekt har genomförts inom ramarna för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system, projektnummer 50453-1. Projektet har finansierats av Energimyndigheten och f3 – Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel.

Energimyndigheten arbetar på regeringens uppdrag med energiomställningen till ett modernt, hållbart, fossilfritt välfärdssamhälle och stödjer forskning om förnybara energikällor, smarta elnät och framtidens fordon och bränslen.

f3 är en nätverksorganisation som fokuserar på utveckling av miljömässigt, ekonomiskt och socialt hållbara förnybara drivmedel. f3 finansieras gemensamt av centrets parter och Västra Götalandsregionen. Chalmers Industriteknik fungerar som värd för centret. Kansliet vid f3 utgör programkansli för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system. (se www.f3centre.se)

Projektet har koordinerats av TFK – TransportForsK (TFK) som även har utfört ett bakomliggande forskningsarbete samt genomfört ansatser, analyser och utvärderingar av el- och bränslecellsdrift inom massgodstransporter i städer och tätorter. Vidare har branschaktörer genomfört betydande insatser genom att ställa bakgrundsmaterial till projektets förfogande.

TFK är ett icke vinstdrivande forskningsinstitut inom transport- och logistikområdet. Bakom TFK står en ideell intressentförening med ett 30-tal medlemmar vilka bl.a. utgörs av industri- och handelsföretag, kommuner samt intresseorganisationer inom transportsektorn. TFK:s verksamhetsidé är att i samverkan med intressentföreningens medlemmar samt olika utomstående parter, representerade av bl.a. myndigheter, universitet och högskolor arbeta för effektiva, miljöanpassade, säkra och hållbara transport- och logistiklösningar. I projektets referensgrupp har följande representanter för de olika aktörerna medverkat:

Peter Bark	TFK
Per Olsson	Parator Industri
Kim Holm	Skanska
Joachim Wiberg	Sveriges Åkeriföretag
Anders Josephsson	Transportföretagen
Colin Steward	Vattenfall
Tommy Rosgardt	Volvo Trucks

TFK vill med detta rikta ett stort tack till projektets finansiärer och övriga intressenter samt till den personal hos intressenterna vilka medverkat i studien, eller bidragit med viktig information, och på andra sätt aktivt medverkat till projektets genomförande.

Stockholm i oktober 2021

Peter Bark, VD

Denna rapport ska citeras enligt följande:

Nordmark, I. (2021) *El- och bränslecellsdrift inom massgodstransporter i städer och tätorter - analys av systemupplägg*. Rapport nr FDOS 22:2021. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

SAMMANFATTNING

Hur väl passar det med batterielektriska fordon och fordon med vätgasdrivna bränsleceller, när de tyngsta transporterna ska bli fossilfria?

Detta projekt syftar till att öka kunskapen om hur lastbilar med elektriska drivsystem med vätgasdrivna bränsleceller passar att användas för massgodstransporter i städer och tätorter. Genom att ge en uppdaterad bild av forsknings- och utvecklingsläget inom området och visa på exempel genom fallstudier kan projektet bidra till att minska fossilberoendet och sänka de globala och lokala utsläppen av växthusgaser och andra föroreningar.

Idag utgörs över 50 % av den transporterade godsmängden i Stockholms län av massgods såsom jord, sten, sand, grus och schaktmassor. Eftersom massgodstransporter ofta har höga bruttovikter medför det svårigheter att implementera batterielektriska system då batteriernas vikt i dessa fall avsevärt kan minska fordonens lastkapacitet. Bränslecellsfordon har egenskaper som mer liknar konventionella dieselfordon avseende tankningstider och möjlighet att medföra större energimängder utan att avsevärt påverka lastkapaciteten. Transportnäringen har ett ökat intresse för bränslecellsfordon speciellt eftersom prestandan liknar den hos konventionella dieselfordon.

Lastbilar med batterier eller vätgasdrivna bränsleceller visade sig vid fallstudier inom denna studie medföra lägre växthusgasutsläpp och energikostnader samt i flera fall lägre energiförbrukning än konventionella dieselfordon. Batterielektriska fordon, med eller utan anslutning till elväg, gav i fallstudierna teoretiskt bra värden utifrån såväl energimässiga, miljömässiga som ekonomiska aspekter. Dock visade det sig att för batterilastbilar utan anslutning till elväg påverkas batterivikten, och i hälften av de studerade fallen så pass mycket att lastvikten minskar 5–20 %. Beroende på vilken räckvidd batterierna är dimensionerade för, kan lastvikten påverkas ännu mer. Eftersom det är vanligt att körsträckorna för massgodstransporter varierar och att uppdragen för enskilda fordon med kort varsel kan ändras, är det svårt att använda batterilösningar som enbart är dimensionerade för uppdrag med korta körsträckor.

I dag finns ett fåtal publika laddstationer och vätgastankstationer för lastbilar i Sverige. Studier visade att laddstationer för lastbilar bör lokaliseras till uppställningsplatser, lunchställen och rastplatser. Det har inletts flera satsningar på vätgaskorridorer där länder och regioner i t.ex. Norden samverkar. Detta för att ett flertal tankstationer ska bli strategiskt utplacerade.

Bränslecellsutrustade tyngre fordon har börjat introduceras på världsmarknaden. Dessa ligger utvecklingsmässigt några år efter elfordonen men har goda förutsättningar att klara tunga transporter. Det beror bl.a. på att större energimängder kan tas med ombord i form av vätgas än i batterier, utan att i alltför hög grad påverka fordonens maximala lastvikt. Dessutom kan tankning av vätgas utföras på betydligt kortare tid än vad det tar att ladda batterier. Detta är några av huvudargumenten för att bränsleceller passar bra till massgodstransporter.

SUMMARY

How well do battery-electric vehicles and vehicles with hydrogen-powered fuel cells fit in when the heavy transports are to be fossil-free?

This project aims to increase the knowledge about how suitable battery-electric powered and hydrogen fuel cell powered trucks can be for transport of construction and bulk materials in cities and urban areas. By providing an updated view of the research and development in the area, the project can contribute to increased use of renewable fuels, reduce fossil dependence and global and local emissions of greenhouse gases and other pollutants.

Today, more than 50 % of the amount of goods transported in Stockholm County consists of construction goods, such as soil, stone, sand, gravel and shaft masses. Since the gross weights often are high for these transports, it entails difficulties in implementing battery-electric systems since the weight of the batteries in these cases can be significant, which reduces the payload of the vehicles. Vehicles with fuel cells have characteristics more similar to convention diesel vehicles, in terms of refueling times and ability to carry larger amounts of energy without significantly affecting the payload. The transport industry interest in fuel cell driven trucks is increasing, especially since their performance is similar to conventional diesel trucks.

The trucks with batteries or hydrogen-powered fuel cells in the case studies in this study resulted in lower greenhouse gas emissions, energy costs, and in several cases also energy consumption, compared to conventional diesel trucks. Battery-electric vehicles, with or without connection to electric roads, provided theoretically good results regarding energy, environmental and economic aspects. However, in half of the cases studied, the battery weights for battery-electric trucks, without connection to electric roads, have such an effect that the payload was reduced by 5–20 %. Depending on what driving distances the batteries are dimensioned for, the payload can be reduced even more. Since it is common with varying driving distances for transports of construction materials and with changes in transport assignments with short notice, it is difficult to use batteries dimensioned for short driving distances only.

Today, there are few public charging stations and hydrogen filling stations available for trucks in Sweden. Studies have shown that charging stations for trucks should be located at parking lots, lunch places and rest areas. Investments in hydrogen corridors have been initiated. It is arranged in collaboration with countries and regions, for example in the Nordic region. This is to enable a number of hydrogen filling stations to be strategically located.

Heavy vehicles with fuel cells have been introduced on the world market. In development, they are a few years behind the electric vehicles, but there are good prerequisites for heavy transport assignments. One main reason is the fact that larger amounts of energy can be taken on board in the form of hydrogen, than in batteries, without having a large impact on the vehicles maximum pay load. In addition, hydrogen can be refueled in a much shorter time than it takes to charge batteries. These are some of the main arguments for fuel cells being well suited for construction and bulk material transport.

INNEHÅLL

1	INLEDNING.....	10
1.1	BAKGRUND.....	10
1.2	SYFTE OCH MÅL.....	12
2	METOD OCH GENOMFÖRANDE.....	14
2.1	AVGRÄNSNINGAR	15
2.2	ORGANISATION	15
3	ELEKTRIFIERADE DRIVSYSTEM.....	16
3.1	BATTERIELEKTRISK DRIFT.....	16
3.2	BRÄNSLECELLER MED VÄTGASDRIFT	16
4	VÄTGAS.....	17
4.1	EGENSKAPER HOS VÄTGAS.....	17
4.2	FRAMSTÄLLNING AV VÄTGAS	17
4.3	LAGRING.....	19
4.4	VISIONER, STRATEGIRER OCH FÄRDPLANER FÖR ANVÄNDNING AV VÄTGAS	19
4.5	STÖD VID INKÖP AV ELLASTBIL.....	22
5	INFRASTRUKTUR FÖR VÄTGAS	24
5.1	SVERIGE	24
5.2	EUROPA OCH ÖVRIGA VÄRLDEN	26
6	EL- OCH BRÄNSLECELLSLASTBILAR	28
6.1	BATTERIELEKTRISKA FORDON.....	29
6.2	FORDON MED VÄTGASDRIVNA BRÄNSLECELLER.....	31
7	FALLSTUDIER.....	38
7.1	ANSATSER.....	38
7.2	INGÅNGSDATA.....	38
7.3	FÖRUTSÄTTNINGAR FALLSTUDIER	39
7.4	FÖRÄNDRADE FORDONSVIKTER MED ALTERNATIVA DRIVSYSTEM.....	42
7.5	VÄXTHUSGASPÅVERKAN OCH EKONOMISKA EFFEKTER VID EN ÖVERGÅNG TILL VÄTGASDRIFT.....	47

8	INTERVJUER	54
8.1	INTRESSE FÖR OCH KUNSKAPSNIVÅER OM EL- OCH VÄTGASDRIFT	54
8.2	MÖJLIGHETER	54
8.3	HINDER OCH FÖRSLAG PÅ INSATSER	54
8.4	ÖNSKADE KUNSKAPSOMRÅDEN	55
9	WORKSHOP	56
9.1	REFERAT FRÅN WORKSHOPPPRESENTATIONER	56
10	SAMMANFATTANDE RESULTAT	64
10.1	KARTLÄGGNING AV KUNSKAPS- OCH TEKNIKLÄGET	64
10.2	FALLSTUDIER	64
10.3	INTERVJUER MED AKTÖRER	65
10.4	EKONOMISKA INCITAMENT	65
10.5	WORKSHOP	66
10.6	UTFORMNING AV ENERGIINFRASTRUKTUR	66
11	DISKUSSION	67
12	SLUTSATSER	69
12.1	FORTSATTA STUDIER	69
	REFERENSER	70
	BILAGA 1	79
	INTERVJUFRÅGOR	79
	BILAGA 2	80
	DELTAGARE I WORKSHOP, 2021-06-08	80

1 INLEDNING

För att nå ambitionen om att godstransporterna inom en snar framtid ska vara i huvudsak utsläppsfria, fossiloberoende och klimatneutrala krävs en fortsatt energieffektivisering samt en utveckling av transportlösningar som baseras på fordonslösningar innefattande elektriska drivsystem baserade på såväl batterier som bränsleceller. För massgodstransporter, som står för en betydande del av de tunga transporterna i städer och tätorter är frågan vad det finns för klimatneutrala och lokalt utsläppsfria alternativ när de fossila drivmedlen ska fasas ut. Det finns behov att klargöra hur prestanda, energiförbrukningen, klimatpåverkan och de ekonomiska ser ut för de elektrifierade drivlinorna.

Projektet avser att tydliggöra de möjligheter som finns till att elektrifiera de tunga transporterna i städer och tätorter, särskilt med avseende på bränslecellsdrivna last- och dragbilar. Fokus ligger på fordon med vätgasdrivna bränsleceller men även batterielektriska fordon kommer ingå som jämförelse då dessa teknisklösningar är de två huvudsakliga utvecklingsspåren för elektrifiering av tunga fordon. Projektet kommer bidra med kunskap inom teknikutveckling av bränslecellsdrivna tyngre lastbilar där det i dagsläget inte finns någon känd användning inom anläggningsdrift. De studier som tidigare har genomförts har främst berört bränsleceller i dragbilar och lastbilar mer allmänt samt elektrifierade transporter med batterielektriska fordon.

1.1 BAKGRUND

Idag utgörs över 50 % av den transporterade godsmängden i Stockholms län av massgods, t.ex. jord, sten, sand och grus (Treiber et al., 2017). Körsträckorna för dessa typer av transporter är ofta korta, under 5 mil (Krantz et al. 2014). Eftersom massgodstransporter ofta har höga bruttovikter medför det svårigheter att implementera batterielektriska system eftersom batteriernas vikt i dessa fall blir stor vilket minskar fordonens lastkapacitet.

Bränslecellsdrift återfinns inom ett flertal mobila tillämpningsområden. För tunga vägfordon har kommersialiseringen av bränslecellsdrivna bussar kommit längre än den för lastbilar. Flertalet fordonstillverkare har dock tagit fram demonstrations- och konceptfordon och planerar för kommersiella lastbilar och bussar (Treiber et al., 2018a). Flera utvecklingsprojekt avseende sopbilar med bränsleceller pågår, eller har pågått, i Europa (Ruf et al., 2018). Bland de länder som kommit längst gällande användning av bränslecellsdrivna vägfordon finns Sydkorea, Schweiz och USA. Låg utbyggnadstakt av infrastruktur för vätgaspåfyllnad och system för distribution av vätgas anses vara ett av de största hindren för ett utökat användande av bränsleceller.

Inom området arbetsmaskiner utgör lätta truckar det delområde som kommit längst i utvecklingen. Det beror på att dessa truckar ofta används inom en begränsad yta och att blybatterier i eltruckar ofta är enkla att byta ut mot bränslecellssystem. Tunga truckar med bränslecellsdrift förekommer främst som dragtruckar i USA. I Sverige har en bränslecellsutrustad motviktstruck utvecklats och testats (Treiber et al., 2018a). Övriga mobila tillämpningar av bränslecellsdrift där demonstrationsprojekt genomförts är passagerartåg, godståg, fartyg (ofta drivna med flytande naturgas, LNG, eller metanol i stället för vätgas), flygplan och militärfordon (Treiber et al., 2018b).

I elektrifierade distributionsfordon kan energilagring ske i bränsleceller och/eller batterier. Det finns en handfull batterielektriska tunga lastbilar tillgängliga på marknaden och flera tillverkare har

presenterat ytterligare modeller som planeras för produktion under de närmaste åren. Vid försöksdrift med direktmatning av el till distributionsfordon har antingen kontaktledning eller markskenor använts för elförsörjningen. Fordonen har då antingen kompletterats med förbränningsmotorer vilket gör att de är att betrakta som hybridfordon, eller så har elförsörjningen kompletterats med batterier (Treiber et al., 2018b).

En övergång från diesel till vätgas resulterar, enligt Lee, et al. (2018) och beräkningar som bygger på systemavgränsningen well to wheel (WTW), i sänkta utsläpp för utsläpp av koldioxid (CO₂), metan (CH₄), dikväveoxid/lustgas (N₂O), koloxid (CO), flyktiga organiska ämnen (volatile organic compounds VOC), kväveoxider (NO_x) samt partiklar (PM_{2,5} och PM₁₀). Beroende på vilken elmix som används finns dock risk att framför allt utsläppen av svaveloxider (SO_x) ökar.

1.1.1 Relaterade studier vid TFK – TransportForsk

TFK har tidigare genomfört ett flertal projekt om massgods massgodstransporter i städer och tätorter, elektrifiering av lastbilstransporter och bränsleceller i tyngre fordonstillämpningar. Projekt om massgodstransporter i städer och tätorter har främst berört olika möjligheter till effektivisering (Krantz et al., 2014, Treiber et al., 2016a, Treiber et al., 2017). Elektrifierade transporter har främst studerats i tillämpningar för dagligvarudistribution (Treiber et al., 2018b) och interna transporter inom industriområden (Treiber et al., 2016b, Treiber et al., 2018a). En inledande studie av tillämpningen bränsleceller för massgodstransporter med lastbil har genomförts av Treiber et al. (2019). Genom att kombinera kunskaper och erfarenheter från dessa tidigare projekt förväntas denna syn-tesstudie leda till en betydande kunskapstillväxt beträffande hur utvecklingen av elektromobilitet kan påskyndas.

Krantz et al. (2014) visar på möjligheter till effektivare massgodstransporter genom anpassning av fordon till vägar med bärighetsklass 2 (BK2) samt höjda bruttovikter och en uppgradering av gator och vägar, från BK2 till BK1. Studien handlade om BK2 i tätorter (Stockholm) tillsammans med längdrestriktioner. Slutsatserna står sig i stort även om BK2 ställs mot BK4, som är den senast tillkomna bärighetsklassen i Sverige. Treiber et al. (2016a) lyfte även möjligheter till effektivisering genom användning av rangerplatser och prestandabaserade lagkrav (eng. Performance-Based Standards). Genom att anlägga rangerings- och omlastningsplatser i nära anslutning till områden med restriktioner avseende tillåtna fordonslängder och fordonsvikter, kan energiförbrukningen hos massgodstransporterna minska med 40–50 % och även bli mer tidseffektiva jämfört med nuvarande transportupplägg (Treiber et al. 2017).

Transportupplägg för dagligvarudistribution i Stockholms innerstad med helelektriska fordon med energilagring i batterier är möjlig, visar analyser av Treiber et al. (2018b). I ett flertal fall är distribution möjlig med fordon som har en räckvidd på 60 km och som laddas vid terminal.

I en studie om bränsleceller i intermodala transportsystem studerade Treiber (2018) möjligheterna till och effekterna av en övergång till vätgasdrivna fordon och maskiner inom intermodala transportsystem, exempelvis last- och dragbilar samt hanteringsmaskiner och växellok. Studien visade att det för att ekonomiskt bära en vätgaspåfyllningsstation krävs en stor efterfrågan av vätgas genom att fordon och/eller maskiner har ett högt utnyttjande och därmed en betydande energiförbrukning, och med jämna mellanrum återvänder till eller passerar fasta punkter såsom terminaler vilka även kan utgöra lämpliga platser för lokalisering av vätgaspåfyllningsstationer.

Treiber (2018) rekommenderade att genomföra undersökningar av möjligheten att använda vätgasdrivna fordon som utför transporter av exempelvis schaktmassor, grus, asfalt och betong i städer och tätorter där fordonen repetitivt återvänder till exempelvis asfaltsverk, betongfabriker, deponier, täckter och återvinningsanläggningar. Detta var utgångspunkten i en förstudie om bränslecellsdrivna lastbilar för massgodstransporter av Treiber et al. (2019). Förstudien visade att det i ett flertal fall kan vara fördelaktigt att välja bränslecellsdrift framför traditionell dieseldrift respektive batterielektrisk drift. För fortsättningsstudier rekommenderade Treiber et al. (2019) att demonstrationer genomförs där ett eller flera fordon och fordonskombinationer med bränslecellsdrift tas fram och testas under verkliga driftförhållanden, samt att det undersöks hur en infrastruktur för vätgasförsörjning av bl.a. fordon för massgodstransporter bör utformas. Detta för att så många olika aktörer och typer av fordon som möjligt ska kunna utnyttja dem och på så sätt öka lönsamheten för vätgaspåfyllningsstationerna. I samband med detta bör det undersökas vilka typer av fordon, och inom vilka användningsområden, som det ur energi-, kostnads- och miljösynpunkt kan vara motiverat att utrusta med bränsleceller och vätgas.

1.2 SYFTE OCH MÅL

Ett syfte med det här projektet är en kunskapsuppbyggnad inom området fordon med elektriska drivsystem med vätgasdrivna bränsleceller som används för massgodstransporter i städer och tätorter. Detta för att ge en uppdaterad bild av forsknings- och utvecklingsläget inom området och bidra till ökad användning av förnybara drivmedel samt minska fossilberoendet och de globala och lokala utsläppen av växthusgaser och andra föroreningar.

Målen med projektet är att:

- Kartlägga hur kunskaps- och teknikläget inom området bränslecellsdrivna last- och dragbilar, främst avsedda för massgodstransporter i städer och stora tätorter, ser ut och vilka trender som finns.
- Undersöka förutsättningarna för samt i vilken omfattning fordon med vätgasdrivna bränsleceller kan bidra till energieffektiva, fossilfria och klimatneutrala transporter av massgods i städer och tätorter. Fokus ligger på fordon med vätgasdrivna bränsleceller, men batterielektriska fordon ingår som jämförelse.
- Undersöka vilka ekonomiska incitament det finns för bygg- och anläggningsföretag respektive transportföretag såsom åkerier, vilka utför transporter av massgods i städer och tätorter, att införskaffa och använda vätgasdrivna last- och dragbilar.
- Undersöka hur energiinfrastrukturen kan utformas för att möjliggöra att vätgasdrivna fordon används för massgodstransporter i städer och tätorter.

Målen för kommunikations- och samverkansarbetet är att:

- Bygg- och anläggningsföretag samt transportföretag såsom åkerier ska känna till och få förståelse för de möjligheter som finns med bränslecellsdrivna tunga last- och dragbilar för massgodstransporter.
- Beslutsfattare, såsom stat och kommuner och TFKs medlemmar ska känna till och ta i beaktande möjligheter med bränslecellsdrivna fordon vid tunga transporter.

- Ett antal i projektet/studien medverkande parter, såsom bygg- och anläggningsföretag samt transportföretag, såsom åkerier, samt bränslecells- och fordonstillverkare, ska inspireras och motiveras att delta i en demonstration där ett/flera fordon/fordonskombinationer för massgodstransporter som utrustats med bränslecellsdrift testas.

2 METOD OCH GENOMFÖRANDE

Studien innefattar litteraturstudier avseende teknikutvecklingen samt teknikläget idag. I ett antal fallstudier med grundmaterial hämtat från tidigare studier undersöktes vilka effekter på energiförbrukning, växthusgasutsläpp samt ekonomi som lastbilar med elektrifierade drivlinor med batterier eller bränsleceller, skulle ha i de fallen. Intervjuer och en workshop genomfördes med relevanta aktörer i åkeribranschen för att få en uppdaterad bild av deras intresse och synpunkter åkerier och transportföretag har på bränslecellsdrift vid anläggningstransporter, samt för att skapa en grund för ett konsortium avseende en demonstration av en bränslecellsutrustad lastbil i verklig drift.

Projektet innefattade följande aktiviteter:

1. Litteraturstudie

I litteraturstudien ingick främst en omvärldskartläggning av elektriska drivsystem med fokus på användning av vätgasdrivna bränsleceller i tunga vägfordonstillämpningar, se kapitel 4–6. Studien syftar till att identifiera möjligheter till hur hållbara systemlösningar med vätgasdrivna fordon för massgodstransporter kan utformas. Detta studerades utifrån transportföretags-/utförares, dvs. bl.a. fordonsägares och åkares, perspektiv. Forskningsområdet avgränsades till massgodstransporter i städer och tätorter.

Mer specifikt studerades vilka el- och bränslecellsfordon som finns tillgängliga på, eller är på väg ut på, marknaden; existerande infrastrukturupplägg för vätgasdistribution för vägtransporter, främst i ett europeiskt perspektiv; samt visioner, strategier och färdplaner för användning av vätgas i ett internationellt perspektiv.

2. Ansats avseende grundläggande fallstudier

I avsikt att identifiera och analysera möjligheter att använda vätgasdrift formulerades ansatser utifrån grundläggande fallstudier från som tidigare genomförts i studier om massgodstransporter i Stockholm: Krantz et al., 2014, Treiber et al., 2016a, 2017 och 2019, se kapitel 7.

3. Kompletterande fallstudie

Kompletterande fallstudier genomfördes för att bredda och komplettera de kvantitativa data som tidigare insamlats med underlag från fler verkliga transportuppdrag av massgodstransporter i städer och tätorter. En vald kompletterande fallstudie berörde transporter av massor från byggnation av ny avloppstunnel i Stockholm, se avsnitt 7.3.1.

4. Intervjuer

Semi-strukturerade intervjuer genomfördes med representanter (5 st) för bygg- och anläggningsföretag respektive transportföretag, såsom åkerier, se kapitel 8. Detta i avsikt att fånga in deras intresse och synpunkter avseende vätgasdrivna fordon.

5. Analyser

Med stöd av olika ansatser respektive utifrån fallstudier baserade transportupplägg för massgodstransporter i städer och tätorter bedömdes miljöeffekter och ekonomiska effekter av en övergång

till elektrifierade drivsystem med vätgasdrivna bränsleceller. Energiförbrukning, kostnader och utsläpp jämfördes mellan olika alternativa drivmedel och drivsystem vid transporter av massgods i städer och tätorter, se avsnitt 7.5.

6. Workshop

Ett antal relevanta aktörer var inbjudna till en workshop för att belysa de möjligheter som finns till el- och bränslecellsdrift för masgodstransporter, se kapitel 9. Projektresultat framlades, inbjudna gäster höll presentationer och eventuella obeaktade infallsvinklar söktes. Deltagande var projektets intressenter samt aktörer inom bygg- och anläggningsföretag respektive transportföretag såsom åkerier.

7. Syntes och rapportsammanställning

Utifrån analyser och erfarenheter från workshopen har en sammanställning av kunskapsläget tagits fram. Denna innefattade kvantifieringar och bedömningar av möjliga effekter av olika systemlösningar som innefattar långsiktigt hållbara drivsystem och drivmedel för transporter av massgods i städer och tätorter, vilka inte bidrar med lokala utsläppsemissioner, se kapitel 10. En slutrapport sammanställdes och publicerades efter en kvalitetsgranskningsprocess.

2.1 AVGRÄNSNINGAR

Projektet omfattade lastbilar för användning främst i städer och tätorter för transporter av massgods, såsom jord, sten, sand och grus. Även transporter av asfalt och betong ingick i studien. I begreppet lastbil ingår även fordonskombinationer bestående av dragbil och påhängsvagn.

Projektet har fokuserat på eldrivna fordon med batterielektrisk eller bränslecellselektrisk drift. Batterielektrisk drift omfattar här plug-in fordon med stationär laddning samt batterielektriska fordon med möjlighet att tillföras energi under färd från ett elvägssystem.

I analyserna jämfördes dessa tre eldrivna upplägg (bränslecellsdrift, enbart batterielektrisk drift samt batterielektrisk drift med möjlighet att tillföras energi under färd från elväg) med fordon drivna med fossil diesel eller biodiesel (HVO100). Inga hybridfordon ingick i studien. Utsläpp från tillverkning av fordon, bränsleceller, batterier eller andra komponenter har inte ingått i studien.

Inom projektet presenteras relevanta exempel på fordon och vätgasanläggningar för tillämpningen el- och bränslecellsdrivna massgodstransporter i städer och tätorter.

2.2 ORGANISATION

Projektet har samordnats och letts av forskningsinstitutionen TFK – TransportForsK som även utfört den största delen av forsknings- och utvecklingsarbetet. En referensgrupp har varit knuten till projektet. Vid dess möten har projektets aktuella status och de fortsatta insatserna redovisats och diskuterats. Följande aktörer medverkade i referensgruppen: Parator Industri, Skanska, Sveriges Åkeriföretag, Transportföretagen, Vattenfall samt Volvo Trucks. De har bistått med kunskap om elektrifierade fordon, fordonslösningar för transporter av massgods och data avseende transporter till och från bygg- och anläggningsarbeten. Vidare har de deltagit i möten, intervjuer och workshop, granskat och kvalitetssäkrat resultat samt bidragit med att kommunicera resultat.

3 ELEKTRIFIERADE DRIVSYSTEM

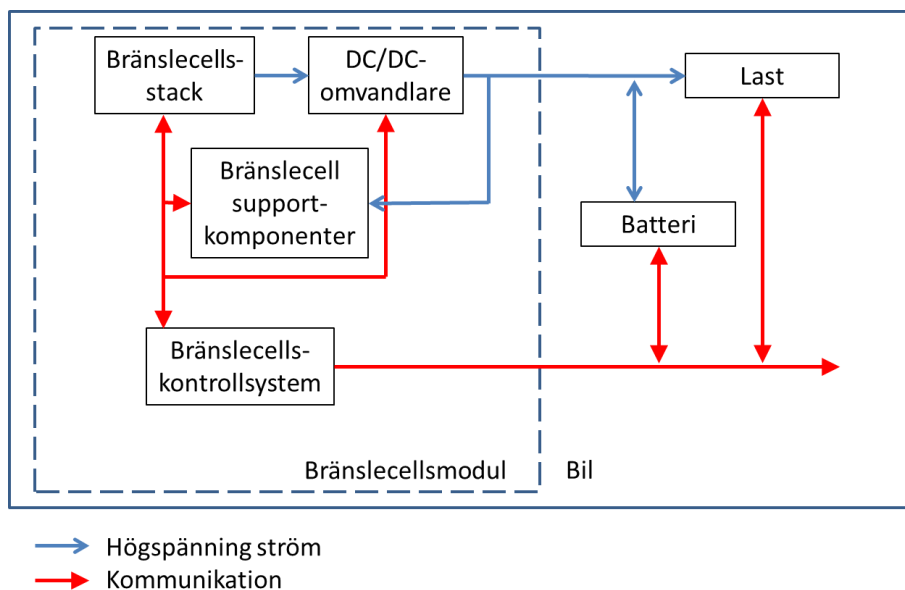
I begreppet elektrifierade drivsystem ingår bl.a. hybrida och batterielektriska drivsystem samt bränslecellssystem vilka vanligen drivs med vätgas i avsikt att producera el för ett fordon eller en maskins framdrivning. Fordon och maskiner med drivsystem där elmotorer används för framdrift kan i teorin drivas med valfri energikälla som avger elenergi, exempelvis batterier, dieselgeneratorer eller bränsleceller. I konventionella förbränningsmotordrivna system krävs med förbränningsmotorn kompatibla energikällor, eller bränslen, såsom diesel respektive bensin.

3.1 BATTERIELEKTRISK DRIFT

Batterielektrisk drift för tunga lastbilar har under senare tid gått från en prototypfas till kommersiella produkter. Bara det senaste året har flera företag investerat i ellastbilar och utvärderar därmed tekniken på nära håll och ser hur den passar för verksamheten. Batteriutvecklingen har gått snabbt framåt de senaste åren och det pågår fortfarande en ökad effektivisering. Dock utgör fortfarande batterivikten en märkbar påverkan på den totala lastvikten, framför allt på de tyngre transporterna där den maximala lastvikten är av väldigt stor betydelse.

3.2 BRÄNSLECELLER MED VÄTGASDRIFT

Bränsleceller används vanligen tillsammans med batterier eller som räckviddsförlängare i ett batterielektriskt fordon. I ett bränslecellsfordon som drivs med vätgas omvandlar bränslecellen kemisk energi till elektrisk energi som driver elmotorer. Vätgas och syre tillsätts bränslecellen och restprodukten vid den kemiska reaktionen är vatten och värme. Ett bränslecellssystem består i huvudsak av bränsleceller, ett energilager i form av ett batteri, en DC/DC-omvandlare mellan bränslecellen och batteriet samt kontroll- och stödsystem för bränslecellen, se figur 3.1. DC/DC-omvandlaren styr energiflödet från bränslecellen till batteriet och skyddar bränslecellen från överströmmar från batteriet (Bodén och Hedebjörn, 2015). Därutöver behövs en vätgastank.



Figur 3.1. Bränslecellssystem med de viktigaste komponenterna (modifierad från Bodén och Hedebjörn, 2015).

4 VÄTGAS

Väte är det lättaste och vanligaste grundämnet i universum. Det har grundämnetsbeteckning H efter det latinska namnet Hydrogenium. Ibland kallas ämnet hydrogen efter dess engelska namn. Vanligen påträffas väte i bunden form i kombination med andra grundämnen, exempelvis med syre i vattenmolekyler, H_2O , men det finns även i organiska föreningar, levande organismer, fossila bränslen osv. Vätämolekylen består av två väteatomer och betecknas H_2 .

4.1 EGENSKAPER HOS VÄTGAS

Vid ett utsläpp stiger vätgasen uppåt och blandas ut med övrig luft, eller skingras, eftersom den har 14 gånger lägre densitet än luft. Vätgas är extremt lättantändligt och det krävs ytterst lite energi för att antända gasen, 0,02 mJ, att jämföra med 0,29 mJ för naturgas och 0,24 mJ bensinångor (Barilo, 2015).

Vätgas brinner med en svagt blå, nästan osynlig låga med mycket låg värme utstrålad från flamman (H_2 data, 2018). Explosionsrisken är större i slutna utrymmen, såsom i garage och tunnlar, än utomhus. En bra ventilation är därför nödvändig i slutna utrymmen där vätgas användning förekommer. Vätgas diffunderar lätt genom material som normalt inte anses vara porösa vilket innebär att det är viktigt att använda sensorer för kontroll av att bränslesystemet inte läcker (Netinform, 2016). Vätgasens egenskaper kan jämföras med naturgas och bensin finns i tabell 4.1.

Tabell 4.1. Vätgasens egenskaper jämfört med naturgas och bensin (Barilo, 2015)

Egenskap	Vätgas	Naturgas	Bensin
Färg	Nej	Nej	Ja
Toxicitet	Ingen	Lite	Hög
Doft	Ingen	Mycket stark	Ja
Densitet jämfört med luft	14 ggr lättare	2 ggr lättare	3,75 ggr tyngre
Energi per viktenhet jämfört med bensin	2,8 ggr högre	1,2 ggr högre	43 MJ/kg

4.2 FRAMSTÄLLNING AV VÄTGAS

Vätgas framställs främst genom reformering av naturgas eller elektrolys av vatten, men kan även utvinnas ur biomassa genom att först röta eller förgasa biomassan och sedan reformera och rena gasen (Saxe, 2012), se tabell 4.2. Renhetsnormerna för vätgas är hårda, och innebär att "gasen" skall innehålla minst 99,97 % ren vätgas (The Pacific Northwest National Laboratory (2019). Riktlinjerna för maximal halt anges i ISO 14687-2:2019.

Tabell 4.2. Metoder för framställning av vätgas från olika energikällor.

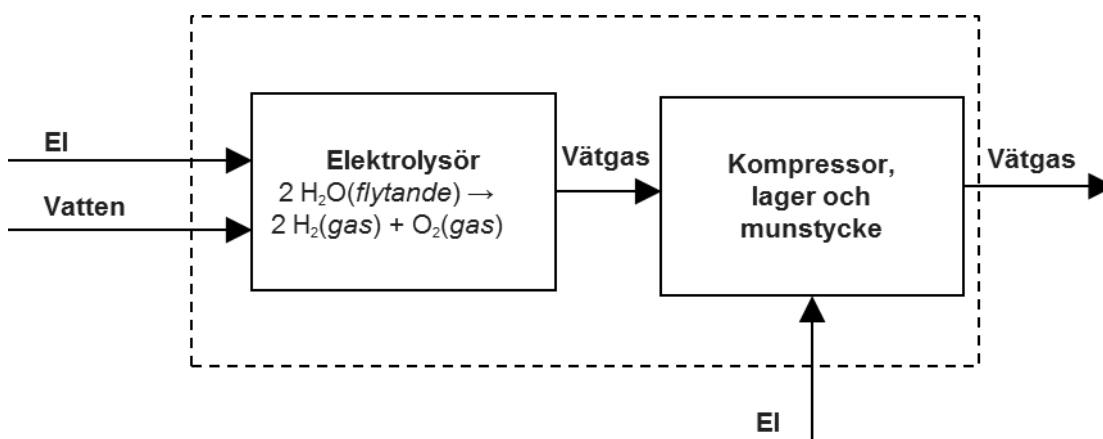
Energikälla	Metod för framställning av vätgas
Förnyelsebar elektricitet Kärnkraft	Elektrolys
Biomassa inklusive avfall	Rötning + reformering + gasrening Förgasning + reformering + gasrening
Naturgas	Reformering + gasrening

Beroende på hur mycket utsläpp processerna resulterar i, benämns den tillverkade vätgasen i olika färger. Så kallad grön vätgas framställs genom elektrolys, vilket är spjälkning (dvs. delning) av vatten med el från förnybara källor eller ur biomassa eller biogas. Den grå vätgasen framställs genom ångreformering från fossil naturgas eller förgasning av kol. Om koldioxid från tillverkning av grå

vätgas fångas in och antingen lagras, s.k. CCS-teknik (Carbon Capture and Storage), eller används som råvara i andra processer benämns den blå vätgas.

4.2.1 Elektrolys

Ett vanligt sätt att framställa vätgas för användning i bränsleceller är genom elektrolys av vatten, se figur 4.1. I elektrolysören spjälkas vattenmolekylerna upp till vätgas och syrgas. Vätgasen leds sedan via en gasvätskeavskiljare till en gasklocka och därefter vidare till en vattenringspump där vätgasens tryck höjs. Vätgasen renas slutligen från eventuella syrerester och komprimeras ytterligare (Air Liquide Gas AB, 2017).



Figur 4.1. Principbild av vätgasframställning genom elektrolys (Karlström et al, 2007, modifierad).

Vid framställning av vätgas genom elektrolys kan mängden producerad vätgas enkelt regleras genom att variera mängden el. Elektrolys är därför en lämplig metod för produktion av vätgas i liten skala (Andersson, 2016).

4.2.2 Ångreforming

Vätgas kan framställas från biogas eller naturgas genom ångreforming. Detta innebär att högttempererad 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 (US DOE, 2016).

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

4.2.3 Utvinning av restprodukter

Inom industrier där stora mängder överskottsvärme uppstår kan detta energiöverskott utnyttjas för att generera el som i sin tur kan användas till att producera vätgas. Ett alternativ är att använda el från förnybara intermittenta energikällor (t.ex. sol och vind) för framställning av vätgas genom elektrolys, och sedan lagra denna energi i form av vätgas. Vidare kan restgaser förbrännas och an-

vändas för produktion av elektrisk energi och värme. Gasen kan exempelvis förbrännas i en gas-motor (TUW & Energiepark Bruck an der Leitha, 2012). Vid vätgasframställning från industriers restgaser krävs det att vätgasen separeras från andra gaser och renas. Om restgaser innehåller många olika ”förorenande” ämnen kan reningen bli kostsam (Andersson, 2016, personlig kommunikation).

4.3 LAGRING

Vätgas kan lagras i trycksatta tankar, som flytande väte, eller genom absorption. Vid mobila applikationer är det önskvärt att minimera vikt och volym för lagringen. Ombord på fordon lagras vätgas i trycksatta tankar, främst vid tryck på 350 eller 700 bar. För personbilar är 700 bars tryck vanligast, medan truckar, lastbilar och bussar vanligen har 350 bars tryck. När tankar för 700 bar används minskar utrymmesbehovet jämfört med tankar för 350 bar, vilket är mest relevant hos mindre fordon som personbilar än större fordon. Dock börjar även de tyngre tillämpningarna gå mot 700 bars tryck. Tankarna är ofta tillverkade av kol- eller glasfiberkomposit med ett inre aluminium- eller polyetenskikt (Netinform, 2016).

Väte kan även lagras i flytande form. Väte övergår från gas till flytande vid temperaturer lägre än -253 °C. Detta innebär att tankarna måste vara väl isolerade. Det fordras även en stor mängd energi för att överföra vätgas till flytande form samt för att hålla den flytande. Hittills har denna lagringsform endast använts i högteknologiska tillämpningar, exempelvis rymdfarkoster (Air Liquide Gas AB, 2017).

Att komprimera vätgas från 20 bar till 440 bar (för tankning av fordon med ett ombordtryck på 350 bar) kräver ca 2 kWh/(kg H₂). Komprimering av vätgas till 880 bar (för tankning av fordon med ett ombordtryck på 700 bar) kräver ca 3 kWh/(kg H₂).

För att erhålla flytande väte krävs ca 7–13 kWh/kg H₂ (Gardiner, 2009). Komprimering till ett högre tryck innebär därmed förluster i systemverkningsgraden. Fördelen med ett högre tryck är dock att det krävs en mindre volym på vätgastanken för samma energiinnehåll. Tankvolym motsvarande drifttid för 170 liter diesel (0,17 m³) blir för vätgas 320 m³ vid normalt tryck och normal temperatur, 0,96 m³ vid 350 bar, 0,22 m³ vid 700 bar respektive 0,14 m³ vid flytande (Treiber et al., 2018a).

4.4 VISIONER, STRATEGIER OCH FÄRDPLANER FÖR ANVÄNDNING AV VÄTGAS

EU har presenterat en vätgasstrategi (EU, 2020). I strategin finns mål om att det ska ha installerats 4 GW elektrolysörer i EU 2024 och minst 40 GW 2030. I dagsläget finns 60 MW elektrolysörer i EU (IVA, 2021). De investeringar som behövs för att nå målet 2030 uppges vara 13–15 miljarder EUR (OmEV, 2020).

Tyskland har presenterat en vätgasstrategi (BMBF, 2020) där 9 miljarder EUR ska satsas för att få en världsledande ställning (OmEV, 2020). För att täcka behovet bedöms import av vätgas vara nödvändig och 2 miljarder EUR kommer därför att användas för internationella partnerskap.

I Norden har Island presenterat en vision för hur vätgas kan bidra till att minska växthusgasutsläppen för transport och fiskerinäringarna och en tydligare färdplan väntas tas fram till 2025 (Icelandic

New Energy, 2020). Den norska regeringen (2020) publicerade sin vätgasstrategi i juni 2020 och Business Finland (2020) publicerade Finlands nationella färdplan för vätgas i november 2020.

4.4.1 Sverige

I Sverige har Energimyndigheten fått regeringens uppdrag att ta fram ett förslag till strategi för fossilfri vätgas, elektrobränslen och ammoniak. Det avrapporteras 25 november 2021. Enligt Fossilfritt Sveriges vätgasstrategi för regeringen, som presenterades i början av 2021, utgör vätgas en av flera delar i strategin att uppnå en fossilfri transportsektor till 2045. Fem områden bör prioriteras enligt den:

1. Elsystemet
2. Vätgasinfrastruktur: ett planeringsmål på installerad elektrolyseffekt om 3 GW 2030 och minst 8 GW 2045 föreslås.
3. Nya regelverk: översyn på beskattning av vätgas, elektrobränsle, elektrokemikalier, mm.
4. Finansieringslösning: Snabbtred Carbon Contract for Difference, ett CO₂-baserat stöd som kan bidra likt ett produktionsstöd.
5. Forskning, utveckling och kompetensförsörjning.

Ett flertal länder har tagit/kommer ta fram strategier/visioner/färdplaner. I följande stycken presenteras några av de länder och områden som är i framkant vad gäller vätgassystem.

4.4.2 Island

Island har presenterat en vision, *A 2030 vision for H2 in Iceland* (Icelandic New Energy, 2020) för hur vätgas kan bidra till att minska växthusgasutsläppen för transport- och fiskerinäringarna. Till 2025 väntas en tydligare färdplan presenteras, *2050 Hydrogen Roadmap for Iceland*. I dagsläget ser det kvarvarande gapet mellan utsläpp och mål fram till 2030 ut att vara 500 kt CO₂-eq/år (för att Islands bidrag till Parisavtalet ska kunna uppnås) eller 900 kt CO₂-eq (enligt nationella mål). Vätgas anses här ha en viktig roll att fylla för att nå utsläppsmålen.

Förutom direkt användning av vätgas presenterar visionen möjligheter använda vätgas för produktion av elektrobränslen såsom ammoniak, syntetisk metan (green gas), metanol, Blue Crude¹, DME (Dimetyleter) och som marina bränslen (för export) samt för andra tillämpningar där vätgasen inte direkt kan användas.

Island har i dagsläget två produktionsanläggningar för vätgas som båda är geotermiska kraftverk. Produktionskapacitet är 1500 Nm³/tim för Svartsengi (operatör: Carbon Recycling International) och 150 Nm³/tim för Hellisheiði (operatör: ON Power). Vid Svartsengi används all vätgas för

¹ Blue crude är namnet på en syntetisk olja tillverkad med fossilfri el, vatten och koldioxid och som kan användas för tillverkning av exempelvis e-diesel (Palmer 2015).

metanolproduktion för lokala och exportmarknader. Vid Helligsheim används all vätgas för transportaktiviteter främst genom projektet H2ME-2.²

4.4.3 Schweiz

I Schweiz är det främst The H2 Mobility Switzerland Association (H2) som driver vätgasinfrastrukturbyggandet. H2 avser inrätta ett nationellt nät av vätgastankstationer. Organisationen grundades 2018 som en plattform med sju organisationer för att främja och påskynda inrättandet av vätgasrörlighet (eng. hydrogen mobility). Efter det har 14 nya medlemmar tillkommit. I avsnitt 5.2.1 beskrivs vidare infrastrukturen för vätgas i Schweiz.

Det finns flera olika bränslecellslastbilar i drift hos olika aktörer i Schweiz, se figur 4.2. Hyundai (2021) har 46 bilar i drift vilka fram till mars 2021 kört totalt 380 000 km. De första sex lastbilarna kunde överlämnas till kunder i oktober 2020 (Reuters, 2020).



Figur 4.2. Exempel på bränslecellslastbilar i drift i Schweiz (Hyundai, 2021, beskuren).

4.4.4 Sydkorea

Den nationella färdplanen för Sydkorea "Hydrogen Economy Roadmap of Korea" ligger till grund för målsättningar om att till 2040 producera 6,2 miljoner bränslecellsbilar varav 2,9 miljoner avses för den nationella marknaden och resten för export (Vätgas Sverige, 2020b). I planen ingår även att 1 200 vätgastankstationer ska byggas runt om i landet till 2040 (The Korea Herald, 2021).

4.4.5 Kalifornien

Delstaten Kalifornien i USA ligger i framkant internationellt när det gäller fordon med bränslecellsdrift samt utbyggnad av vätgasinfrastruktur. I juli 2016 togs en handlingsplan fram för mellan- och tunga lastbilar: Medium- and Heavy-Duty Fuel Cell Truck Action Plan for California (Mikulin, 2016) som innehöll rekommendationer om framtagning av affärsmodeller, vätgasinfrastruktur och demonstrationer för att påskynda en övergång till utsläppsfri teknik. Fokus skulle riktas mot paket- och lastbilar med totalvikter på 6,3–11,8 ton samt dragbilar för ekipage med totalvikter över 15 ton för att få ut dessa segment på marknaden innan år 2020.

Den lokala energimyndigheten, California Energy Commission (CEC), driver Clean Transportation Program, som bl.a. erbjuder möjlighet att söka medel för forskning, utveckling och demonstration

² Hydrogen Mobility Europe 2 (H2ME 2) är ett EU-projekt som syftar till att öka antalet vätgastankstationer och bränslecellsfordon i Europa (Ridell, 2015).

av vätgasdrivna tunga lastbilar och bussar med särskilt utmanande körcykler som långa rutter, begränsade tankmöjligheter och höga lastvikter (CEC, 2021a), samt produktion av förnybar vätgas för transportsektorn (CEC, 2021b).

Kalifornien har ett mål om att ha 200 publika vätgastankstationer år 2025 (CEC, 2020). I slutet av 2020 beslutades om godkända planer på att investera i infrastruktur för vätgastankning 115 miljoner USD. Vid tidpunkten för beslutet har myndigheten finansierat 45 tankstationer och ytterligare 16 som är under uppbyggnad. Den nya investeringsplanen innebär att det kommer finnas upp mot 179 tankstationer i delstaten, varav sju privata.

Under sommaren 2021 presenterade California Fuel Cell Partnership (CaFCP, 2021) en vision om att det i Kalifornien till år 2035 ska finnas 200 vätgastankstation som kan försörja 70 000 lastbilar. I första hand föreslås att åtgärder koncentreras på de stora godstransporthubbarna, inklusive hamnar, flygplatser och andra stora lagerområden. CaFCP menar att när bränslecellsdrivna lastbilar nått massproduktion kommer de, snarare än batterielektriska lastbilar, att ligga på samma nivå för avkastning på investering, return-on-investment, som dieseldrivna klass 8-lastbilar. I visionen ingår förslag på hur fördelning och placering av tankstationer i Kalifornien samt i omgivande delstater kan se ut.

4.5 STÖD VID INKÖP AV ELLASTBIL

Från september 2020 finns en särskild klimatpremie för lastbilar och arbetsmaskiner att söka via Energimyndigheten. Premien är en del av flera klimatpremier som regeringen (2020) beslutat om fram till 2022, varav lastbils/arbetsmaskinspremier är 20 miljoner SEK. Enligt NyTeknik (2020) räcker premien till ca 70 fordon. Premien gäller vid inköpstillfället för företag, kommuner och regioner som köper in tunga lastbilar som drivs av el, gas eller bioetanol, samt större arbetsmaskiner som drivs på el.

Stödberättigade fordon:

- Tung lastbilar, med en totalvikt över 3,5 ton, som drivs enbart av bioetanol, fordonsgas eller elektrisk energi från en bränslecell, ett batteri eller en extern källa.
- Lastbilar som drivs av en kombination av ovanstående bränslen är också stödberättigad, exempelvis en laddhybrid som drivs av el och bioetanol.
- Eldrivna arbetsmaskiner med en nettoeffekt över 75 kW. Arbetsmaskinerna delas in i motorredskap och traktorer enligt lagen om vägtrafikdefinitioner. Fordonen får drivas enbart av elektrisk energi från en bränslecell, ett batteri eller en extern källa.

Det finns även investeringsstöd i form av miljöbilspremie, från Energimyndigheten, för 20 % av inköpskostnaden (max 40 % av merkostnaden) och även klimatklivet från Naturvårdsverket (för max 50 % på laddare) (Björkquist, 2021).

Trafikverket lyfter genom sitt arbete med regeringsuppdragen om elvägar och laddinfrastruktur fram behovet av tillfälliga statliga stöd som höjda drivmedelspriser, en miljölastbilspremie eller stöd för byggande av laddinfrastruktur för stationär laddning (Trafikutskottet, 2020). Regeringen har föreslagit ett stöd för regionala elektrifieringspiloter (inkluderar laddinfrastruktur och vätgas-

tankstationer), som omfattar 500 MSEK resp. 550 MSEK för år 2021 resp. 2022. Beslut om förslaget har inte tagits (oktober 2021). Huruvida en mer fast premie för lastbilar kommer införas återstår att se. Möjligen kan premien för bussar fungera som utgångspunkt.

För elbussar finns en premie sedan 2016. Elbusspremien går i korthet ut på att aktörer som bedriver kollektivtrafik (som regionala kollektivtrafikmyndigheter, kommuner, aktiebolag samt trafikföretag) kan söka ersättning för elbussar, laddhybrider, bränslecellsbussar och trådbussar med en transportkapacitet på mer än 14 passagerare som ska användas i kollektivtrafik. Premien regleras i Förordning (2016:836) om elbusspremie (Sveriges riksdag, 2020). Ersättningen uppgår till 10 % av elbussens inköpspris och är riktad mot kollektivtrafikmyndigheter, kommuner eller aktiebolag som fått befogenhet att upphandla kollektivtrafik. För trafikföretag utgör premien 40 % av mellanskillnaden mellan en elbuss och närmast jämförbara dieseldrivna buss. Laddhybridbussar erhåller halva premiebeloppet. Maxbeloppet som en aktör kan söka är 25 MSEK per kalenderår.

5 INFRASTRUKTUR FÖR VÄTGAS

Transportuppläggen vid vätgasdrift har en stor fördel jämfört med eldrift i och med att tankning och räckvidder liknar de som gäller för befintliga dieseldrivna transporter. För eldrift finns begränsningar i hur snabbt det går att ladda men framför allt är det höga batterivikter som i dagsläget hindrar de tyngsta transporterna från att använda el. Den mest betydande skillnaden för tillfället för både el- och vätgasdrift är att utbyggnaden av ladd- och tankstationer är närmast obefintlig. Det finns laddstationer för personbilar i ökande utsträckning i Sverige, framför allt i städer, tätorter och längs större vägar. Dock är de inte anpassade för att rymma stora lastbilar.

5.1 SVERIGE

I Sverige finns det fem tankstationer för vätgas: Umeå, Sandviken, Arlanda, Mariestad och Göteborg. Dessa, dess operatörer och fordon som kan tankas där finns sammanställt i tabell 5.1. Samtliga fem stationer är anpassade för tankning av personbilar, och stationen i Sandviken är också anpassad för tankning av bussar. Ingen är anpassad för tankning av lastbilar. Den mest närliggande tankstationen för lastbilar är Askos station i Trondheim.

Tabell 5.1. Vätgastankstationer i Sverige (H2Stations, 2021).

Station/ort	Operatör	Personbil	Buss	Kommentar	Senaste uppdatering
Umeå	Oazer	700 bar	-	Privat, men tankning är möjlig efter kontakt med operatören. Del av projektet H2ME. Finansierat av EU och FCH JU. www.h2me.eu	2021-09-27
Sandviken	Linde AG	350 och 700 bar	350 bar	Betalning med kreditkort. Del av projektet H2ME. Finansierat av EU och FCH JU. www.h2me.eu	2021-09-27
Arlanda	Hynion (tidigare Linde AG)	700 bar	-	Betalning med Visa eller Mastercard. Del av projekten H2ME och HIT-2. Finansierat av EU.	2021-09-27
Mariestad	H2 Logic	700 bar	-	Del av projektet H2ME. Finansierat av EU och FCH JU. www.h2me.eu	2021-09-27
Göteborg	Hynion (tidigare Woikoski)	350 och 700 bar	-	www.vatgas.se www.scandinavianhydrogen.org	2021-10-08 planeras återöppnas 2021

EU-projektet Nordic Hydrogen Corridor (NHC) är ett initiativ för vätgas inom transportsektorn som ämnar bidra till utveckling av bränslecellsfordon samt produktion och distribution av grön vätgas (Vätgas Sverige, 2021). Vätgas Sverige leder projektet och övriga deltagare är norska energikoncernen Statkraft, danska vätgasbolaget Everfuel, samt fordonstillverkarna Hyundai och Toyota. Projektet bygger på samarbetsavtal med åtta nordiska städer för att skapa en vätgaskorridor mellan de nordiska huvudstäderna, se figur 5.1a. Totalt ingår åtta tankstationer och en produktionsanläggning i projektet. I dagsläget har Trelleborg, Uddevalla och Markaryd signerat en avsiktsförklaring som innehåller tre tankstationer och en fordonsflotta med olika sorters bränslecellsfordon. Arbetet med att besluta om vilka de övriga fem orterna ska bli, samt utvärdering av lokal efterfrågan pågår. Den första tankstationen är planerad att börja byggas under 2021.



Figur 5.1. Nordic Hydrogen Corridor ungefärliga utsträckning respektive b) Everfuels planerade placeringar av vätgastankstationer (baserat på Nordic Hydrogen Corridor 2021 och NyTeknik 2021 samt baskarta från openstreetmap.org © OpenStreetMaps bidragsgivare).

Det danska företaget Everfuel planerar att bygga 15 nya vätgastankstationer mellan Gimo i norr och Trelleborg i söder (se Figur 5.1b) till slutet av 2023 (NyTeknik, 2021). Åtta av stationerna ingår i Nordic Hydrogen Corridor. Resterande sju planerar Everfuel att bygga själva eller tillsammans med andra aktörer. Stationerna kommer erbjuda vätgas med 350 och 700 bars tryck. Vätgasen avses produceras i större anläggningar och transporteras med lastbil till tankstationerna. Det är inte klart var anläggningarna ska ligga eller vem som kommer att bygga dem.

5.1.1 Vätgasframställning i Sverige

Ett exempel på produktion i Sverige av grön vätgas för fordonsanvändning finns i Mariestad. Det är världens första och hittills enda vätgastankstation som drivs med solenergi från en närliggande solcellspark, se Figur 5.2 (Mariestad, 2021). Intill solcellsparken finns en elektrolysör vilken är kopplad till en tankstation som tillverkar vätgas, se Tabell 5.2 för detaljer. Anläggningen invigdes 2019 och är resultatet av ett samarbete mellan Mariestads kommun och Nilsson Energy AB. Fordon som tankas vid stationen är bl.a. kommunens 14 bränslecellsdrivna personbilar (Alpman, 2021).



Figur 5.2. Tankstation för vätgas tillverkade med solceller i Mariestad (foto André Nordblom, 2019).

Tabell 5.2. Fakta om Mariestads solcellspark och tankstation (Alpman, 2021).

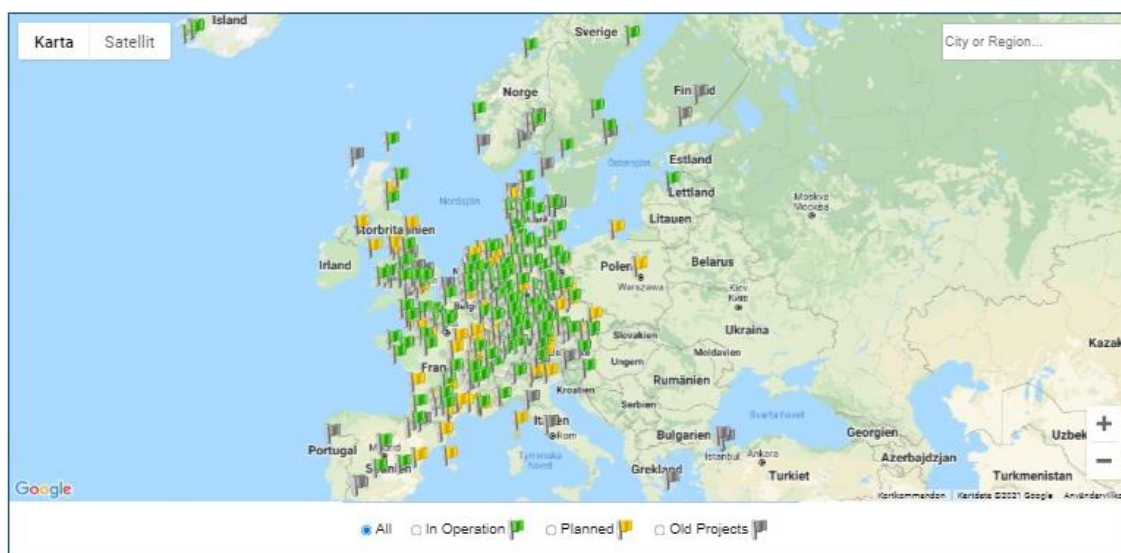
Solceller	1 600 m ² , kapacitet 250 kW
Vätgasproduktion	4 000 kg/år
Elektrolyskapacitet	46 000 kg/år
Lagring	345 kg vid 200 bar, i två containrar
Tryck	700 bar, vid tankning
Bränsleceller	Anläggningen innehåller en bränslecell som levererar el till tankstationen om det är avbrott i elförsörjningen
Pris	90 SEK/kg
Total kostnad	ca 21 MSEK för tankstation, solcellspark och utrustning för att tillverka och lagra vätgas. Huvuddelen har finansierats med bl.a. bidrag från EU.

Planer på vätgasproduktion för fordonsanvändning finns i exempelvis Trelleborg. Inom kommunen planeras det för en egen framtida vätgasproduktion med ambition att bli helt självförsörjande på bränsle till den kommunala fordonsflottan (Trelleborgs kommun, 2020). Satsningen är en del av Trelleborgs medverkan i EU-projektet NHC (se ovan).

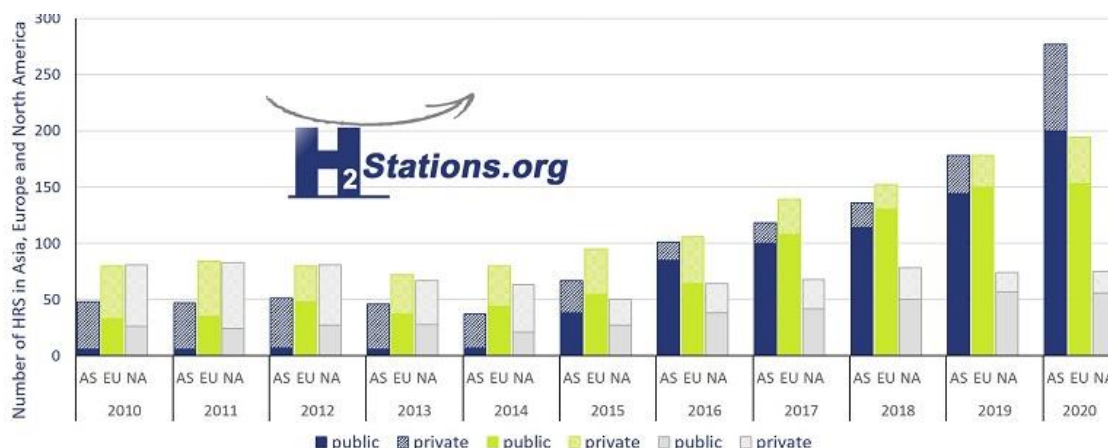
5.2 EUROPA OCH ÖVRIGA VÄRLDEN

I Europa finns vätgasstationer främst i Tyskland, Frankrike, Storbritannien och Danmark. Spanien, Italien, Österrike, Norge, Sverige, Belgien, Island, Kroatien, Tjeckien och Lettland har ett fåtal stationer i operativt skick, se Figur 5.3.

I Asien och Oceanien finns de flesta tankstationerna i Japan, Sydkorea och Kina. Indien, Taiwan, Malaysia, Förenade Arabemiraten och Saudiarabien samt Australien har enstaka stationer. I Nord- och Sydamerika finns ett flertal stationer i USA, särskilt koncentrerade till Los Angeles, och några enstaka i Kanada samt i Costa Rica.

**Figur 5.3. Vätgasstationer i Europa (H2Stations.org, 2021).**

Andelen tankstationer i världen har mer än fördubblats på tio år, från ca 210 till ca 560 stationer år 2020. I Figur 5.4 visas utvecklingen uppdelat per region (Asien, Europa och Nordamerika). Huvuddelen är numera publika stationer, vilket inte var fallet för tio år sedan då de privata var i majoritet.



Figur 5.4. Utveckling av vätgasladdinfrastruktur 2010-2020 i Asien, Europa och Nordamerika, uppdelat i privata och publika stationer. Källa: H2stations.org by LBST (H2Stations.org, 2021).

5.2.1 Infrastruktur – Exempel från Schweiz

I Europa har Schweiz kommit en bit på vägen med att bygga upp infrastruktur för produktion och tankning av vätgas. Det finns för närvarande tre tankstationer i landet som är i drift och ytterligare fem är planerade att byggas (Hydrospider, 2021). Det är resultatet av ett affärssamarbete, joint venture, mellan Hydrospider AG, Hyundai Hydrogen Mobility AG, H2 Energy AG och Association pro H2 Mobilität Schweiz. Hydrospider är i sin tur ett joint venture mellan energiföretaget Alpiq och H2 Energy samt gasföretaget Linde. Flera bränslecellslastbilar finns i drift och till år 2025 planeras totalt 1 600 bilar från Hyundai finnas på plats (Hyundai, 2020a).

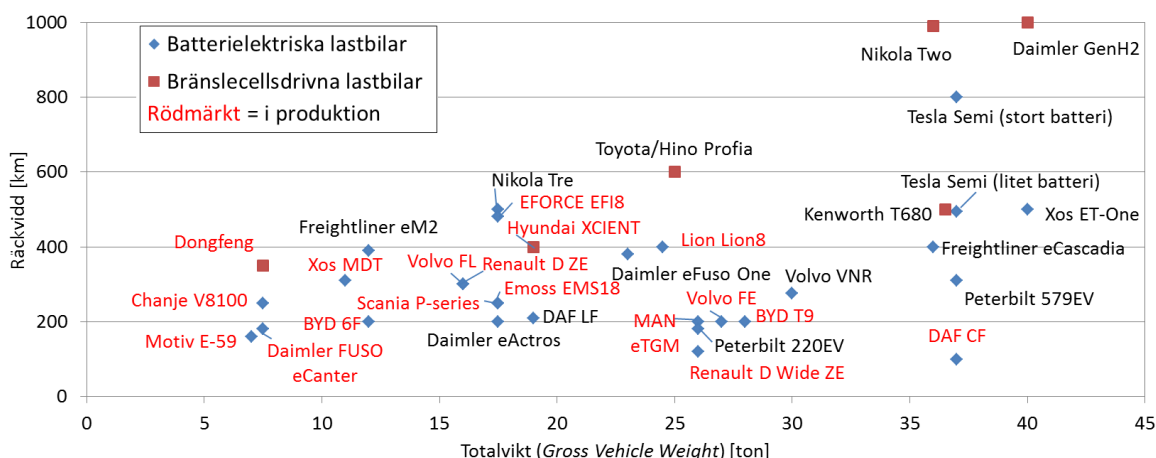
Vätgasen i det schweiziska systemet produceras med hjälp av el från ett vattenkraftverk i Gösgen. I en elektrolysör med effekt på 2 MW spjälkas vatten till vätgas och syrgas. Gasen komprimeras och pumpas in i speciella containrar som rymmer 350 kg vätgas under ett tryck på 350 bar, för att därefter transporteras med lastbil till tankstationerna (se Figur 5.5). Effekten på elektrolysören möjliggör produktion på upp till 300 ton vätgas per år, vilket uppges kunna försörja cirka 40–50 lastbilar eller 1700 personbilar.



Figur 5.5. Container med vätgas lastas på lastbil för distribution (bild från film Wasserstoff.TV, 2020).

6 EL- OCH BRÄNSLECELLSLASTBILAR

Utveckling av el- och bränslecellsdriva fordon har tagit fart de senaste åren. Även om de bränslecellsdrivna fordonen på vägarna än så länge är få, så finns det idag både kommersiella eldrivna lastbilar som vätgasdrivna bränslecellslastbilar. IDTechEx (Wyatt och Gear, 2020) har presenterat en analys av marknadsläget i världen för medium och tunga lastbilar där såväl el- som bränslecellslastbilar, planerade och i produktion finns med. I figur 6.1 ges en sammanställning över eldrivna lastbilar och dess totalvikt samt räckvidd baserat på denna sammanställning.



Figur 6.1. Sammanställning av marknadsläget i världen för eldrivna lastbilar baserat på driftsätt (blå punkt = batterielektrisk drift; röd punkt = bränsleceller med vätgasdrift), räckvidd och bruttovikt. (Figuren är baserad på Wyatt och Gear, 2020.)

Wyatt och Gear (2020) presenterar en sammanställning över ca 40 fordonstillverkare av ellastbilar som agerar i olika regioner i världen, se tabell 6.1.

Tabell 6.1. Fordonstillverkare av ellastbilar (medium och tunga) jorden runt. Baserat på Wyatt och Gear, 2020.

Europa	USA	Kina	Övriga världen (Japan, Ryssland, Indien, Mexico)
• MAN (VW GROUP) • SCANIA (VW GROUP) • VOLVO • RENAULT TRUCKS (VOLVO) • MERCEDES (DAIMLER) • IVECO • DAF (PACCAR) • E-FORCE ONE • FRAMO • TERBERG • ARRIVAL • EMOSS • TEVVA	• FREIGHTLINER (DAIMLER) • PETERBILT (PACCAR) • VOLVO • MACK (VOLVO) • INTERNATIONAL (NAVISTAR) • TESLA • XOS TRUCKS • ALKANE • LION ELECTRIC • CUMMINS • WRIGHTSPEED • ZERO TRUCK • CHANJE • EDI • ORANGE EV • TransPower • Lightning eMotors	• FAW JIEFANG • DONGFENG • SINOTRUCK CDW • SHACMAN • FOTON • JAC MOTORS • DAYUN • GEELY • BYD • CHTC Chufeng	• HINO MOTORS • HYUNDAI

6.1 BATTERIELEKTRISKA FORDON

Flera modeller av eldrivna tyngre distributionsfordon är på väg ut på marknaden. Lastbilstillverkare som Tesla, Traton Group (ägare av Scania och MAN), Volvo samt Nikola har under senare år presenterat planer på eldrivna fordon. Flera tester pågår hos kunder och serietillverkning är under uppstart. I Tabell 6.2 visas exempel på helelektriska lastbilar, med batterier som energilager, som idag finns på världsmarknaden, som prototypfordon eller planeras att introduceras på marknaden.

Tabell 6.2. Urval av elektriska tunga lastbilar med batterier som energilager.

Tillverkare/modell	Information	Status	Referens
DAF CF Electric FT tractor/ FAN rigid 	Bruttovikt: 37 ton (tractor), 28 ton (rigid) Tjänstevikt: 9 ton (tractor), 10,2 ton (rigid) Elmotor: 210 kW Energilager: 350 kWh (315 kWh effective capacity) litium-jon-batterier Räckvidd: 220 km Laddning: snabb 30 min; full 75 min vid 250 kW	Serieproduktion i flera länder (100 km). Modell med förlängd räckvidd, förväntad leverans 2021	DAF, 2020, VDL, 2018
DAF LF Electric 	Bruttovikt: 19 ton Tjänstevikt: 7,3 ton; Lastvikt: 11,7 ton Energilager: 282 kWh (254 kWh effective capacity), lithium iron phosphate (LFP)-batterier Elmotor: 250 kW/ maxeffekt 370 kW Räckvidd: 280 km Snabbladdning: 60 min (från 20–80 %) vid 150 kW Full laddning: 2 h	Produktion startar i maj 2021	DAF, 2021
Daimler Fuso eCanter 	Bruttovikt: 12 ton Tjänstevikt: 7,5 ton; Lastkapacitet: 4,6 ton Elmotor: 185 kW Räckvidd: 200 km Energilager: 3-6 litium-jon-batterier med 14 kWh/batteri Laddning: Combo 2 Laddningstid: 80 % på 30 min med 170 kW AC laddning 7 h	I serieproduktion.	Daimler, 2018a
Emiss 18 serie* 	Bruttovikt: 18 ton; Lastkapacitet: 10, 12 eller 16 ton Elmotor: 250 kW Energilager: LiFePo4-batterier, 120–240 kWh Räckvidd: 100–250 km Laddning: 22 eller 44 kW, 32 eller 64 A Laddningstid: 3–6 h	I serieproduktion	Emiss, 2018
MAN eTruck 	Bruttovikt: 12 ton (medium) eller 26 ton (heavy) Elmotor: 250 kW Räckvidd: 200 km	Småskalig produktion 2018. I serieproduktion 2021	MAN, 2018
MAN eTGM 	Bruttovikt: 26 ton Elmotor: 264 kW med vridmoment om 3,100 Nm Räckvidd: 190 km Batteri: 12 litium-jon NMC batteripackar om 185 kWh Laddtid: ca 8 h (22 kW AC), 1 h (150 kW DC)		MAN, 2020
Mercedes-Benz eActros 	Bruttovikt: 18 ton (2-axlig) eller 25 ton (3-axlig) Energilager: Litium-jon-batterier, 240 kWh Räckvidd: 200 km Laddtider: 3–11 h (20–80 kW laddkapacitet) Effekt: 150 kW	I serieproduktion 2021	Daimler, 2018b

Mercedes-Benz Urban eTruck 	Bruttovikt: 26 ton Elmotor: 2 × 125 kW maxeffekt Energilager: Litium-jon-batterier, 212 kWh Räckvidd: 200 km	I serieproduktion	Daimler, 2018c
Scania BEV 	Bruttovikt: max 29 ton Energilager: Litium-jon-batterier, 165 kWh med 5 batterier eller 300 kWh med 9 batterier Räckvidd: 130 eller 250 km Effekt: 230 kW Laddning: upp till 130 kW/200 A DC-laddning Laddtider: <55 min eller <100 min 130 kW DC	Tillgänglig för beställning. I produktion.	Scania, 2020b, 2021a
Tesla Semi 	Bruttovikt för fordonskombination: 36 ton Räckvidd: 480 eller 800 km Energilager: ca 1 000 kWh Laddningstid: 30 min för 640 km räckvidd med Teslas snabbbladdare för lastbilar (1 600 kW) Energiförbrukning: < 1,2 kWh/km	Möjlig att reservera.	Tesla, 2018, 2021
Volta Zero 	Bruttovikt: 16 ton Räckvidd: 150–200 km Batterikapacitet – Standard:150 kWh (usable)/Hög: 225 kWh (usable) Lastvikt: 8,6 ton Volym: 37,7 m ³ (16 st EU-pallar)	Förbeställning för leverans 2022	Volta, 2021
Volvo FL Electric  ”för lokal distribution och stadsdistribution”	Bruttovikt: 16,7 ton Motoreffekt (topp/kontinuerlig): 200/165 kW Energilager: 4 eller 6 litium-jon-batterier om totalt 200–300 kWh Räckvidd: Upp till 300 km Batterikapacitet: 200–396 kWh. Maximalt vridmoment upp till 425 Nm. Laddningstid (snabb/vanlig): mindre än 1 h/6,5 h (3 batterier), 2,1 h/14,5 h (6 batterier)	I volymproduktion. Tillgängliga för beställning.	Volvo, 2021b
Volvo FE Electric  ”för lokal- och stads-distribution och avfalls-transporter”	Bruttovikt: 27 ton Räckvidd: upp till 200 km Motoreffekt (topp/kontinuerlig): 400/330 kW Batterikapacitet upp till 264 kWh Maximalt vridmoment upp till 850 Nm Laddningstid (snabb/vanlig): mindre än 1 h/6,5 h (4 batterier)	I volymproduktion. Tillgängliga för beställning	Volvo, 2021b
Volvo FH Electric  ”för regionala transporter och intercitytransporter”	Bruttovikt/tågvikt: upp till 44 ton Lastkapacitet: 23 ton Räckvidd: upp till 300 km Motoreffekt (topp/kontinuerlig): 600/490 kW Maximalt vridmoment: 2 400 Nm Batterikapacitet: 450-540 kWh Laddningstid (full laddning): 9,5 h (AC, 43 kW), 2,5 h (DC 250 kW)	Tillgängliga för beställning i slutet av 2021. Volymproduktion inleds under andra halvan av 2022.	Volvo, 2021a, 2021b
Volvo FM/FMX Electric  ”för tunga lokala transporter, regional distribution och anläggnings-transporter”	Bruttovikt/tågvikt: upp till 44 ton Räckvidd: upp till 300 km Motoreffekt (topp/kontinuerlig): 600/490 kW Maximalt vridmoment: 2 400 Nm Batterikapacitet: 450-540 kWh Laddningstid (full laddning): 9,5 h (AC, 43 kW), 2,5 h (DC 250 kW)	Tillgängliga för beställning i slutet av 2021. Volymproduktion inleds under andra halvan av 2022.	Volvo, 2021a, 2021b

6.1.1 Konvertering till eldrift

Det finns även företag som konverterar nya och begagnade fordon till eldrift. Ett exempel är nederländska Emoss som konverterar mediumstora samt tunga fordon till helelektriska drivlinor (Emoss, 2021). I dagsläget har Emoss konverterat ca 400 fordon som kör på allmänna vägar, främst i Nederländerna.

En lastbil konverterad från diesel till eldrift uppges bli ca 10 % tyngre. Laddning av ett batteripack på 200 kWh (44 kWh/batteri) tar med traditionell laddning ungefär 4,5 timmar eller 75 minuter med snabbladdning. Leveranstiden är 12–20 veckor för en standarddrivlina och knappt ett år för specialbeställningar. Garantitiden för drivlina är 12–24 månader. För batterierna är garantitiden fem år eller 3 000 laddcykler. Kostnaden för en drivlina ligger mellan 70 000-300 000 EUR beroende på vilka specifikationer som väljs (Barnett, 2019).

6.2 FORDON MED VÄTGASDRIVNA BRÄNSLECELLER

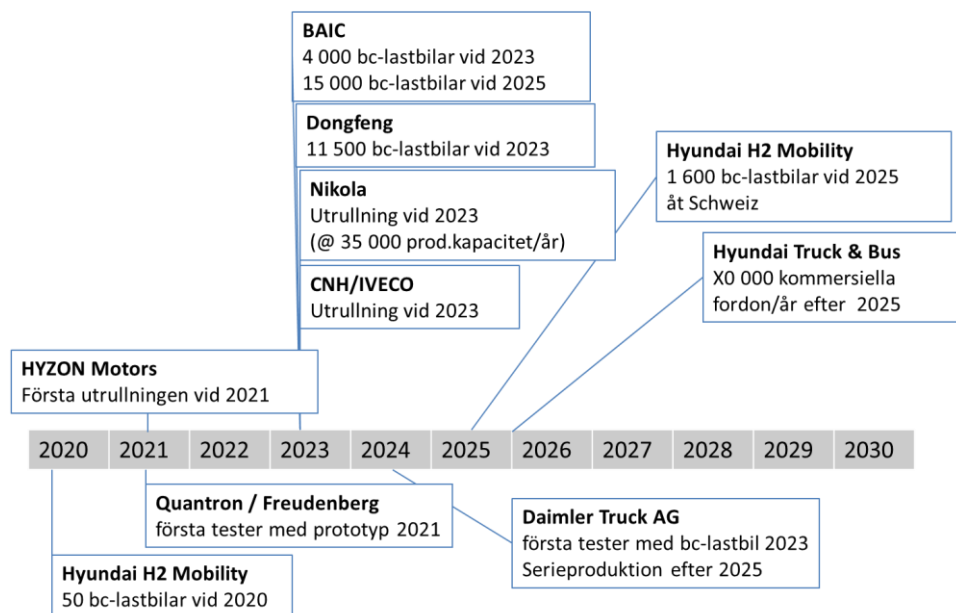
Utbudet av bränslecellsdrivna lastbilar är mer begränsat jämfört med de batteridrivna. Det finns ett antal testade prototyper och demonstrationsbilar och enstaka i produktion, se Tabell 6.3 för ett urval av modeller.

Tabell 6.3. Sammanställning över prototyp- och demonstrationslastbilar samt kommersiella lastbilar och dragbilar med bränslecellsdrift.

Tillverkare/ modell		Information	Effekt bränsle-cell (kW)	Vätgastankvolym (kg vätgas)	Status
CLEAN LOGISTICS HyBat Truck ³		Konvertering från diesel, Räckvidd: 400-500 km Batterikapacitet: 200 kWh	2 x 120	43	Lansering 2020
Esoro ¹		Dragbil Bruttovikt: 34 ton Räckvidd: 370 – 400 km Batterikapacitet: 120 kWh	100	31	Demonstration, sta 2017
Hyundai XCIENT Fuel Cell		Dragbil, Bruttovikt: 34 ton Rigid truck, Bruttovikt: 19 ton Räckvidd: 400 km	190	32,9	I produktion
HYZON HyMax-250		Dragbil, Rigid Bruttovikt: 25-40 ton Batterikapacitet: 140 kWh (250 kW elmotor)	45	20	Lansering 2020 Tillgänglig
HYZON HyMax-450 ²		Dragbil Bruttovikt: 40+ ton Batterikapacitet: 140 kWh (450 kW elmotor)	60 eller 100	20 eller 40	Lansering 2021 Tillgänglig
Kenworth T680 ZECT ¹		Dragbil Bruttovikt: 36 ton Räckvidd: 240 km Batterikapacitet: 100 kWh	85	30	
Mercedes-Benz "GenH2 Truck"		Dragbil Bruttovikt: 40 ton Räckvidd: 1000 km			Kundpiloter från 2023. Produktion efter 2025.
NikolaOne		Dragbil (est. 8-9 ton) Bruttovikt: 36 ton Räckvidd: est. 800 – 1200 Batterikapacitet: 250 kWh		300 ¹	
NikolaTwo		Dragbil (est. 8-9 ton) Bruttovikt: 36 ton Räckvidd: est. 800-1200 Batterikapacitet: 250 kWh			Tillgänglig 2024
NikolaTre		Dragbil Bruttovikt: 37 ton Räckvidd: 800 km Batterikapacitet: ≤750 kWh			Tillgänglig 2023
Scania (för ASKO) ¹		Bruttovikt: 27 ton, Räckvidd: 500 km Batterikapacitet: 56 kWh	90	33	Demonstration
Toyota "Beta"		Dragbil Bruttovikt: 36 ¹ ton Räckvidd: 300 + km Batterikapacitet: 12 ¹ kWh	226 ⁺	60 (700 bar) ⁴	Proof of concept 2018–2019
US Hybrid & Navistar ¹		Dragbil Räckvidd: 320 km Batterikapacitet: 30 kWh	80	25	

¹ Treiber et al., 2019:600² Hyzon, 2021a³ Clean Logistics, 2021⁴ <https://fuelcelltrucks.eu/project/toyotas-beta-hydrogen-fuel-cell-electric-truck-for-project-porta-2-0/> 2020-10-12

Flera av fordonstillverkarnas planer för kommersialisering av tunga vätgasdrivna lastbilar, har visualiserats av Wurster och Schmidt (2020) och återges här i Figur 6.2. Härnäst följer en genomgång av några av de fordonstillverkare som har planer på utveckling av vätgasdrivna lastbilar. Däribland finns, förutom de i tabellen ovan, BAIC, Dongfeng, CNH/IVECO, Hyundai Truck & Bus och Quantron/Freudenberg.



Figur 6.2. Illustration av planer för kommersialisering av tunga lastbilar med bränsleceller, baserad på Wurster och Schmidt (2020).

6.2.1 Hyundai

Först ut med masstillverkad tunga bränslecellslastbilar är, enligt den information som funnits tillgänglig i arbete med denna rapport, Hyundai Motor Company med Hyundai *XCIENT Fuel Cell*, se Tabell 6.2 och Figur 6.3. Totalt planeras leverans av 1 600 lastbilar till H2 Energy i Schweiz fram till 2025 (Hyundai, 2020a). I oktober 2020 togs de första lastbilarna i drift (Reuters, 2020).



Figur 6.3. Pressbild Hyundai XCIENT Fuel Cell (Hyundai, 2020b).

6.2.2 Hyzon

Hyzon Motors Inc, med huvudkvarter i New York, har presenterat flera olika HyMax-modeller med motoreffekter på 160–450 kW: *HyMax-160* med 19 ton bruttovikt, *HyMax-250* med 25–40 ton bruttovikt och *HyMax-450* med 40 ton eller mer i bruttovikt.

Under sommaren 2021 Hyzon levererat sin bränslecellsutrustade lastbil med 55 ton bruttovikt, en tankbil (Figur 6.4), till mejeriföretaget Royal FrieslandCampina N.V. (Hyzon, 2021b). Transportutövaren Transport Groep Noord planerar att använda lastbilen för specifika rutter i norra Nederländerna. Modellen är en HyMax 450 Puller (se Tabell 6.3) byggd på ett klass-8 DAF-lastbilschassi³ med maxeffekt för motorn på 550 kW. Räckvidden förväntas bli upp till 520 km.



Figur 6.4. Mjölktankbil av modell Hyzon Hymax 450 Puller, levererad till Friesland Campina sommaren 2021 (Hyzon, 2021b).

6.2.3 Esoro

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

6.2.4 Daimler

Daimler, som i september 2020 presenterade sin vätgassatsning, uttryckte att batteridrift är bäst för uppdrag upp till 500 km/dag, med lättare laster och för planerade rutter. För resterande uppdrag anses bränslecellslastbilar passa bättre (Daum, 2020). Hittills har Daimler producerat en mindre batteridrivna distributionslastbil *FUSO eCanter* i begränsad volym sen 2017. Under år 2021 avser de ha sin batteridrivna *Mercedes-Benz eActros* (över 200 km räckvidd) i serieproduktion och under 2024 avser de ha sin *eActros LongHaul* (500 km i räckvidd) i serieproduktion.

Mercedes-Benz *GenH2 Truck* är deras första bränslecellslastbil och den är designad för flytande väte. Den har bruttovikt på 40 ton, lastvikt 25 ton och en tänkt räckvidd på 1000 km eller mer. Under 2023 påbörjas testkörning hos kunder och serieproduktion är beräknad att starta under perioden 2025–2030.

³ Klass 8 är den tyngsta fordonsklassningen i USA och innehåller fordon med bruttovikt/gross vehicle weight rating (GVWR) över 33 001 pounds, dvs över 14,969 ton.



Figur 6.5. Daimler trucks batteri- och bränslecellssatsning, bild från Daimlers video (Daimler, 2020).

6.2.5 Volvo

Volvo betraktar vätgas som ett viktigt komplement till batteridrift, för tunga transporter (Berger, 2020). Volvo säljer redan idag batterielektriska lastbilar med upp till 26 ton bruttovikt vilka är avsedda för avfallshantering och citydistribution med räckvidd på 200–250 km. Dessa fordon klarar sig med enbart batteridrift och laddas nästan uteslutande nattetid.

För längre och tyngre transporter, som regional frakt och anläggningstransporter på upp till 300 km per dag, kommer det i många fall behövas tilläggsaddning. Det är för denna kategori viktigt med utbyggd laddinfrastruktur för både batteriladdning och vätgastankning. Volvo ser i första hand att batterielektrisk drift används för lokal och regional distribution samt för sopbilar. Med ökande körsträcka och lastvikt anses bränsleceller bli mer intressant och relevant. För de fordon som har längst körsträcka samt de mest energikrävande transporterna ser Volvo förbränningsmotorer som ett kvarvarande alternativ.

Bränsleceller bedöms användas i större utsträckning först 2025–2030. Detta främst för de mer krävande tyngre transporterna och fjärrtransporter. Där kommer det finnas bränsleceller men även en del batterielektriska lastbilar, t.ex. för linjefrakt med fasta turer. Volvo räknar med att en viss del förbränningsmotordrivna fordon kommer att vara kvar men att dessa drivs med koldioxidneutrala bränslen.

Volvo har en gemensam strategi för utveckling av batterielektriska och bränslecellsdrivna fordon i och med att de planerar för en sorts elektrisk drivlina som sen utrustas med antingen batterier eller bränsleceller. I ett gemensamt initiativ har Daimler Trucks och Volvo Group kommit överens om att saminvestera i bränsleceller. De har i mars 2021 startat samriskföretaget cellcentric för att utveckla och producera bränsleceller i stor skala (Volvo, 2021c). På så sätt kan de bl.a. visa på bränsleceller som ett attraktivt alternativ för tunga och långväga transporter (Berger, 2020). cellcentric siktar på att bli en ledande global tillverkare av bränslecellssystem och serieproduktionen är planerad att påbörjas 2025 (Volvo, 2021c).

Daimler Truck AG och Volvokoncernen har som mål att kunna påbörja kundtester av bränslecells-lastbilar om cirka tre år (Volvo, 2021c). Serietillverkning av bränslecellsdrivna lastbilar avser de starta mellan 2025–2030. En förutsättning är att det i Europa byggas cirka 300 vätgasstationer med hög prestanda för tunga fordon senast år 2025 och att det senast år 2030 ska finnas 1 000 vätgasstationer på plats.

6.2.6 Nikola

Nikola har hittills presenterat tre varianter av bränslecellsdragbilar. Nikola One och Two är båda amerikanska klass 8-fordon⁴ (NyTeknik, 2019) med uppskattad räckvidd 500–750 miles, dvs. 800–1 200 km (tabell 4.3) och som tar mindre än 20 minuter att tanka (Nikola, 2020). Nikola Tre är utvecklad för den europeiska marknaden med räckvidd på 250–300 miles, dvs. 400–480 km. I första hand, under 2021, kommer Nikola börja tillverka Nikola Tre med batterielektrisk drift, för att 2023 börja leverera bränslecellsversionen (Reuters, 2019). Nikola har även presenterat design för egna tankstationer samt systemupplägg för vätgasgenerering och -lagring on-site med omvandling till vätgas genom elektrolys med el från förnybar energiframställning och tankstation för vätgas med tryck på 700 bar (Nikola, 2020).

6.2.7 Scania/Asko/Toyota

Scania och ASKO, Norges största dagligvarugrossist, driver sedan 2019 en demonstration med fyra bränslecellsdrivna lastbilar som utför distribution för Asko i Norge (Vätgas Sverige, 2020a). Den aktuella fordonstypen har en beräknad räckvidd är 400–500 km (tabell 4.3). Bruttovikten ligger på 27 ton. Hjulkonfiguration är 6×2*4. Drivlinan består av en 290 kW elmaskin/210 kW kontinuerlig uteffekt, 2-stegs växling och 2200 Nm maximalt vridmoment. Den installerade batterikapaciteten är 56 kWh litium-jon. Ombordladdare finns för 22 kW AC med CCS (Combined Charging System) laddkontakt. Bränslecellen är 90 kW PEFC från en tredjepartsleverantör. Fordonen har möjlighet att lagra 33 kg vätgas med 350 bar tryck.

Scania har med start 2018, tillsammans med PowerCell, Joab och KTH, även utvecklat en bränslecellsdriven sopbil på 27 ton för Renova i Göteborg (Wennman, 2020). Renova och PowerCell har därefter fått beviljat medel från EU för utveckling av ytterligare en sopbil, med Göteborgs stad som beställare.

I november 2020 meddelade Scania att man kommer att bygga en batterifabrik i Södertälje som beräknas vara i full drift 2023 (Scania, 2020a). Scania har även inlett ett samarbete med Toyotas dotterbolag Hino kring både batteri- och bränslecellsdrivna lastbilar (SvD, 2021).

Scania har planer på att inom några år introducera eldrivna lastbilar med totalvikt på 40 ton för långdistansuppdrag (Scania, 2021b). Lastbilarna beräknas kunna köra i 4,5 timmar och därefter snabbbladdas under förarens obligatoriska 45-minutersvila. Någon fortsatt satsning på lastbilar med bränsleceller verkar dock inte vara att vänta. I januari 2021 meddelade Scania (2021b) att de framöver kommer begränsa sina satsningar på tillämpningar med vätgas för tunga lastbilar.

6.2.8 Toyota

Toyota utvecklar en 25-tons lastbil med bränslecellsdrift för den japanska marknaden (Toyota, 2020a). Det bränslecellssystem som finns i Toyotas nya Mirai-personbilar har även vidareutvecklats för användning i tunga lastbilar (Toyota, 2020b). Testkörningar av prototyper skall genomföras i och runt hamnarna i Los Angeles och Long Beach med målet att validera prestanda, effektivitet

⁴ Klass 8 är den tyngsta fordonsklassningen i USA och innehåller fordon med bruttovikt/gross vehicle weight rating (GVWR) över 33 001 pounds, dvs över 14,969 ton.

och körbarhet. I denna konfiguration, som bygger på den andra generationen bränsleceller, ges fordonen (dragbilarna) en räckvidd på mer än 4 830 kilometer med full last på 36,3 ton.

Toyota Motor North America kommer att tillsammans med lastbilstillverkaren Kenworth/Paccar demonstrera 10 bränslecellsdrivna dragbilar, för transporter inom, samt till och från, hamnen i Los Angeles (se Figur 6.6). I detta fordon finns två bränslecellsstackar från Mirai samt ett batteri med en kapacitet på 12 kWh. Den totala räckvidden är 320 km (Koble *et al*, 2017).



Figur 6.6. Vätgasdriven dragbil i Los Angeles (Toyota, 2018).

Toyota har även inlett ett projekt tillsammans med 7-eleven avseende distributionslastbilar och vätgaspåfyllningsstationer i Japan (Manthey, 2018) och deltar i diskussioner om att bygga en vätgasbaserad i området Fukushima (Toyota, 2021).

7 FALLSTUDIER

För att undersöka om och hur bränsleceller och vätgas kan bidra till energieffektiva och mindre miljö- och klimatbelastande transporter av massgods i städer och tätorter genomfördes sex fallstudier. Jämförelse av transportupplägg med el- och bränslecellsdrift med drift med förbränningsmotorer. Underlag för fallstudierna har dels inhämtas från tidigare genomförda fallstudier om massgods, dels har det kompletterats med nya data.

7.1 ANSATSER

I fallstudierna tillämpades en ansats där vätgasdrivna fordonskoncept utrustade med bränsleceller jämfördes med dieselfordon drivna med biodiesel respektive fossil diesel och andra lösningar baserade på elektrifierade drivsystem. De senare utgjordes av batterielektriska plug-in fordon och batterielektriska fordon, som antingen antogs ha möjlighet att tillföras energi från elvägssystem under färd, eller helt sakna den möjligheten. Värden för vikter och kostnader har tagits fram inom förstudien och finns i Tabell 7.1. De metoder för analyser som satts upp i förstudien har behållits, varför även ansatta värden behövs.

Tabell 7.1. Värden för vikt och kostnader i ansatsen för fallstudierna.

Batteridrift och elväg	
Elmotor och komponenter	300 kg (Treiber och Bark, 2019)
Litium-jon batterivikt	155 Wh/kg (Treiber och Bark, 2019)
Strömvtagare	250 kg (Treiber och Bark, 2019)
Batterivikt	beräknas för varje fall
Bränsleceller	
Elmotor och komponenter	300 kg (Treiber och Bark, 2019)
Bränslecellspaket (200 kW)	300 kg (Treiber och Bark, 2019)
Batterier (50 kWh)	320 kg (Treiber och Bark, 2019)
Vätgastank (10 kg vätgas)	180 kg (Treiber och Bark, 2019)
<i>Total vikt bränslecellsutrustning</i>	<i>1100 kg</i>
Vätgasanläggning	
Produktion av vätgas	450 kg/dag (Treiber och Bark, 2019)
Kostnad anlägga en påfyllningsstation om 450 kg/dag inklusive elektrolysör	25 000 000 kr (Treiber, 2018)
Tillägg pga kostnad för etablering och drift enligt ovan	60 öre/kWh (Treiber och Bark, 2019)

7.2 INGÅNGSDATA

Nedanstående ingångsdata har använts i samband med beräkningar och analyser av de aktuella transportuppläggen, se Tabell 7.2. Värdena baseras på uppgifter i förstudien, kompletterat med uppdaterade värden för växthusgasutsläpp.

Tabell 7.2. Verkningsgrader, samt energiparametrar som använts i fallstudierna.

Verkningsgrader	
Verkningsgrad för dieselmotor	36 % (Treiber, 2016)
Verkningsgrad för elektrolysör	70 % (Jobson, 2017)
Verkningsgrad för bränsleceller (avser bränslecellssystem som innefattar stack)	52 % (H2 Energy, 2017)
Verkningsgrad vid batterier	80 % (Jobson, 2017)
Verkningsgrad för elvägssystem (elväg med kontaktledning)	77 % (Sandviken Pure Power, 2019)

Växthusgasutsläpp (samtliga värden från Energimyndigheten, 2020)	
Fossil diesel MK 1 (g CO ₂ e/l)	2 690
HVO100 2019 (g CO ₂ e/l)	454
Svensk elmix (g CO ₂ e/kWh)	46,8

Energi och densitet	
Energiinnehåll fossil diesel (kWh/l)	9,80 (SPBI, 2019)
Energiinnehåll HVO (kWh/l)	9,44 (Energimyndigheten, 2017)
Energiinnehåll i 1 Nm ³ vätgas (kWh)	3,0 (HyWeb, 2019)
Densitet för vätgas (normalt tryck och temperatur) (g/m ³)	90 (Air Liquide, 2019)
Energiinnehåll i vätgas (kWh/kg)	33,33 (HyWeb, 2019)
Bränsleförbrukning diesel	Enligt aktörer i fallen

7.3 FÖRUTSÄTTNINGAR FALLSTUDIER

Fallstudierna baseras på främst på transportuppdrag från ett antal föregående fallstudier. Dessa har även kompletterats med ett nytt fall: massor från bygge av avloppstunnel med påslag i Åkeshov. Samtliga fall är baserade på verkliga uppdrag som utförts eller utförs i Stockholmsområdet. Kortare beskrivningar av fallen finns i kommande stycken. Grundläggande uppgifter om fallen finns presenterade i Tabell 7.3. För ytterligare detaljer hänvisas till referensrapporterna listade i tabellen.

Tabell 7.3. Beskrivning av förutsättningar i fallstudierna.

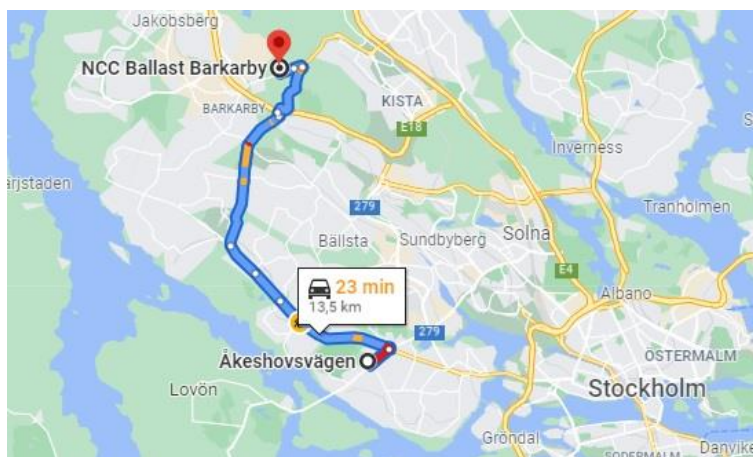
Typ av massgods	Transportsträcka	Avstånd	Mängd	Fordon och lastbärare	Last (fordonsvikt utan last)	Referens
Massor	Åkeshovsvägen - Barkarbykrossen	14 km	300 ton/dag	3-axlad boggibil	12 ton (13 ton)	Baudin, 2020
Berg- och schaktmassor	Slussen – Högbytorp	48 km	ca 500 000 m ³	3-axlad boggibil med tippflak	10 ton (13 ton)	Treiber et al., 2017 och Treiber et al., 2019
Betong	Farsta – Regeringsgatan	12,5 km	12 ton	3-axlad roterbil	12 ton (11 ton)	Treiber et al., 2017 och Treiber et al., 2019
Asfalt	Arlanda – Klarastrandsleden	89 km t.o.r	37 ton	citylink (3-axlad dragbil med två 2-axlade linkar)	37 ton (27 ton)	Treiber et al., 2017 och Treiber et al., 2019
Bergmassor	Kungsträdgården – Riksten	36 km	ca 5 000 ton per vecka	3-axlad boggibil	9,5 ton (14 ton)	Treiber et al., 2016
Jord och schakt-massor	Riddargatan – Roslagstippen	2+40 km	ca 10 000 ton	3-axlig m växelflak +BK1 (3 växelflak)	7 (13) ton 33 (20) ton	Krantz et al., 2014

7.3.1 Beskrivning av kompletterande fallstudie: Massor från avloppstunnel, påslag Åkeshov

Det första fallet bygger på transporter av massor från en av uppgångarna, Åkeshov, vid bygget av en ny stor avloppstunnel i Stockholm. Avloppstunneln byggs mellan nuvarande Bromma reningsverk och reningsanläggningen i Sickla (Stockholm Vatten och avfall, 2020). Bygget av den 14 km långa tunneln planeras pågå under perioden 2020–2026. Tunneln startar 27 meter under havsnivån, i Bromma/Västerort, och går ner till ca 90 meters djup när den passerar Mälaren. Tunneln byggs från sex platser samtidigt vilket innebär tio tunnelfronter. Framdriften, dvs. den hastighet med vilken tunneln byggs, är ungefär 20 meter/vecka.

Beräkningar av mängden berg som ska transporteras från varje påslag var vid tiden för tillståndsansökan mellan 100 000–400 000 ton berg, totalt en miljon ton berg (Stockholm Vatten och Avfall, 2016). Från påslaget vid Åkeshov beräknades vid samma tidpunkt till 184 000 ton berg behöva transporteras, fördelat på 27 000 fordonsrörelser vilket innebär att under de 3,5 år som tunneldrifningen uppskattas ta kommer det dagliga antalet rörelser var i genomsnitt 33 st/dag.

Fallstudien baseras på de transporter från påslaget i Åkeshov till Barkarbykrossen, se figur 7.1, som Märsta Förenade Åkeriföretag AB utför. Dagligen körs 25 turer med boggibil som lastar 12 ton per bil, vilket innebär totalt 300 ton material per dag.



Figur 7.1. Karta över transportrutt från Åkeshov till Barkarbykrossen (Google maps, 2021).

7.3.2 Fallbeskrivning berg- och schaktmassor från Slussen

Schaktmassor (förorenade samt renade) och krossmaterial transporterades från en byggarbetsplats vid Slussen till en avfallsanläggning Högbyltorp i Bro, ett avstånd på ca 40 km. Transporter utfördes, främst med 3-axlade boggibilar.

7.3.3 Fallbeskrivning betong till Regeringsgatan

Betong transporterades med roterbil (figur 7.2) från Skanskas betongfabrik i Farsta till Regeringsgatan i centrala Stockholm, en resa på 25 km tur och retur. Vid BK2 har en 3-axlad roterbil en lastkapacitet på ca 5 m³ betong. Vid BK1 har en 3-axlig bil en kapacitet på ca 6 m³ betong medan en 4-axlig bil har en kapacitet på ca 7,5 m³ betong.

För ytterligare detaljer i hänvisas till Treiber et al. (2017) och Treiber et al. (2019).



Figur 7.2 En 3-axlad roterbil för betongtransport (Foto: TFK).

7.3.4 Fallbeskrivning asfalt till Klarastrandsleden

Asfalt transporterades från ett asfaltsverk som är lokaliserat vid Arlanda till Klarastrandsleden i centrala Stockholm. För transport användes ett ekipage, benämnt Citylink som visas i figur 7.3, bestående av en kort 3-axlad dragbil och två identiska s.k. linkar med skjutbar boggi. Vid färd inom områden där det råder BK2 och maximalt 12 m fordonslängd kan den bakre linken kopplas av och boggin dras in för att klara längdbegränsningen och samtidigt tillåts ekipaget, bestående av en dragbil och en link, ha en bruttovikt på 30 ton. Vid BK1 tillåts dragbilen och en link med helt utskjuten boggi ha en totalvikt på 45 ton.

Avståndet mellan första och sista axeln för dragbilen och en link med boggin indragen är 10 m och det maximala avståndet mellan första och sista axeln för dragbil och en link (boggin helt utskjuten) är 13 m. Vikten för dragbil och en link utan lastbärare är ca 15 ton.

För ytterligare detaljer hänvisas till Treiber et al. (2017) och Treiber et al. (2019).



Figur 7.3 Ett asfaltsekipage med två linkar, benämns Citylink (Foto: TFK).

7.3.5 Fallbeskrivning bergmassor från Kungsträdgården

Bergmassor från tunnelbaneutbyggnaden vid Kungsträdgården har antagits transporteras till en materialanläggning i Riksten. En sträcka på 36 km. För transport har en 3-axlad lastbil 12 m anpassad för körning på BK1 respektive BK2-klassade vägar antagits. För ytterligare detaljer i hänvisas till Treiber et al. (2016).

7.3.6 Fallbeskrivning jord- och schaktmassor från Riddargatan

Transport av ca 10 000 ton jord och schaktmassor från Stockholms innerstad (Riddargatan 5) till en deponi nära Norrtälje (Roslagstippen), ca 40 km enkel väg. De fordon som används 3-axliga boggibil med växelflak för de inledande BK2-klassade vägar, samt 3-axlig boggibil med släp som totalt tar tre växelflak på BK1-vägar. För ytterligare detaljer i hänvisas Krantz et al. (2014).



Figur 7.4 Lastning samt backning av fordon vid arbetsplats vid Riddaregatan (Foto: TFK).

7.4 FÖRÄNDRADE FORDONSVIKTER MED ALTERNATIVA DRIVSYSTEM

Utifrån egenvikter för befintliga dieseldrivna fordon beräknades de tillkommande vikterna för fordon med elektrifierade drivlinor. Problemet är att detta ofta ökar fordonsvikten vilket kan minska lastvikten jämfört med motsvarande dieselfordon. Förändrade fordonsvikter beräknades för fordon med batterielektrisk drivlina, elektrisk drivlina med bränsleceller och batterielektrisk drivlina med möjlighet att tillföra energi under färd genom strömvtagare. Inga hybridfordon ingick i studien.

Efter en förändring i bruttoviktsreglerna får ett motordrivet fordon med två eller tre axlar, dock inte 2-axlad buss, som drivs helt eller delvis med ett alternativt bränsle ha en bruttovikt som överstiger de värden som gäller avseende bruttovikt för enskilt fordon med den extra vikt i tillägg som den tillkommande tekniken för det alternativa bränslet medför, dock högst 1 ton.

7.4.1 Batterielektrisk drivlina

För lastbilar med batterielektrisk drivlina har det i fallstudierna antagits att elmotor och tillkommande komponenter, främst i form av elektrisk utrustning, medför en viktökning på ca 300 kg⁵ jämfört med motsvarande dieseldrivna lastbil, exklusive batterivikten (Treiber et al, 2018b). Antaganden utgår från viktuppgifter om heleelektriska Mercedes-Benz Urban eTruck (Mercedes-Benz, 2016).

Energidensitet i beräkningsansatsen ansätts till 155 Wh/kg för batterierna i de aktuella fordonskoncepten (Treiber och Bark, 2019). Nedan redovisas vilka vikter de olika elektriska drivlinorna medför i jämförelse med dieseldrift. För batterielektriska plug-in fordon har tre alternativ, där 40 %, 60 % respektive 80 % av batteriets kapacitet utnyttjas i en drift- och laddningscykel utgjort underlag för beräkningar.

⁵ För heleelektriska Mercedes-Benz Urban eTruck uppgår vikten för batterier, elmotorer och andra komponenter till totalt 1,7 ton mer än motsvarande komponenter för en dieseldriven lastbil (Mercedes-Benz, 2016). Utifrån en uppskattad batterivikt på 1,4 ton för den eldrivna lastbilen kan elmotorer och andra komponenter antas väga 300 kg mer än komponenterna i en dieseldriven lastbil. Utifrån detta kan det antas att lastvikten för en eldriven lastbil kommer att minska med 300 kg exklusive batterivikten.

Utifrån de energibehov som framkommit vid bearbetningen av underlagen från de tidigare genomförda fallstudierna har de totala behoven av batterikapacitet för framdrivning av fordonen sammanställts för de aktuella transportuppläggen, vid olika utnyttjandegrad av batterikapaciteten (se Tabell 7.4).

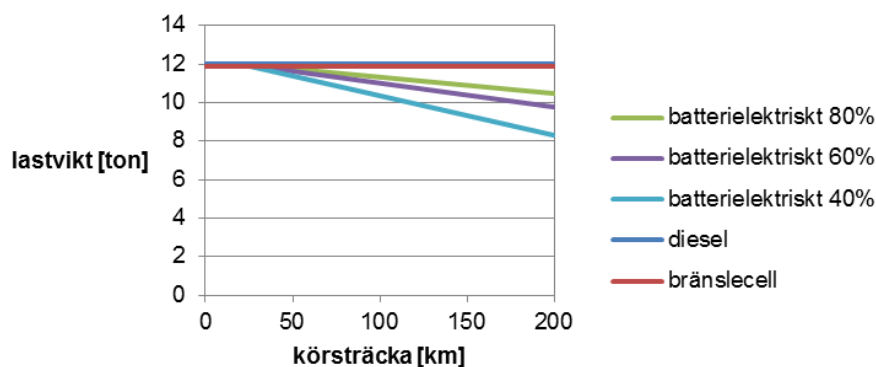
Batterivikterna påverkar även fordonens lastförmåga (se Tabell 7.4). För de olika fallstudierna har en batterikapacitet antagits som medger att fordonet klarar tre, sex eller tio vändor (vilket kan motsvara ett förararbetspass beroende på vilken körsträcka de olika fallen har) på en laddning samt att batterikapaciteten utnyttjas antingen till 40, 60 eller 80 %.

Tabell 7.4. Batterivikt och lastförmåga för fordon för de olika transportuppläggen beroende på hur stor del av batterikapaciteten som utnyttjas samt hur ofta fordonet antas laddas.

Transportupplägg, material (gods)		Batterivikt (kg)			Diesel- drift	Lastkapacitet (ton)		
		utnyttjad batteri- kapacitet				Eldrift utnyttjad batterikapacitet		
		80 %	60 %	40 %		80 %	60 %	40 %
Åkeshov								
Massor	Enkel väg på en laddning [14 km]	154	206	309	12,0	12,0*	12,0*	12,0*
	Fram och åter på en laddning [28 km]	309	412	617		12,0*	12,0*	12,0*
	Tre vändor på en laddning [84 km]	926	1 235	1 852		11,8*	11,5*	10,8*
	Sex vändor på en laddning [168 km]	1 852	2 470	3 704		10,8*	10,2*	9,0*
Slussen								
Berg- och schaktmassor	Enkel väg på en laddning [48 km]	527	703	1 055	10,0	10,0*	10,0*	9,6*
	Fram och åter på en laddning [96 km]	973	1 297	1 946		9,7*	9,4*	8,8*
	Tre vändor på en laddning [288 km]	2 919	3 892	5 838		7,8*	6,8*	4,9*
Regeringsgatan								
Betong	Enkel väg på en laddning [12,5 km]	137	183	275	12,0	12,0*	12,0*	12,0*
	Fram och åter på en laddning [25 km]	249	332	498		12,0*	12,0*	12,0*
	Tre vändor på en laddning [75 km]	747	996	1 494		12,0*	11,7*	11,2*
	Sex vändor på en laddning [150 km]	1 494	1 992	2 987		11,2*	10,7*	9,7*
Klarastrandsleden								
Asfalt	Enkel väg på en laddning [47 km]	843	1 124	1 686	37,0	35,9	35,6	35,0
	Fram och åter på en laddning [95 km]	1 517	2 023	3 034		35,2	35,7	33,7
	Tre vändor på en laddning [284 km]	4 552	6 069	9 103		32,1	30,6	27,6
Kungsträdgården								
Bergmassor BK2	Enkel väg på en laddning [36 km]	421	562	842	9,5	9,5*	9,5*	9,4*
	Fram och åter på en laddning [72 km]	741	988	1 483		9,5*	9,2*	8,7*
	Tre vändor på en laddning [216 km]	2 224	2 965	4 448		8,0*	7,2*	5,8*
BK1	Enkel väg på en laddning [36 km]	448	597	896	12,0	12,0*	12,0*	11,8*
	Fram och åter på en laddning [72 km]	768	1 024	1 536		11,9*	11,7*	11,2*
	Tre vändor på en laddning [216 km]	2 305	3 073	4 609		10,4*	9,6*	8,1*
Riddargatan								
Jord- och schaktmassor BK2 – 3-axl	Enkel väg på en laddning [2 km]	24	32	48	7,0	7,0*	7,0*	7,0*
	Fram och åter på en laddning [4 km]	46	61	91		7,0*	7,0*	7,0*
	Tre vändor på en laddning [12 km]	137	182	273		7,0*	7,0*	7,0*
	Tio vändor på en laddning [40 km]	455	607	910		7,0*	7,0*	6,8*
BK1 – 3-axl	Enkel väg på en laddning [2 km]	26	35	53	11,0	11,0*	11,0*	11,0*
	Fram och åter på en laddning [4 km]	48	64	95		11,0*	11,0*	11,0*
	Tre vändor på en laddning [12 km]	143	191	286		11,0*	11,0*	11,0*
	Tio vändor på en laddning [40 km]	477	635	953		11,0*	11,0*	10,7*
BK2 – 3- axl+släp	Enkel väg på en laddning [40 km]	683	910	1366	21,0	20,0	19,8	19,3
	Fram och åter på en laddning [80 km]	1 195	1 593	2 390		19,5	19,1	18,3
	Tre vändor på en laddning [240 km]	3 585	4 780	7 170		17,1	15,9	13,5
BK1 – 3- axl+släp	Enkel väg på en laddning [40 km]	782	1 043	1 565	33,0	31,9	31,7	31,1
	Fram och åter på en laddning [80 km]	1 295	1 726	2 589		31,4	31,0	30,1
	Tre vändor på en laddning [240 km]	3 884	5 178	7 767		28,8	27,5	24,9

* Upp till 1 tons extra bruttovikt som medges för singelfordon som drivs med alternativa drivmedel har lagts till och därmed ökat lastförmågan i motsvarande grad.

Sammanställningen visar att hälften de undersökta av transportuppdragen kan genomföra en tur- och returkörning på en laddning av fordonet, utan att batteriets vikt begränsar lastvikten. För körsträckor mellan 100–250 km minskade lastkapaciteten med 5–20 % jämfört med vid dieseldrift, när batterierna dimensionerats för 80 % av dess kapacitet. För masstransporterna från Åkeshov är det möjligt att genomföra en tur- och returkörning (28 km) med batteri som inte påverkar lastkapaciteten. Vid tre tur- och returkörningar ca 85 km, minskar dock lastkapacitet med 2–10 %, och vid sex körningar, på totalt ca 170 km, 10–25 %, se figur 7.5. Detta gäller under förutsättning att batterikapaciteten utnyttjas till 80 eller 40 %.



Figur 7.5 Förändring av lastvikt i fallet med masstransporter från Åkeshov.

Vid transporter av berg- och schaktmassor från Slussen, till Högbyp, och Kungsträdgården under antagande att BK1 kan tillämpas, kan det aktuella fordonet endast köra enkel väg på en laddning om batterikapaciteten har dimensionerats så att batterivikten inte inkräktar på lastkapaciteten samt att minst 60 % av batteriets kapacitet utnyttjas. Om en batterikapacitet istället anpassas efter att fordonet skall klara av en hel dags transporter, dvs. tre vändor, samt att 80 % av batterikapaciteten utnyttjas, kommer fordonet endast att kunna lasta 78 % respektive 83 % av den lastkapacitet en dieseldriven lastbil har vid den aktuella bärighetsklassen.

För de tyngsta transporterna, som asfaltstransporter till Klarastrandsleden, i det studerade fallet utfört med en dragbil med två direkt sammankopplade påhängsvagnar, s.k. linkar, samt för jord- och schaktmasstransporter, utförd med lastbil med släp från Riddargatan till Roslagstippen, krävs det i samtliga fall batterivikter som kommer att begränsa lastvikten. De korta transporterna ut från Riddargatan med treaxliga lastbilar kan köras utan förändrad lastvikt i över tio tur- och returvändor, ca 40 km, för både BK2 och BK1 om över 60 % av batterikapaciteten används.

För de längre bergmassatransporterna från Kungsträdgården, ca 35 km enkel väg, begränsades lastvikten vid en tur- och returvända med BK2 och vid 60 % användning av batterikapacitet samt redan vid en vända vid BK1 vid 80 % batterikapacitet (eller en enkelväg vid 40 % batterikapacitet).

Lastkapaciteten för betongtransporterna var oförändrad vid tre vändor (75 km) men vid sex körningar (150 km) minskade den med 7–20 %. Vid transporter av betong krävs kringutrustning i form en betongrotor vilken kräver energi, som när fordonet är i rörelse påverkar dess bränsleförbrukning och när det är stillastående, och exempelvis väntar på lossning, kräver energi. Detta kan kräva en ökad batterikapacitet, vars omfattning dock inte har analyserats i denna studie. Samtidigt innebär det ofta stora fördelar avseende bulleraspekter samt ur energi- samt utsläppssynpunkt under förutsättning att denna typ av utrustning kan drivas elektriskt när fordonen är stillastående.

7.4.2 Elektrisk drivlina med bränsleceller

Såsom för batterielektriska drivlinor (avsnitt 0) antas elmotor och olika tillkommande komponenter, främst i form av elektrisk utrustning, medföra att fordonsvikten ökar. Jämfört med motsvarande dieseldrivna lastbil uppgår viktökningen till ungefär 300 kg (Treiber et al, 2018b). Till detta kommer vikten för bränsleceller, vätgastankar och batterier.

En sammanställning över prototyp-, demonstrations- samt kommersiella drag- och lastbilar med bränsleceller visar att effekten för bränsleceller varierar mellan 80 och 226 kW och batterikapaciteten varierar från 12 upp till 750 kWh, se avsnitt 6.2. Powercells bränslecell MS 100 har en effekt på 100 kW väger 150 kg.

För att kunna framföra ett fordon med hög vikt i efterfrågad hastighet på motorväg väljs ofta bränsleceller med hög effekt, såsom 200 kW. En ansats utifrån detta effektkrav medför en ungefärlig vikt på 300 kg för ett bränslecellspaket.

För litium-jon-batterier har en densitet på 155 Wh/kg ansatts. I en tillämpning med bränsleceller är det aktuellt att ansätta en total batterieffekt på 50 kWh vilket medför en batterivikt på 320 kg.

Utifrån den pågående utvecklingen antas att vikten på vätgasen (vid 350 bars tryck) står för 5,5 % av vätgastankarna vikt för en fordonslösning med jämförelseår 2019, enligt Treiber och Bark (2019). För 10 kg vätgas kommer vätgastankarna således att väga 180 kg.

Viktökningen för elmotor/-komponenter tillsammans med vikten på bränsleceller, batterier och vätgastankar och andra komponenter innebär att en bränslecellslastbil uppskattas väga 1 100 kg (dvs. 300 + 300 + 320 + 180 kg) mer än en diesellastbil. För enskilda fordon är det tillåtet med en bruttovikt som överstiger de värden som gäller avseende bruttovikt för enskilt fordon med den extra vikt som tekniken för det alternativa bränslet kräver, dock högst 1 ton. Under dessa förutsättningar påverkas inte lastvikten för enskilda fordon med två eller tre axlar, av den tillkommande extra vikten.

7.4.3 Batterielektrisk drivlina med möjlighet att tillföra energi under färd genom strömvtagare

Om fordonen kan strömförsörjas under färd kan batterikapaciteten och därmed batterivikten minskas. Det har tagits fram ett jämförelsealternativ som bygger på ett batterielektriskt fordon där batteriernas kapacitet minskats genom att fordonet under färd i stället till viss del kan elförsörjas externt, genom ett elvägssystem.

Antaganden om vikter för denna slags teknik baseras på tidigare studier som har visat att strömvtagare kan väga 100–400 kg beroende på utförande (Treiber et al, 2016). Strömvtagaren har antagits väga 250 kg. Elmotor samt komponenter antas väga ca 300 kg mer än för motsvarande dieseldrivna lastbil. I detta fall uppgår den totala extra vikten för denna typ av lastbil till 550 kg, exklusive batterier.

Merkostnaden för att kunna elförsörja ett fordon med en kontaktledning vid en elväg har angivits till 500 000–800 000 SEK (Andersson et al, 2018). Det är dock i sammanhanget oklart om denna merkostnad refererar till en konventionell dieseldriven lastbil med motsvarande kapacitet, eller avser merkostnader för att komplettera ett parallellhybridfordon av den typ som används vid den pågående testdriften i Sandviken. Denna typ av fordon är i grundutförandet betydligt dyrare än ett

konventionellt dieseldrivet fordon. Kostnaden för en aktiv, eller intelligent strömavtagare av den typ som används vid elvägssystem har tidigare beräknats till 120 000–240 000 SEK (Johansson *et al.*, 2012). Med enklare strömavtagare för bussar, s.k. trolleystänger, kan kostnaden begränsas till 30 000 SEK.

Ett förenklat antagande är att fordonen erhåller elenergi till samma pris oavsett om det sker vid laddning, genom ett allmänt elnät eller genom ett elvägnäts kontaktledningssystem. Ett antagande är även att fordonen till ungefär lika stora delar av körsträckan drivs med el från batterier respektive elförsörjs externt från kontaktledning. Batterierna antas vidare kunna laddas under den del av tiden fordonen erhåller extern elförsörjning. Denna intermittenta laddning medför att det blir svårt att effektivt utnyttja batteriernas kapacitet. En ansats är därför att batteriernas kapacitet endast kan utnyttjas till 40 %. Batterierna dimensioneras mot denna bakgrund efter ett energibehov som motsvarar en körsträcka som uppgår till en halv enkel väg i respektive kartlagt fall. I Tabell 7.5 presenteras batterivikter och påföljande lastkapaciteter vid batterielektrisk drift med möjlighet att tillföra energi under färd genom strömavtagare.

Tabell 7.5. Batterivikter och påföljande lastkapaciteter för fallstudierna vid batterielektrisk drift med möjlighet att tillföra energi under färd genom strömavtagare.

	Batterivikt (kg)	Lastkapacitet (ton)
Åkeshov – massor	150	11,5 ¹
Slussen – schaktmassor	530	9,9 ¹
Regeringsgatan – betong	140	12,0 ²
Klarastrandsleden – asfalt	840	35,6
Kungsträdgården – bergmassor	450	11,6 ¹
Riddargatan – jord- och schaktmassor:		
BK2, 3-axl	250	7,0 ³
BK1, 3-axl	250	11,0 ³
BK2, 3-axl+släp	680	19,8
BK1, 3-axl+släp	780	31,7

¹ Ett tons extra bruttovikt, vilket maximalt medges för singelfordon som drivs med alternativa drivmedel, har lagts till och därmed ökat lastförmågan i motsvarande grad.

² 700 kg extra bruttovikt har lagts till och därmed ökat lastförmågan i motsvarande grad.

³ 600 kg extra bruttovikt har lagts till och därmed ökat lastförmågan i motsvarande grad.

Den första permanenta elvägen i Sverige ska byggas på E20 mellan Örebro och Hallsberg (Trafikverket, 2021). Kostnaden för att bygga upp ett elvägsnät med matning av likström, via ett tvåpoligt kontaktledningssystem, har beräknats till 9–14 MSEK/km (Andersson *et al.*, 2018).

7.5 VÄXTHUSGASPÅVERKAN OCH EKONOMISKA EFFEKTER VID EN ÖVERGÅNG TILL VÄTGASDRIFT

Jämförelse av energiförbrukning, växthusgasutsläpp samt drivmedelskostnader mellan olika alternativa drivmedel och drivsystem vid transporter av massgods i städer och tätorter har sammanställts, se Tabell 7.6-Tabell 7.11. För beräkningar har antaganden och ingångsdata från avsnitt 8.1 och 8.2 använts. Energiförbrukning baseras på angiven bränsleförbrukning för dieseldrivna fordon som använts i de olika fallen. Växthusgasutsläppen baseras på emissionsparametrar för genomsnittliga utsläpp från drivmedel i Sverige under 2019 i ett livscykelperspektiv (Energimyndigheten

2020). Utsläpp från tillverkning av fordon, bränsleceller, batterier eller andra komponenter har inte ingått i studien.

I sammanställningarna har den transport-/fordonslöning som ger det lägsta värdet på någon av parametrarna energiförbrukning, växthusgasutsläpp respektive energikostnad, per transporterat ton, markerats med kursiv fet text. I de fall där fordonen har egna energilager har dessa dimensionerats så att de medger minst tre transportvändor och returkörningar utan energipåfyllnad, vilket antas vara vad en förare hinner med under ett normalt arbetspass. Vidare redovisas känslighetsanalyser där antingen diesel- eller elpriserna höjts med 10 %.

7.5.1 Åkeshovsvägen – massor

I detta fall stod alternativet med batterielektriska plug-infordon för den lägsta förbrukning av energi, med 46 % av dieselfordonens förbrukning, samt de lägsta energikostnaderna, med 13 % av kostnaden för dieselfordon, se Tabell 7.6. Näst lägst var energiförbrukningen och energikostnaderna för batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg. Detta gäller även sedan känslighetsanalyser utförts. För utsläpp av växthusgaser hade såväl alternativet med bränsleceller med vätgas, batterielektriska plug-in fordon och batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg lägst värden.

Biodieselbränsle ger något högre växthusgasutsläpp än eldrift ur ett livscykelperspektiv, detta enligt Energimyndigheten (2020) för bränsle och el, som vid batterielektrisk drift och bränslecellsdrift. Samtidigt ger fossil diesel närapå tio gånger högre koldioxidutsläpp än batterielektrisk drift. En minskning av den maximala lastvikten med 100, 200 respektive 500 kg är att räkna med för fordon med bränsleceller, batterier respektive utrustning för elvägsdrift.

Tabell 7.6. Jämförelse av energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt energikostnad per ton för mass-transporter mellan Åkeshovsvägen och Barkarbykrossen, 14 km.

		Lastvikt [ton]	Energiför- brukning per enhet last [kWh/ton]	Växthusgas- utsläpp per enhet last [kg CO ₂ e/ton]	Energi-kostnad per enhet last [SEK/ton]		
					Utgångs- läge	Känslighetsanalys	
						Dieselpris ökas med 10 %	Elpris ökas med 10 %
Dieseldrivna fordon med fossil diesel		12,0	7,1	1,9	10,45	11,49	10,45
Dieselfordon med HVO		12,0	7,1	0,3	9,69	10,66	9,69
Bränsleceller med vätgas		11,9	4,9 ¹	0,2²	5,12 ³	5,12 ³	5,41 ³
Batterielektriska plug-in fordon (andel av batterikapaciteten som nyttjas)	80 %	11,8	3,3	0,2	1,41	1,41	1,56
	60 %	11,5	3,3	0,2	3,46	3,46	3,80
	40 %	10,8	3,5	0,2	1,54	1,54	1,69
Batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg		11,5	3,5	0,2	1,50 ⁴	1,50 ⁴	1,65 ⁴

¹ Avser förbrukning av vätgas i fordon, dvs. inkluderar inte energiförbrukning för vätgasproduktion

² Utsläpp vid generering av elenergi, enligt Svensk elmix, för påfyllningsanläggning med elektrolysör.

³ Kostnad för elenergi som tillförs en påfyllningsanläggning med elektrolysör.

⁴ Elnätskostnaden antas vara densamma för elväg som för eldistributionsnätet vilket innebär samma energipris för el levererat till fordon som el levererad till laddare.

7.5.2 Slussen – berg- och schaktmassor

Av sammanställningen i Tabell 7.7 framgår att de lägsta värdena avseende energiförbrukning, växthusgasutsläpp samt energikostnader erhöles för batterielektriska fordon som kan elförsörjas externt. Detta gäller även sedan känslighetsanalyser utförts. En förutsättning var i dessa fall att elpriset var detsamma oavsett om elen erhöles från kontaktledning i ett elvägssystem, eller från det allmänna elnätet via laddare.

Tabell 7.7. Jämförelse av energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt energikostnad per ton för transporter mellan Slussen och Högbytorp, 48 km – berg- och schaktmassor.

	Lastvikt [ton]	Energiförbrukning per enhet last [kWh/ton]	Växthusgasutsläpp per enhet last [kg CO ₂ e/ton]	Energi kostnad per enhet last [SEK/ton]		
				Utgångsläge	Känslighetsanalys	
					Dieselpolis ökas med 10 %	Elpris ökas med 10 %
Dieseldrivna fordon med fossil diesel	10,0	26,8	7,4	39,50	43,46	39,51
Dieselfordon med HVO	10,0	26,8	1,3	36,60	40,31	36,65
Bränsleceller med vätgas	9,9	18,6 ¹	1,3 ²	27,70 ³	27,73 ³	29,31 ³
Batterielektriska plug-in fordon (andel av batterikapaciteten som nyttjas)	80 %	7,8	15,5	6,70	6,73	7,40
	60 %	6,8	17,7	7,70	7,72	8,49
	40 %	4,9	24,6	10,70	10,71	11,78
Batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg	9,9	12,4	0,6	5,40⁴	5,39⁴	5,93⁴

¹ Avser förbrukning av vätgas i fordon, dvs. inkluderar inte energiförbrukning för vätgasproduktion.

² Utsläpp vid generering av elenergi, enligt Svensk elmix, för påfyllningsanläggning med elektrolysör.

³ Kostnad för elenergi som tillförs en påfyllningsanläggning med elektrolysör.

⁴ Elnätskostnaden antas vara densamma för elväg som för eldistributionsnätet vilket innebär samma energipris för el levererat till fordon som el levererat till laddare.

Den näst lägsta energiförbrukningen och energikostnaden erhöles för batterielektriska plug-in-fordon för vilka 60 % respektive 80 % av batterikapaciteten antas kunna utnyttjas. Om i stället endast 40 % av batterikapaciteten kan utnyttjas i ett fordon av detta slag krävs en större total batterikapacitet vilket ökar batterivikten. Av detta följer att lastvikten reduceras till knappt halva lastvikten för motsvarande dieselfordon, trots att hänsyn har tagits till att ett fordon som drivs med alternativa drivmedel tillåts ha upp till 1 ton högre bruttovikt. Jämfört med batterielektriska fordon som kan tillföras energi externt fördubblas i det fallet energikostnaden.

Användning av fordon med bränslecellsdrift medför en energibesparing på 30 % jämfört med fordon som drivs med biodiesel eller fossil diesel, mätt i den energi som tillförs fordonet. Om jämförelsen, med bränslecellsdrift, i stället avser elenergi som tillförs en påfyllningsanläggning, med elektrolysör, medan energin vid diesel-drift avser det bränsle som tillförs fordonet, blir energiförbrukningen lika för båda fallen. Detta är dock inte rättvisande eftersom energiförluster vid framställning och transport av dieselbränsle i så fall bör inkluderas (Treiber et al, 2018).

Trots att energiförbrukningen per ton last, vid fordonet, blir högre för ett batterielektriskt fordon vid 40 % utnyttjande av batterikapaciteten blir energikostnaden per ton last knappt hälften så hög som för ett bränslecellsdrivet fordon.

Biodieselbränsle ger något högre växthusgasutsläpp, i livscykelperspektiv enligt Energimyndigheten (2020) för bränsle och el, jämfört med batterielektrisk drift, vid 40 % utnyttjande av batterikapaciteten samtidigt som fossil diesel ger 6–7 gånger högre koldioxidutsläpp än batterielektrisk drift beroende på batteriutnyttjandet.

7.5.3 Regeringsgatan – betong

För båda batterielektriska alternativen, med och utan elförsörjning från kontaktledning genom ett elvägssystem, är energiförbrukningen per transporterat ton gods, ca 45 % av energiförbrukningen för dieselfordon, se Tabell 7.8. För bränslecellsdraft är energiförbrukningen 30 % lägre än vid dieselkraft, vid en jämförelse av till fordonet tillförd energi.

För detta transportupplägg som utförs på en kort sträcka och med en relativt låg bruttovikt medför inte batterivikten någon stor inverkan på de batterielektriska fordonens möjliga lastvikt. Batterielektrisk drift erbjuder även de lägsta koldioxidutsläppen, i livscykelperspektiv enligt Energimyndigheten (2020) för bränsle och el, och de lägsta energikostnaderna.

Värt att notera är att en betongtransport kan bli stående vid en leveransplats i flera timmar i väntan på lossning, och då krävs att betongroteraren är i gång hela tiden. Detta fordrar energi vilket innebär att det för batterielektriska fordon kan medföra att fler batterier krävs alternativt att fordonet utrustas så att det kan laddas under den tid det står stilla. Utifrån denna aspekt kan det därför vara av större intresse att använda vätgasdrivna fordon som kan medföra en större energimängd utan att detta nämnvärt påverkar lastkapaciteten.

Tabell 7.8. Jämförelse av energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt energikostnad per ton för transporter mellan Farsta och Regeringsgatan, 12,5 km – betong.

		Lastvikt [ton]	Energiförbrukning per enhet last [kWh/ton]	Växthusgas- utsläpp per enhet last [kg CO ₂ e/ton]	Energi kostnad per enhet last [SEK/ton]		
					Utgångs- läge	Känslighetsanalys	
						Dieselpolis ökas med 10 %	Elpris ökas med 10 %
Dieseldrivna fordon med fossil diesel		12,0	5,7	1,6	8,42	9,27	8,42
Diesel fordon med HVO		12,0	5,7	0,3	7,81	8,59	7,81
Bränsleceller med vätgas		11,9	4,0 ¹	0,3 ²	4,13 ³	4,13 ³	4,37 ³
Batterielektriska plug-in fordon (andel av batterikapaciteten som nyttjas)	80 %	12,0	2,6	0,1	1,12	1,12	1,23
	60 %	11,7	2,6	0,1	1,15	1,15	1,26
	40 %	11,2	2,8	0,1	1,20	1,20	1,32
Batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg		12,0	2,6	0,1	1,14 ⁴	1,14 ⁴	1,25 ⁴

¹ Avser förbrukning av vätgas i fordon, dvs. inkluderar inte energiförbrukning för vätgasproduktion.

² Utsläpp vid generering av elenergi, enligt Svensk elmix, för påfyllningsanläggning med elektrolysör.

³ Kostnad för elenergi som tillförs en påfyllningsanläggning med elektrolysör.

⁴ Elnätskostnaden antas vara densamma för elväg som för eldistributionsnätet vilket innebär samma energipris för el levererat till fordon som el levererad till laddare.

7.5.4 Klarastrandsleden – asfalt

Lägst energiförbrukning, växthusgasutsläpp och energikostnader stod de batterielektriska alternativen för i detta fall, se Tabell 7.9. Energiförbrukningen närapå halveras jämfört med dieselalternativet och växthusgaserna, i livscykelperspektiv enligt Energimyndigheten (2020) för bränsle och el, minskar till en tiondel. Detta transportupplägg har den högsta bruttovikten och medellångt transportavstånd. I och med detta blir energibehovet högre vilket medför att de elektriska fordonen behöver en högre batterikapacitet samt högre bränslecellseffekt. Detta innebär att lastkapaciteten för de elektriska fordonen reduceras med jämfört med de dieseldrivna fordonen.

Användning av dieseldrivna fordon medför 40 % högre energiförbrukning, mätt vid fordonet, jämfört med bränslecellsdrift. Om även generering av vätgas beaktas blir däremot energiåtgången av samma storleksordning för dieseldrift respektive bränslecellsdrift. Om däremot energiåtgången för framställning och transport av dieselbränsle beaktas blir energikostnaden för bränslecellsalternativet ungefär 10 % lägre än för dieselalternativet.

När energikostnaden för bränslecellsdrift jämfördes med kostnaden för dieseldrift framkom att denna blir nästan 50 % lägre än bränslekostnaden vid dieseldrift. Energiförbrukningarna för batterielektriska fordon är dock betydligt lägre, ner till 15 % av kostnad vid dieseldrift.

Tabell 7.9. Jämförelse av energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt energikostnad per ton för transporter mellan Arlanda och Klarastrandsleden, 45 km – asfalt.

	Lastvikt [ton]	Energiförbrukning per enhet last [kWh/ton]	Växthusgasutsläpp per enhet last [kg CO ₂ e/ton]	Energi kostnad per enhet last [SEK/ton]		
				Utgångsläge	Känslighetsanalys	
					Dieselpolis ökas med 10 %	Elpris ökas med 10 %
Dieseldrivna fordon med fossil diesel	37,0	11,3	3,1	16,65	18,31	16,65
Dieselfordon med HVO	37,0	11,3	0,5	15,44	16,99	15,44
Bränsleceller med vätgas	35,9	8,1 ¹	0,4 ²	8,34 ³	8,34 ³	8,82 ³
Batterielektriska plug-in fordon (andel av batterikapaciteten som nyttjas)	80 %	32,1	5,9	0,3	2,55	2,80
	60 %	30,6	6,1	0,3	2,67	2,94
	40 %	27,6	6,8	0,3	2,97	3,26
Batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg	35,6	5,4	0,3	2,34 ⁴	2,34 ⁴	2,58 ⁴

¹ Avser förbrukning av vätgas vid fordon, dvs. inkluderar inte energiförbrukning för vätgasproduktion.

² Utsläpp vid generering av elenergi, enligt Svensk elmix, för påfyllningsanläggning med elektrolysör.

³ Kostnad för elenergi som tillförs en påfyllningsanläggning med elektrolysör.

⁴ Elnätskostnaden antas vara densamma för elväg som för eldistributionsnätet vilket innebär samma energipris för el levererat till fordon som el levererat till laddare.

7.5.5 Kungsträdgården – bergmassor

Lägst energiförbrukning, växthusgasutsläpp (i livscykelperspektiv enligt Energimyndigheten, 2020, för bränsle och el) och energikostnad fick batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg, 53 %, 92 % respektive 86 % lägre än för dieseldrivna fordon, se Tabell 7.10.

Den maximala lastvikten för batterielektriska fordon i BK2 minskar med 15–39 % beroende på andelen av batterikapaciteten som nyttjas. I BK1 är motsvande minskning 13–33 %.

Tabell 7.10. Jämförelse av energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt energikostnad per ton för transporter mellan Kungsträdgården - Riksten, 36 km – bergmassor.

3-axlad lastbil BK2, 12 m		Lastvikt [ton]	Energiför- brukning per enhet last [kWh/ton]	Växthusgas- utsläpp per enhet last [kg CO ₂ e/ton]	Energi kostnad per enhet last [SEK/ton]		
					Utgångs- läge	Känslighetsanalys	
						Dieselpriis ökas med 10 %	Elpris ökas med 10 %
Dieseldrivna fordon med fossil diesel		9,5	43,0	11,8	63,37	69,70	63,37
Dieselfordon med HVO		9,5	43,0	2,1	58,78	64,65	58,78
Bränsleceller med vätgas		9,4	30,1 ¹	1,4 ²	31,14 ³	31,14 ³	32,92 ³
Batterielektriska plug-in fordon (<i>andel av batterikapaciteten som nyttjas</i>)	80 %	8,0	23,0	1,1	10,03	10,03	11,03
	60 %	7,2	25,4	1,2	34,73	34,73	38,20
	40 %	5,8	32,0	1,5	13,90	13,90	15,30
Batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg		9,5	20,0	0,9	8,72⁴	8,72⁴	9,59⁴

3-axlad lastbil BK1, 12 m		Lastvikt [ton]	Energiför- brukning per enhet last [kWh/ton]	Växthusgas- utsläpp per enhet last [kg CO ₂ e/ton]	Utgångs- läge	Dieselpriis ökas med 10 %	Elpris ökas med 10 %
Dieseldrivna fordon med fossil diesel		12,0	35,3	9,7	51,99	57,18	51,99
Dieselfordon med HVO		12,0	35,3	1,7	48,22	53,04	48,22
Bränsleceller med vätgas		11,9	24,6 ¹	1,2 ²	25,49 ³	25,49 ³	26,95 ³
Batterielektriska plug-in fordon (<i>andel av batterikapaciteten som nyttjas</i>)	80 %	10,4	18,3	0,9	7,97	7,97	8,77
	60 %	9,6	19,8	0,9	8,61	8,61	9,47
	40 %	8,1	23,5	1,1	10,24	10,24	11,27
Batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg		12,0	16,5	0,8	7,17⁴	7,17⁴	7,89⁴

¹ Avser förbrukning av vätgas i fordon. dvs. inkluderar inte energiförbrukning för vätgasproduktion.

² Utsläpp vid generering av elenergi, enligt Svensk elmix, för påfyllningsanläggning med elektrolysör.

³ Kostnad för elenergi som tillförs en påfyllningsanläggning med elektrolysör.

⁴ Elnätskostnaden antas vara densamma för elväg som för eldistributionsnätet vilket innebär samma energipris för el levererat till fordon som el levererat till laddare.

7.5.6 Riddargatan – jord- och schaktmassor

För de kortare transporterna av jord- och schaktmassor, från Riddargatan till omlastningsplatsen, har batterielektrisk drift med både plug-in och energitillförsel via elväg den lägsta energiförbrukningen, vilken var 55 % lägre än för de dieseldrivna fordonen, se Tabell 7.11. Växthusgasutsläppen, i ett livscykelperspektiv är, enligt Energimyndigheten (2020) för bränsle och el, lägst med batterielektriska fordon. Lägst energikostnader står batterielektriska fordon i BK2 och batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg i BK1.

För de längre transporterna från omlastningsplatsen till Roslagstippen är det batterielektriska fordon med möjlighet att tillföra energi från elväg som har lägst energiförbrukning och -kostnad, ca 50 % respektive 80 % lägre jämfört med dieselfordon, medan plug-in fordonen har lägst växthusgasutsläpp, ca 90 % lägre.

Tabell 7.11. Jämförelse av energiförbrukning, koldioxidutsläpp samt energikostnad per ton för transporter mellan Riddargatan och Roslagstippen, 2+40 km, av jord- och schaktmassor.

		Lastvikt [ton]	Energiför- brukning per enhet last [kWh/ton]	Växthusgas- utsläpp per enhet last [kg CO ₂ e/ton]	Energi kostnad per enhet last [SEK/ton]		
					Utgångs- läge	Känslighetsanalys	
					Dielelpris ökas med 10 %	Elpris ökas med 10 %	
3 axl, BK2							
Dieseldrivna fordon med fossil diesel		7,0	1,8	0,5	2,64	2,90	2,64
Dieselfordon med HVO		7,0	1,8	0,1	2,45	2,69	2,45
Bränsleceller med vätgas		6,9	1,3 ¹	0,1 ²	1,30 ³	1,30 ³	1,38 ³
Batterielektriska plug-in fordon (andel av batteri- kapaciteten som nyttjas)	80 %	7,0	0,8	0,0	0,35	0,35	0,39
	60 %	7,0	0,8	0,0	0,35	0,35	0,38
	40 %	7,0	0,8	0,0	0,35	0,35	0,38
Batterielektriska fordon med möj- lighet att tillföra energi från elväg		7,0	0,8	0,3	0,36 ⁴	0,36 ⁴	0,40 ⁴
3 axl, BK1							
Dieseldrivna fordon med fossil diesel		11,0	1,2	0,3	1,76	1,94	1,76
Dieselfordon med HVO		11,0	1,2	0,1	1,63	1,79	1,63
Bränsleceller med vätgas		10,9	0,8 ¹	0,0²	0,86 ³	0,86 ³	0,91 ³
Batterielektriska plug-in fordon (andel av batteri- kapaciteten som nyttjas)	80 %	10,2	0,6	0,0	0,25	0,25	0,28
	60 %	10,1	0,6	0,0	0,26	0,26	0,28
	40 %	9,7	0,6	0,0	0,26	0,26	0,29
Batterielektriska fordon med möj- lighet att tillföra energi från elväg		11,0	0,6	0,2	0,24⁴	0,24⁴	0,27⁴
3 axl+släp, BK2							
Dieseldrivna fordon med fossil diesel		21,0	15,7	4,3	23,10	25,42	23,10
Dieselfordon med HVO		21,0	15,7	0,8	21,43	23,57	21,43
Bränsleceller med vätgas		19,9	11,5 ¹	0,5 ²	11,86 ³	11,86 ³	12,53 ³
Batterielektriska plug-in fordon (andel av batteri- kapaciteten som nyttjas)	80 %	17,1	8,7	0,4	3,77	3,77	4,14
	60 %	15,9	9,3	0,4	4,05	4,05	4,45
	40 %	13,5	11,0	0,5	4,76	4,76	5,24
Batterielektriska fordon med möj- lighet att tillföra energi från elväg		19,8	7,8	2,6	3,39⁴	3,39⁴	3,73⁴
3axl+släp, BK1							
Dieseldrivna fordon med fossil diesel		33,0	10,8	3,0	15,93	17,52	15,93
Dieselfordon med HVO		33,0	10,8	0,5	14,77	16,25	14,77
Bränsleceller med vätgas		31,9	7,7 ¹	0,4 ²	8,01 ³	8,01 ³	8,47 ³
Batterielektriska plug-in fordon (andel av batteri- kapaciteten som nyttjas)	80 %	28,8	5,6	0,3	2,42	2,42	2,67
	60 %	27,5	5,8	0,3	2,54	2,54	2,79
	40 %	24,9	6,4	0,3	2,80	2,80	3,08
Batterielektriska fordon med möj- lighet att tillföra energi från elväg		31,7	5,3	1,7	2,29⁴	2,29⁴	2,52⁴

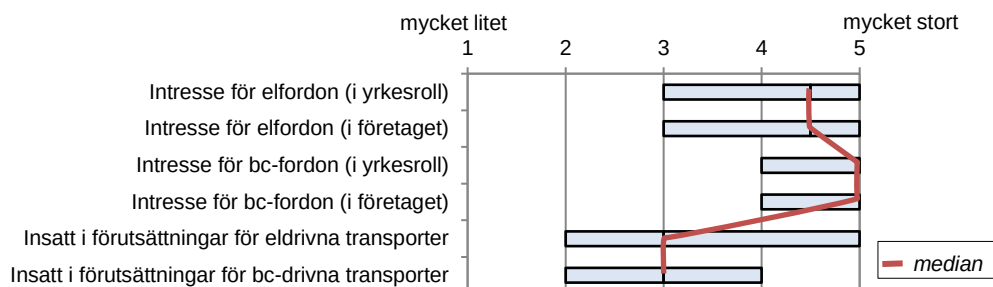
¹ Avser förbrukning av vätgas i fordon, dvs. inkluderar inte energiförbrukning för vätgasproduktion.² Utsläpp vid generering av elenergi, enligt Svensk elmix, för påfyllningsanläggning med elektrolysör.³ Kostnad för elenergi som tillförs en påfyllningsanläggning med elektrolysör.⁴ Elnätskostnaden antas vara densamma för elväg som för eldistributionsnätet vilket innebär samma energipris för el levererat till fordon som el levererad till laddare

8 INTERVJUER

Semi-strukturerade intervjuer genomfördes för att få bättre förståelse för vilket intresse och vilka synpunkter som finns om el- och vätgasdrivna tunga vägfordon hos användarna vid tunga massgodstransporter. Intervjuerna genomfördes via telefon under våren 2021 med fem representanter för åkeriföretag i Stockholmstrakten, bygg- och anläggningsföretag samt branschorganisationer. Respondenternas yrkesroller var maskinchef, sälj/marknadschef, kalkylerare vid stora infrastrukturprojekt samt representant för branschorganisation. Underlag för intervjuerna återfinns i Bilaga 1.

8.1 INTRESSE FÖR OCH KUNSKAPSNIVÅER OM EL- OCH VÄTGASDRIFT

Intresset för såväl el- som vätgasdrift var mestadels högt hos de fem respondenterna, se Figur 8.1. Respondenterna hade ett stort intresse av frågor om el- och vätgasdrift, men att önskar att de hade mer kunskap på området, speciellt för vätgasfordonen.



Figur 8.1. Diagram över spridningen i respondenternas svar (på en femgradig skala) om hur stort intresse de har i sin yrkesroll, respektive i företaget överlag, för el- och vätgasdrivna tyngre fordon samt hur väl insatta de uppskattar att de är i vilka förutsättningar som gäller vid användande av fordonen för massgodstransporter. Medianvärdena är markerade med rött streck.

Vad gäller planer hos företagen att införskaffa el-och eller vätgasdrivna lastbilar varierade det mellan att inte ha några konkreta planer på inköp, till att testkörningar av batterielektriska lastbilar i samarbete med Volvo har inletts/kommer inledas hos två respondenter.

8.2 MÖJLIGHETER

De största möjligheterna med el- och vätgasdrivna fordon för massgodstransporter som respondenterna såg kunde knytas till miljö (minskade utsläpp, minskar fossila bränslen inför omställning till 2030), fordonens prestanda (möjlighet till räckvidder och tanktider som liknar dagens, framför allt med vätgas) samt arbetsmiljö (tystare arbetsmiljö, inga avgaser, underlättar tunnelkörning).

8.3 HINDER OCH FÖRSLAG PÅ INSATSER

De största hindren för att införa el- och vätgasdrivna fordon för massgodstransporter ansåg respondenterna vara:

- avsaknad av laddinfrastruktur och tydliga policyer och stöd från staten, regering och EU,
- höga inköpspriser på fordon,
- lastkapacitet speciellt för tyngre eldrivna fordon samt
- kunders betalningsvilja.

De insatser som respondenterna tror kan gynna införandet av el- och vätgasdrivna fordon för massgodstransporter är:

- utbyggd tillgänglig infrastruktur,
- billigare fordon, serietillverkning,
- större ansvar från staten: erbjud morötter som utökad miljöbonus, omställningsstöd, initialt skattemässigt gynnsamt, underlätta för inköp av hybridfordon, skarpare åtgärder mot fossilbränslen,
- att öka kunskaper hos alla, både kunder och fordonsköpare samt
- att öka kundernas betalningsvilja.

8.4 ÖNSKADE KUNSKAPSOMRÅDEN

Respondenterna vill veta mycket kring system- och fordonslösningar gällande el- och vätgasdrivna fordon för massgodstransporter. Det efterfrågades lättbegriplig presenterad kunskap på en lagom teknisk nivå, dvs. det som är relevant för dem som användare och underlättar inför framtida investeringar. Det handlar om:

- vilka typer av transporter som passar för vilken typ av teknik,
- fordonstillverkarnas utbud, planerade utbud och strategier,
- beskrivningar av konkreta produkter och specifika teknikbolag,
- vikter och lastvikter för lastbilarna,
- kostnader,
- planer för uppbyggnad av servicenät för de nya fordonen,
- politiska beslut samt
- planer för utbyggnaden av ladd- och tankinfrastruktur.

9 WORKSHOP

En workshop genomfördes online i juni 2021 i vilken projektets intressenter samt aktörer inom bygg- och anläggningsföretag, transportföretag såsom åkerier, representanter för kommuner samt fordonstillverkare medverkade (se Bilaga 2). Syftet med workshopen var att presentera och diskutera de preliminära resultaten av studien samt att fånga upp eventuellt obeaktade infallsvinklar.

I diskussionerna under workshopen betonades att batteridrift för tunga transporter fortfarande verkar svårgenomförbart med tanke på den höga batterivikt som behövs. Skepsisen till batterielektrisk drift har mycket att göra med just vikten på batterierna. Åkerierna vill kunna medföra ett tillräckligt stort batteri för att kunna utföra sina uppdrag utan att det ska påverka lastförmågan negativt eller betyda uppehåll i körningarna för pauser för att ladda.

Vätgas är ett intressant koncept och åkerierna är intresserade av att fortsätta till en demonstration av ett sådant upplägg.

Det fanns även farhågor om att utbyggnad/förstärkning av elnätet kommer ta lång tid och det därför är viktigt med tidiga satsningar på elnätet för att vara beredd när antalet tunga elfordon kommer öka.

9.1 REFERAT FRÅN WORKSHOPPRESENTATIONER

Under workshopen hölls följande föredrag:

- Vätgasdrift i Mariestads kommun, Susanné Wallner, näringslivschef Mariestads kommun
- Bränsleceller, Johan Burgren, marknadschef Powercell
- Ellastbilar, Jessica Björkquist, produktchef hållbarhet Scania Sverige
- Bränslecellslastbilar, Tobias Husberg, systemarkitekt Volvo Trucks
- Kostnadsanalys batterifordon, Anders Grauers, docent i elektroteknik, Chalmers tekniska högskola

I följande stycken presenteras referat av dessa föredrag för att möjliggöra för flera att ta del av föredragen.

9.1.1 Vätgasdrift i Mariestads kommun

Mariestads kommun har sedan 2015 en tankstation för vätgas. En solcellanläggning producerar el till en elektrolysör där vatten spjälkas till vätgas för tankning av bränslecellsfordon. Det var efter att kommunstyrelsens ordförande börjat undersöka möjligheter med vätgas som kommunen köpte in en tankstation som blivit över. Intresset från utomstående är och har varit mycket stor och många vill besöka eller på annat sätt få information om vätgasdriften.

El från solceller används i elektrolysör för att spjälka vatten till vätgas och syrgas. För varje kg vätgas som produceras bildas sex kg syrgas, som idag släpps ut i luften men som skulle kunna användas inom sjukvård, industri, matproduktion etc. Vätgasen mellanlagras i tankbehållare i containrar. Tankstationen är öppen för allmänheten och en tankning med 700 bars tryck går på fyra minuter och betalas med betalkort. I närområdet finns ca 14 vätgasbilar finns, varav elva är kommunens.

Det kan jämföras med att det i Sverige totalt finns det ett femtiotal vätgasbilar, varav 16 stycken i Sandviken.

Det finns än så länge endast ett fåtal vätgastankstationer i Sverige. Mariestads kommun hoppas att det kommer byggas fler vilket även flera aktörer pratat om.

Kostnaden för att bygga vätgastankstationen och solcellsparken, inklusive alla markarbeten, är 20,9 MSEK. Bidrag har erhållits om 8,9 MSEK, från bl.a. EU.

Kommunen arbetar även med att få till lösning med vätgasdrift för tåg. Under ett år har Mariestad med hjälp av konsultstöd från EU-kommissionen (Project Development Assistance, PDA) för att utveckla vätgas/bränslecellskoncept för tåg. Fokus ligger på Kinnekullebanan. Fem kommuner samarbetar (Gullspång, Mariestad, Götene, Lidköping och Vara) och det har även förts samtal med Inlandsbanan. En lösning med kombitankstationer kan bli aktuell som möjliggör tankning av både tåg och tunga fordon samtidigt. Lovande för utveckling av det projektet är EU-kommissionens satsning om 430 MEUR på vätgas fram till 2030. Kommunen är involverade i forskningssamarbeten med exempelvis Göteborgs, Linköpings och Stockholms universitet.

Kommunen har även startat bygget av en förskola som ska bli självförsörjande på värme och el. Detta med hjälp av el producerad med solceller, lokal vätgasproduktion och bergvärme. Framöver hoppas kommunen även kunna starta samarbetsprojekt inom jordbruket med någon producent. Tänkbara system kan vara vätgas som drivmedel för traktorer eller syrgas till fiskodling.

Susanné Wallner påpekade vikten av att använda sig av flera lösningar med energibärare för transporter. Mariestad tillämpar det genom att satsa på elladdare, HVO, LBG (flytande biogas) och biogas, även om det som oftast hamnar i fokus är att de har världen första soldrivna tankstation för vätgas.

9.1.2 Bränsleceller, PowerCell

PowerCell arbetar med bränsleceller inom att antal olika sektorer: stationärt, marint, flyg, off-road och vägtransporter. Inom flyg är vikt känslighet en mycket viktig faktor. PowerCell samarbetar med Bosch för produktutveckling och även stackutveckling. Samarbetet kan förhoppningsvis bidra till skalbara system till lägre inköpskostnad för kunderna. Vätgasdrift lämpar sig för tillämpningar som kräver stora energimängder som vid gruvdrift, byggarbetsplatser, marint samt möjligen även skogsmaskiner.

Vätgasproduktionen i Europa ökar och kapaciteten i Sverige behöver också öka. Målet inom EU ligger på 6 GW fram till 2024.

PowerCell har tagit fram system för 3 MW bränsleceller för marint bruk i kombination med flytande väte. PowerCell har även tagit fram och sålt lösningar till jordbruket. En bränslecellsdriven gaffeltruck med 54 kW bränsleceller 60 kWh batteri med 16 tons lyftkapacitet har även tagits fram och demonstrerats i verklig drift hos SSAB i Oxelösund, se Treiber och Bark, 2018a för detaljer.

9.1.3 Ellastbilar, Scania Sverige

Scanias *roadmap* för elektrifiering innebär en gradvis ökning av elektrifierade drivlinor. Till att börja med är det urbant och regionalt med räckvidd på upp till ca 250 km: styckegodsbilar, sista-

milen-leveranser, stadsbussar som elektrifieras. Med mer kostnadseffektiva batterier tror Scania att ca 50 % av nybilsförsäljningen består av elektrifierade fordon år 2030. Kring 2023–2024 bedömer Scania via analyser inom Tratongruppen att inköpspris för eldrift och konventionell drift kommer att likna varandra för tung trafik.

Fordon som körs i urbana anläggningar, korta sträckor i begränsade områden används till stor del för att prova och för att lära sig. De största utmaningar inom anläggning hör till avvägning mellan nyttolast och räckvidd, var och när stödladdning behövs under dagen, att anpassa driften efter elektrifiering. Speciellt utmanande är tippbilar och schaktbilar som rullar mycket och har kort tid för att lasta av och lasta på. För vissa transporter kan mobila laddare vara en möjlighet. Att börja prova använda elfordon för att lära sig är något Scania även uppmuntrar sina kunder att göra.

I ett kostnadsexempel med en 3-axlig liftdumper (med batterier på 300 kWh) som har ett åttaårskontrakt och kör 4 500 mil/år blir totalkostnaden (SEK/km) 13 % dyrare med eldrift jämfört med dieseldrift (410 hk). Med statlig klimatpremie (se avsnitt 4.5) inräknad blir kostnadsskillnaderna för en ellastbil (6x2*4):

- Inköpspris: + 1 600 000 SEK
- Månadskostnad: + 10 800 SEK
- kr/km + 2,90 SEK

Restvärde för diesel var satt till 10 % och batterielektisk bil till 0 %.

Scania samarbetar med den franska energikoncernen Engie och dess dotterbolag Evbox group för att erbjuda laddinfrastrukturlösningar. I den matchning som de gör av transportuppdrag med fordon och laddstrategi ingår ett antal steg:

1. Analysera transportuppdrag – drift, förbrukning, behov av räckvidd, möjlighet till rast/laddning
2. Förslag på lämpligt fordon och laddstrategi
3. Offert
4. Site assessment samarbetspartner – förutsättningar för att installera laddare analyseras
5. Installation av laddare

Scanias erfarenheter från vätgas och bränslecellsdrift handlar främst om lärdomar och utmaningar relaterat till testerna med Asko. Bränslecellsinstallatör på lastbilar har varit Hydrogenic. Vätgasförbrukning på 130–140 kWh/100 km ger räckvidd på 460 km. Gasen tankas på Askos egen tankstation, och tar ca 30 min per tankning. Elen produceras från 9 000 kvm solceller.

Utmaningar har varit att få bränslecellstekniken att fungera stabilt och med effektiv överföring av energi till fordonssystemen (batterier, framdrivning), samt att den överskottsenergi (värme) som genereras i bränslecellssystemet måste tas tillvara, exempelvis genom att värma hytten och batterier eller omvandla värmen tillbaka till elenergi.

Lärdomar som har dragits är att det är viktigt att samla in och analysera data om drift, förbrukningar, energistrategier, värmeåtervinning och andra synpunkter från åkeriet och förarna.

Scania har även två sopbilar på väg ut i verklig trafik i Göteborg, för Renova tillsammans med Göteborgs Stad, Kretslopp och vatten. Liksom med Asko-bilarna kommer data från demonstrationen att användas för att öka kunskapen och utveckla tekniken. Kundens erfarenheter avseende drift, förbrukning, kostnader etc. är viktigt output.

Scania räknar med att batterivikten för en 3-axlad bil med största batteripacken väger ca två ton mer än en dieselbil. För en 3-axlad lastbil anpassad för körning på vägar med belastningsklass 2 (BK2), skulle det betyda 15–20 % lägre lastförmåga. Det är märkbart även om det idag medges 1 ton extra bruttovikt för singelfordon som drivs med alternativa drivmedel. För Asko-bilarna med bränsleceller var viktökningen 650 kg jämfört med dieselbil.

9.1.4 Bränslecellslastbilar, Volvo trucks

Volvo har som mål att från 2040 ska 100 % av fordonen från Volvo Group var fossilfria. Det görs en översyn över vilka tekniker som kan passa de olika segment företaget är verksamt inom för att åstadkomma denna förändring.

Vikt och volym skiljer sig för olika sorters energibärare. Exempelvis väger energibärare inklusive tank för en 44 tons dragbil omkring 0,5 ton för diesel och flytande naturgas, LNG, medan det för vätgasdrivna bränsleceller angavs på skillnader i de vikter och tankvolymerna som behövs beroende på vilken energibärare som väljs, se Tabell 9.1.

Tabell 9.1. Exempel på skillnad i vikt och volym för olika sorters energibärare för en 44 tons dragbil (2021).

	Vikt, energibärare inklusive tank [ton]	Volym, energibärare inklusive tank [m ³]
Diesel	0,4	0,4
LNG	0,65	2
Bränslecellelektiskt, vätgaslager + batteri	2,5	3
Batterielektrisk	9	8

För utveckling av bränslecellssystem har samarbetet med Daimler inletts och mynnat ut i det gemensamma bolaget *cellcentric*. Angående tillverkning av vätgas är satsningar på grön vätgas viktiga, med el från vind-, sol- och vattenkraft.

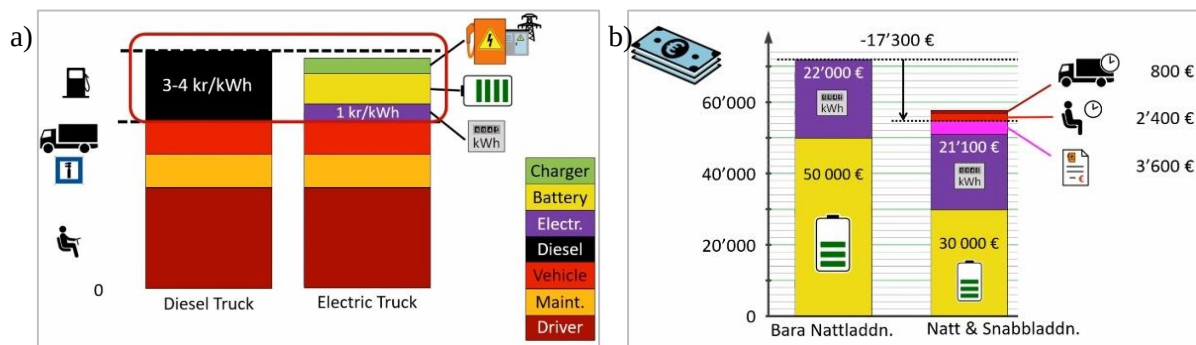
Inom Volvo utvecklas ett modulsysteem som tillämpas vid tillverkning av fordon. Detta för att hålla låga kostnader på såväl komponenter och fordon trots att antalet drivlinor ökar. Elmaskiner och växellådor likväl som batterier, delsystem och olika typer av komponenter kan skalas upp beroende på vilken typ av drivlina och applikation som ska tillverkas, för tillfället för fordon med totalvikt på 18–44 ton.

9.1.5 Kostnadsanalys batterifordon, Chalmers

För att göra rättvisa jämförelser av den kostnadsmissiga gränsen mellan fordon med el, bränsleceller och förbränningsmotorer är det viktigt att titta på hur fordonen används. Enbart total årlig körsträcka är inte en lämplig jämförelseparameter. Det är lätt att göra fel i jämförelser. Dels med att hitta rätt parametrar, dels att försöka jämföra identiska systemupplägg med varandra fast teknikerna har olika förutsättningar både kostnadsmissigt och tekniskt. Systemupplägg vid jämförelse bör där-

för anpassas efter de olika teknikernas särskilda förutsättning. Det är viktigt att förstå vad som påverkar kostnaderna för att kunna spara pengar. Det är viktigare med användningsmönstret än fordonsstorleken.

Totalkostnader för fordon drivet med el eller diesel utgörs av kostnader för förare, underhåll och försäkring samt diesel, eller el plus batteri plus laddare och elnät. En något lägre totalkostnad (Total Cost of Ownership, TCO) har beräknats kunna uppnås för ellastbil jämfört med dieseldriven lastbil, på några års sikt (figur 9.1a). Intressant i kostnadsjämförelser är framför allt delen med diesel kontra el/batteri/laddare-elnät. Förenklat kan diesel kosta 3-4 SEK/kWh (som driver fordonet framåt), el kan kosta 1 SEK/kWh och batteripriset avgörs helt av hur det utnyttjas.



Figur 9.1 a) Systemkostnader för diesellastbil och ellastbil b) Kostnadsfördelning mellan hög batterikapacitet med enbart natladdning jämfört med lägre batterikapacitet med både snabb- och natladdning (Grauers 2021).

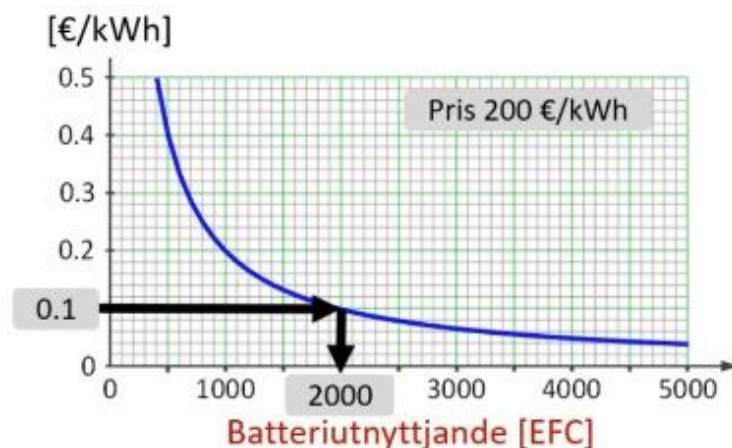
Kostnaden för batteri beror på batteriutnyttjandet och kan beräknas genom

$$\text{Kostnad/kWh} = \frac{\text{Batteripris}}{\text{Batteriutnyttjande}} \quad (1)$$

och där

$$\text{Batteriutnyttjande} = \frac{\text{Total levererad energi}}{\text{Batterikapacitet}} [\text{EFC}] \quad (2)$$

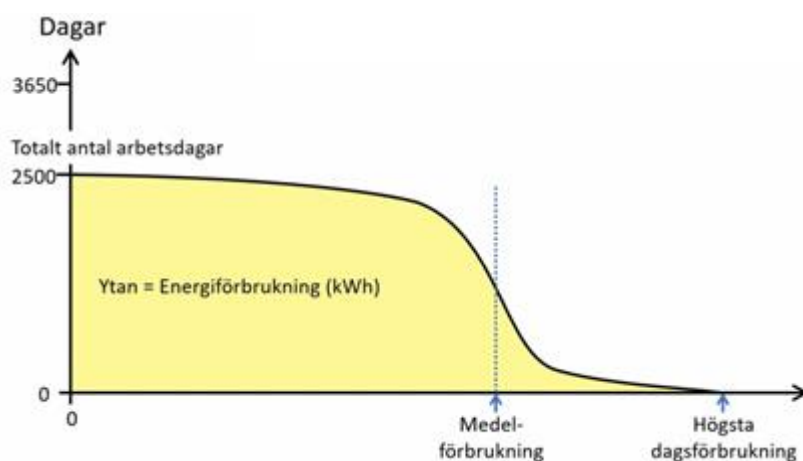
Enheten EFC står för ekvivalenta fulla cykler. Ett bra utnyttjat batteri kan kosta 1 SEK/kWh med ett batteriutnyttjande på 2000 EFC, se figur 9.2, vilket är fullt möjligt för kommersiella fordon men svårt för personbilar. Det gäller inte för dagens batterier men för morgondagens.



Figur 9.2 Batterikostnad med exempel på ett bra batteriutnyttjande med 2000 EFC (ekvivalenta fulla cykler) vilket ger energikostnad på ca 1 SEK/kWh (Grauers 2021).

Dimensionering av batterikapacitet bör baseras på analyser av daglig energiförbrukning för fordon. Den dagliga energiförbrukningen kan summeras, se den gula ytan i figur 9.3, och utifrån medelförbrukning kan lämplig batterikapacitet bestämmas.

Typiskt beräknas 80 % av batteriets kapacitet vara användbar, vilket exempelvis betyder att med ett batteri med en kapacitet på 200 kWh täcks i realiteten en energiförbrukning på 160 kWh. De dagar som energiförbrukningen överstiger batterikapaciteten kommer stödladdning att behövas. Om detta sker i form av snabbladdning på publika laddstationer kommer kostnaden bli betydligt högre än om laddning utförs vid egna laddstationer, relaterat till ett högre elpris vid publika stationer. Det behöver dock inte vara dyrare totalt jämfört med att välja batteri med högre kapacitet då de dagar som stödladdning behövs förväntas vara relativt få. Att öka tiden som fordonet används innebär att den totala energiförbrukningen från batterierna blir högre utan att batterikapaciteten behöver ökas. Batterikostnaden per kWh är densamma oavsett körsträcka, däremot ökar batterivikten ju längre körsträcka batteriet ska täcka, vilket i vissa fall innebär problem, exempelvis för tunga transporter där lastkapacitet är väldigt viktig.



Figur 9.3 Principbild av summerad daglig energiförbrukning, här för ett fordon under 10 års drift, inför beräkning av lämplig batterikapacitet (Grauers 2021).

Batterielektriska drivsystem passar främst till fordon som används mycket, kör lika långa sträckor varje dag och kan ladda ”hemma” över natten. Räckvidden i sig utgör inte något kostnadsproblem, däremot är batterivikten vid tunga transporter ett potentiellt problem. Kostnadsfördelning mellan

hög respektive låg batterikapacitet med nattledning respektive både snabb- och nattladdning ses i figur 9.1. Sammanfattningsvis kan sägas att transportuppdrag mest lämpliga för eldrift är lokal och regional distribution upp till 300 km, se tabell 9.2.

Tabell 9.2 Summering av när batterilastbilar är kostnadseffektiva (Grauers 2021).

	Upplägg körning	Batteri/laddning
	Används inte dagligen, eller mycket varierande körsträckor	Hög batterikostnad blir ett problem!
	Lokal distribution	Nattladdning + lite snabbbladdning
	Regional distribution upp till 300 km	Nattladdning + lite snabbbladdning
	Långtradare, olika rutt	Nattladdning + mycket snabbbladdning
	Långtradare, Fast rutt	Nattladdning + mycket egen snabbbladdning

Vad gäller vätgas konstaterar Grauers att både batteri- och bränslecellsfordon är bra. Det gäller att hitta tillämpningar som passar. Kostnadsmässigt beräknas inom tio år diesel- och bränslecellsfordon ha ungefär lika totalkostnad. Vätgas leder generellt till billigare fordon, då kostnaden för bränsleceller bedöms vara mycket lägre än för batterier. Det är vidare dyrare med dieselbränsle och vätgas jämfört med elenergi. För batterilastbilar beror totalkostnaden till stor del på hur effektivt batterier och laddare kan utnyttjas, se figur 9.4.

Vätgas och bränsleceller ?

Både batterifordon och bränslecellsfordon är bra!

	 Diesel	 Vätgas	 Batteri
"Bränsle"	3-4 kr/kWh	3-4 kr/kWh	1.5-2 kr/kWh (inkl laddare)
"Tank"	1 kr/kWh	20 kr/kWh	2000 kr/kWh
	~ Samma totalkostnad		+ Billigast om batteri utnyttjas >1000 EFC
			- Långa sträckor: Reducerad last eller daglig snabbbladdning
			- Lågt utnyttjade laddare dyra!

Figur 9.4 Kostnadsmässig jämförelse mellan lastbilar med diesel, bränsleceller och batterier inom tio år (Grauers 2021).

Föredraget kan sammanfattas med

- Batterilastbilar (i volymproduktion) kommer vara billigare än diesel om de kör många dagar med liknande sträckor. Det gäller för de flesta tillämpningar.
- Långa sträckor under enstaka dagar med är inget problem och bör lösas med publik snabbbladdning.
- Långa dagliga körsträckor innebär att batterierna behöver snabbbladdas för att inte batterivikten ska bli alltför hög och påverka lastvikten. Det är en av de svaga punkterna med batterierna, dock inte kostnadsmässigt, utan med avseende på påverkan på den maximala lastförmågan.
- Fordonsstorlek är generellt oviktig för eldrift med batteri som energilager, det är användningsmönstren som är viktiga.

- Ur en kostnadsanalys är det inte räckvidden, utan användningen, som är ett kostnadsproblem.
- Vätgasdrift kommer innebära billigare fordon och dyrare bränsle jämfört med dieseldrift (i och med höga kostnader för batterier och tillverkning av vätgas).

10 SAMMANFATTANDE RESULTAT

Här följer sammanfattande resultat från projektets olika delar uppdelat i: kartläggningen av kunskaps- och teknikläget, fallstudier, intervjuer med aktörer, workshop, ekonomiska incitamenten samt utformning av energinfrastruktur.

10.1 KARTLÄGGNING AV KUNSKAPS- OCH TEKNIKLÄGET

Den kartläggning av kunskaps- och teknikläget som gjorts inom detta projekt visar att det finns ett tiotal lastbilsmodeller försedda med bränsleceller på väg ut på marknaden. Hyundai har i dagsläget kommit längst i kommersialiseringen av vätgasdrivna lastbilar och har för närvarande drygt 45 bilar som utför transportuppdrag åt olika aktörer i Schweiz. Till år 2023 och 2025 är det flera tillverkare som avser vara i produktion med bränslecellsdrivna lastbilar.

Utvecklingen av batterielektriska lastbilar har kommit längre än för bränslecellsdrivna. Det finns flera modeller av ellastbilar på och på väg ut på marknaden som kan passa till massgodstransportuppdrag. Under projektets gång har flera nya helelektrifierade lastbilsmodeller presenterats. Det finns även möjlighet att konvertera nya eller begagnade fordon med förbränningsmotorer till helelektrisk drift.

Det finns i Sverige visst statligt stöd, såsom klimatpremie och miljöbilspremie, att söka vid inköp av el- och bränslecellsdrivna lastbilar och för uppbyggnad av energinfrastruktur, främst laddinfrastruktur.

Tekniker för elektrolys och fossilfri elgenerering finns men antalet anläggningar i drift som kombinerar dessa tekniker för tillverkning av vätgas för fordonstillämpningar är relativt få än så länge, både globalt och nationellt. I Sverige står Mariestad hittills för den enda anläggningen med en solcellspark och en elektrolysör intill en vätgasrankstation.

I EU, Sverige och flera andra länder och regioner har visioner, strategier och färdplaner för användning av vätgas tagits fram. I framkant vad gäller att planera för och även använda vätgas finns exempelvis Island, Schweiz, Sydkorea och Kalifornien i USA.

Flertalet nya satsningar på tillämpningar för vätgas, framför allt relaterade till ståltillverkningen, planeras i Sverige vilket bidrar till att vätgaslösningar diskuteras alltmer. Förhoppningsvis kan synergieffekter uppstå mellan vätgastillämpningar i stålindustri och vätgastillämpningar för tunga vägfordon. Det kan exempelvis handla om utveckling av tekniker och systemlösningar för vätgasgenerering eller satsningar inom vissa geografiska områden med stora behov av vätgas.

10.2 FALLSTUDIER

Förutsättningarna för att ersätta fossildrivna transporter av massgods med eldrift, speciellt med vätgasdrivna bränsleceller, är goda. De fordon med vätgasdrivna bränsleceller och batterier som ingått i fallstudierna i denna studie framstår kunna ge lägre växthusgasutsläpp, energikostnad och i flera fall lägre energiförbrukning än konventionella dieselfordon. För HVO-bränsle är det i första hand växthusgasutsläppen som minskar i jämförelse med diesel.

I fallstudierna var energiförbrukningen 0–40 % högre för fordon med bränsleceller jämfört med diesel/HVO. För batterielektriska lastbilar minskade energiförbrukningen med 8–55 %, beroende

på vilken räckviss som batterierna dimensionerats utifrån, jämfört med diesel/HVO. För batterielektriska med möjlighet att tillföra energi från elväg minskade energiförbrukningen med till ungefär hälften jämfört med diesel/HVO.

Växthusgasutsläppen minskade för alla fall och alla typer av fordon med 82–92 % jämfört med diesel. Emissionsparametrar som använts i studien speglar genomsnittliga växthusgasutsläpp från diesel, HVO och el i Sverige (i livscykelperspektiv), vilket innebär att resultaten inte kan generaliseras direkt för länder/områden som har högre andel el med fossilt ursprung i sin elmix.

För tunga transporter är lastkapaciteten avseende lastvikt viktig och tunga batterierna tenderar i många fall att inkräkta på denna. Resultaten från denna studie tyder på att för hälften av de studerade fallen minskar lastkapaciteten med 5–20 % jämfört med vid dieseldrift. I vissa fall sågs en minskning av lastkapaciteten redan när batterierna dimensionerades för så lite som endast en tur och returkörning. För de tyngsta transporterna i fallstudierna kan det handla om lastvikt som minskar med 10–15 %, beroende på hur batterierna är dimensionerade. Sträckorna som lastbilarna används på kan i vissa större transportuppdrag vara lika över längre tid, men det är dock vanligt att sträckor varierar och att uppdrag för enskilda fordon kan ändras med kort varsel. Det gör det svårt att utrusta fordon med batterier som enbart är dimensionerade till korta uppdrag.

10.3 INTERVJUER MED AKTÖRER

Efterfrågan på fossilfria alternativ är stor från transportutförarna. Respondenterna i en mindre intervjuundersökning hade ett stort intresse av frågor om el- och vätgasdrift, men att önskar att de hade mer kunskap på området, speciellt för vätgasfordonen. I dagsläget är det begränsad tillgång till fordon (framför allt bränslecellsfordon), höga inköpskostnader, avsaknad av tillgång till vätgas och tankinfrastruktur, samt låg betalningsvilja för gröna transporter som utgör några huvudsakliga hinder för att fler åkare ska gå över till eldrift. För lösningar med batterielektriska lastbilar är långa laddningstider och avsaknad av naturliga laddplatser potentiella hinder för transporter där fordon används intensivt, lastar tungt och sällan står stilla längre stunder. Vikten på batterierna för batterielektriska lastbilar är i dessa fall ett stort potentiellt problem då lastkapaciteten i form av lastvikt minskar med ökad batterivikt. Hur snabbt en övergång till eldrivna lastbilar för massgodstransporter kan ske beror till stor del på i vilken mån dessa hinder kan överbryggas.

10.4 EKONOMISKA INCITAMENT

Intervjuer med transportutförare som medverkade i studien visade att de ekonomiska incitamenten för bygg- och anläggningsföretag respektive transportföretag att införskaffa och använda vätgasdrivna bränslecellsfordon främst kopplade till långsiktig överlevnad i en traditionellt fossildriven bransch som ställer om till mer hållbara bränslen. Det kommer initialt att kosta mer att investera i tunga fordon med el- respektive bränslecellsdrift än i konventionella dieselfordon. Tidpunkten för när inköpspriset är i paritet med dieseldrivna lastbilar ligger enligt fordonstillverkarnas analyser två till tre år framåt i tiden för eldrift, och fem till tio år för bränsleceller.

Höga inköpskostnader och eventuella tillkommande kostnader för installation av tankinfrastruktur för vätgas (om transportföretagen väljer eller tvingas att investera i dessa) innebär en betydande tröskel för inköp av såväl el- som vätgasdrivna tunga fordon. Samarbeten mellan transportutförare och större beställare/kunder om ändrade avtalslängder, ersättningsnivåer samt ekonomiskt bistånd

för uppbyggnad av tankinfrastruktur är möjliga vägar för att nå uppsatta miljömål relaterade till omställning till förnybara drivmedel och system. Stöd som underlättar inköp, infrastrukturuppbyggnad och omställning efterlyses. Bland insatser av detta slag kan nämnas den tillfälliga miljöpremien vid inköp av ellastbil som möjliggör stöd upp till maximalt 20 % av inköpspriset.

10.5 WORKSHOP

I workshopen fick transportutövare i form av representanter för åkeriföretag och branschorganisationer möjlighet att direkt ta upp funderingar kring el- och bränslecellsanvändning i tunga fordon med fordonstillverkare, bränslecellstillverkare, användare/ägare av vätgasinfrastruktur och kostnadsanalytiker. Diskussionerna under workshopen handlade främst om åkeriernas farhågor om att batterier kommer inkräkta för mycket på lastkapaciteten i form av lastvikt och kraven på laddning med korta intervaller, att vätgas verkar vara lovande och mycket intressant för massgodstillämpningar och om vikten att tidigt satsa på förstärkningar i elnätet inför att antalet tunga ellastbilar börjar öka markant.

Efter workshopen har arbetet fortsatt med att sätta samman ett konsortium för en demonstration.

10.6 UTFORMNING AV ENERGIINFRASTRUKTUR

Energiinfrastrukturen bör utformas för att underlätta användning av såväl vätgasdrivna som batterielektriska fordon för massgodstransporter. Laddstationer för batterielektriska lastbilar bör finnas vid uppställningsplatser, lunchställen och rastplatser. Tydliga fördelar finns med att placera vätgastankstation och elektrolysör i anslutning till varandra för att undvika extra komprimering och transport av gasen. Mariestad och dess solcellspark är ett bra exempel på hur en lokal infrastruktur kan vara utformad.

Utbyggnaden av infrastruktur för vätgas underlättas av satsningar på exempelvis vätgaskorridorer med ett flertal tankstationer strategiskt utplacerade längs vältrafikerade korridorer, t.ex. EU-projektet Nordic Hydrogen Corridor, samt av etableringsplaner från företag, som t.ex. Everfuel. Var och hur tillverkningen av grön vätgas ska/kan/bör ske är ännu inte lika tydligt i planerna. Det mest troliga är att det i första hand är sol- och vindkraft som kommer användas för elgenerering. Tekniker för solceller, vindkraftverk liksom för elektrolysörer existerar sedan tidigare.

10.6.1 Rekommendationer för vätgasinfrastrukturutbyggnad

Utbyggnader av tankinfrastruktur för vätgas är en förutsättning för att fordonsanvändarna skall kunna förmås att gå över till bränslecellsdrivna fordon. För att möjliggöra en tillgång till förnybara, klimatneutrala och lokalt utsläppsfria drivmedel för transporter av massgods bör energiinfrastrukturen i städer och tätorter utformas så att:

- vätgastankstationer lokaliseras i närheten av vanligt förekommande transportrutter, eller vägsträckningar, för tunga transporter, såsom större vägar och i områden/regioner med många större byggprojekt/stark tillväxt.
- vätgasproduktion med fördel kan ske i nära anslutning till tankstationer så att transporter av vätgas kan undvikas
- det finns möjligheter att tillvarata den syrgas som bildas vid elektrolysprocesser.

11 DISKUSSION

Under arbetet med detta projekt har utvecklingen av elektrifierade tunga transporter märkts tydligt, genom att flera tillverkare presenterat nya modeller av elektrifierade tunga lastbilar. Att tester med batterielektriska lastbilar för massgodsuppdrag är i startgroparna är glädjande, speciellt för engagerade åkeriföretag, även om det är tydligt att de gärna ser att det går ännu snabbare att komma i verklig drift.

Det är tydligt att många åkeriföretagen har en stark vilja att ställa om till mer miljö- och klimatvänliga bränslen och drivlinor. Önskan om att veta mer om elektrifierade fordonsalternativ, för att kunna göra nödvändiga investeringar framöver, är stor hos åkeriföretagen enligt vad som erfarits i detta projekt. Dock anser företagen är det svårt att hinna läsa in sig och/eller prioritera vilka seminarier, rapporter med mera som är mest relevanta att ta del i/av.

Det är också tydligt att det finns behov av ekonomiskt stöd vid inköp av fordon. Dessutom finns erfarenheter inom branschen av när de föreslår mer miljövänliga transporter att inte får bra respons av beställarna. I vissa stora bygg- och infrastrukturprojekt upplever åkeriföretag att de ekonomiska aspekterna, dvs. högre transportkostnader, med mer miljö- och klimatvänliga transporter inte tagit med i beräkningarna. Ökad kunskap hos beställarna och mer samförstånd mellan transportutförare och -beställare önskas från åkeribranschen.

Fallstudierna i detta projekt visar att elalternativen ser lovande ut ur flera aspekter. Dock finns det några stora frågetecken för batteridrift som gäller framför allt batterivikt och lastvikt, samt laddning. En viktig fråga är om batterivikten kommer kunna hållas så pass låg framöver att lastvikten inte påverkas alltför negativt. Utvecklingen av batterier har gått snabbt de senaste åren, men frågan om hur det kommer utvecklas framöver är oklar. Avseende laddning finns frågor som framför allt rör hur laddning ska hinnas med när bilarna är i rörelse stor del av tiden med få stillastående pauser. Höjda effekter på laddare och effektivare batterier kan vara delösningar på detta, men även system med utbytbara batterier är intressanta att titta närmare på.

Bränslecellsdrift ser mer lovande än batteridrift just nu med tanke på påverkan på lastkapacitet och korta tanktider. För bränslecellsdrift behövs dock mer teknikutveckling hos fordonsföretagen och en ökad vätgasgenerering i samhället. Utbyggnaden av vätgaskorridorer är på gång men det är fortfarande relativt många år innan det kan vara ett reellt alternativ att välja en vätgasdriven bränslecellslastbil för en åkare som ska nyinvestera. Förhoppningsvis kommer flera tester i verklig miljö i gång inom kort som ger klartecken om prestanda och förbättringsområden för denna typ av drivlina. Fordonsföretag och åkerier i samverkan kan driva på utvecklingen. Allt eftersom fler fordon kommer i drift kan uppgifter om verklig energiförbrukning, lastkapacitet, batterivikt, klimatpåverkan och så vidare fås, som möjliggör högre noggrannhet i beräkningar och jämförelser mellan olika drivlinor.

Den ökade efterfrågan på vätgasproduktion som bränslecellsdrift i större skala kräver kommer mest troligt kräva åtskilliga nybyggnationer av sol- och vindkraftverk. Elenergibehovet i landet ökar alltmer med ökad elektrifiering och minskad användning av fossil energi och att omfördela den elenergi som produceras idag direkt till vätgasproduktion är svårt att genomföra i stor skala. Frågor som är relevanta har bl.a. att göra med var de nya verken ska byggas, hur konsekvenser kommer bedömas och vilken acceptans det finns/kommer finnas för var kraftverk för förnybar elgenerering kan och bör placeras. I fall där det finns stora möjligheter till energiutvinning, som vid stora

solcells- och vindkraftsparker eller vattenkraftverk, bör avvägningar göras för att klargöra om det är mer effektivt att i stället bygga upp system som innefattar transporter av vätgas till ett antal närbelägna tankstationer.

Det finns ytterligare frågor som är relevanta och som rör hela systemupplägget med elektrifiering och som ligger utanför det här projektets avgränsningar: Hur det ser ut med utvinning och tillgång av material till komponenter i elmotorer, batterier, bränsleceller, sol- och vindkraftverk osv? Vilka möjligheter ger utvecklad återvinning av komponenter och material för att upprätthåll materialtillgång och minska miljöpåverkan från tillverkning? Vilka möjligheter har nya teknikupplägg att minska behovet av sällsynta råvaror?

12 SLUTSATSER

Flera modeller och typer av såväl el- och bränslecellsfordon som kan vara möjliga att använda för transporter av massgods i städer och tätorter är på väg ut på marknaden eller har redan kommersialiserats. Längst i kommersialiseringen av bränslecellsutrustade lastbilar har Hyundai kommit med sin modell XCIENT Fuel Cell.

Förutsättningarna för el- och bränslecellsfordon är goda utifrån de redovisade fallstudierna, både vad anser klimatpåverkan och kostnader. Initialt är dock ekonomiskt stöd vid inköp viktigt.

För massgods är lastkapaciteten av största vikt! För tunga transporter, såsom massgodstransporter, är lastkapaciteten, avseende den möjliga lastvikten, av stor betydelse och tunga batterier tenderar i många fall att inkräkta på denna.

Tillgång till vätgas är en förutsättning för att kunna använda bränsleceller och för transportutövare finns det i dagsläget tre möjliga alternativ (1) att invänta/uppmuntra/delta i initiativ från andra aktörer (exempelvis korridorsprojekt som Nordic Hydrogen Corridor och Mid Sweden Hydrogen Valley och/eller vätgasbolag som Everfuel), (2) att investera i system med egen vätgasproduktion eller (3) att köpa in vätgas.

Transportutövarna har ett stort intresse av förnybara alternativ. Ett bättre samförstånd mellan beställare och utövare kring kostnader för fossilfria transporter är dock önskvärt.

Åkerier ser möjlighet att med bränslecellsdrift minska sina globala och lokala utsläpp, och fortsatt kunna utföra transportuppdrag på likande sätt som nu, utan att behöva lägga in längre tidsperioder med laddning.

En demonstration med bränslecellslastbilar, som testas i verkliga uppdrag med massgods, är en önskvärd fortsättning på studien. Detta för att kunna driva utvecklingen av fossilfria tunga transporter ytterligare framåt.

12.1 FORTSATTA STUDIER

En fortsättningsstudie rekommenderas inom vilken en demonstration av vätgasdrivna bränslecellsutrustade lastbilar, avsedda för massgodstransporter i städer och tätorter, planeras och genomförs. Medverkande kan vara transportföretag, fordonstillverkare och bränslecells företag. Studien bör även innefatta ett arbete med att tillgängliggöra lämpliga fordon samt kvantifiera och beskriva tillgången till grön vätgas.

För fortsatt arbete med kunskapsuppbyggnad i branschen rekommenderas att ett samarbete med branschorganisationer för att utveckla lättillgängligt och förklarande material som behandlar lönsamhetsaspekter för olika elektrifieringsalternativ avseende anläggningsfordon. Målgrupper för detta skall vara bygg- och anläggningsföretag samt transportföretag, såsom åkerier samt andra fordonsanvändare.

Dessutom är fortsatt samarbete och samförstånd mellan transportutförare och större beställare viktiga för att rimliga avtalslängder och ersättningsnivåer ska kunna erbjudas för transporter som utförs med förnybara drivmedel och system.

REFERENSER

- Air Liquide Gas AB (2017), *In the liquid form*, hämtad 2017-01-04, <http://www.hydrogenplanet.com/en/hydrogen-1/how-is-hydrogen-stored/in-the-liquid-form.html>
- Alpman M (2021), *Vätgas växer i Mariestad*, Energigas Sverige, 2021-02-24, <https://www.energigas.se/publikationer/tidningen-energigas/vatgas-vaxer-i-mariestad/>
- Andersson L, Skallefjell P, Skjutar K, Arfwidsson V (2018), *Business Models and financing for the development of electric roads in Sweden*, Final report, EY
- Andersson R (2016), Affärsutvecklare – Clean Energy, AGA, muntlig kommunikation 2016
- Barilo N (2015), *Safety Considerations for Hydrogen and Fuel Cell Applications*, PNNL Hydrogen Safety Program Manager, ICC Annual Business Meeting, Long Beach, CA, 2015-09-29
- Barnett C(2019), *EMOSS Electric Trucks: Road Test*, Commercial Motor magazine, 2019-09-05, hämtad 2021-12-01 <https://www.commercialmotor.com/news/buying-advice/emoss-electric-trucks-road-test>
- Bergbom Wallin E (2021), *Volvo lastvagnar elektromobilitet*, presentation 2021-09-21 för Fokus-grupp Hållbara Godstransporter, inom Uppsala Klimatprotokoll
- Berger A (2020), *Vätgasfordon - ekonomiskt framgångsrikt?*, AB Volvo, webinarium ”Vätgasens roll i energisystemet”, arrangör IVA, 2020-10-06 <https://www.iva.se/event/vatgasens-roll-i-energisystemet/>
- BMBF (2020), *The National Hydrogen Strategy [Nationale Wasserstoffstrategie]*, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Berlin, juni 2020, https://www.bmbf.de/files/bmwi_Nationale%20Wasserstoffstrategie_Eng_s01.pdf
- Bodén A och Hedebyörn A (2015), *Kravställning av kraftelektronik för användning av bränsle-celler i elektriska fordon*, Energiforsk rapport 2015:211.
- Business Finland (2020), *National hydrogen roadmap for Finland*, november 2020 https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykas-energia/bf_national_hydrogen_roadmap_2020.pdf
- CaFCP (2021), *FUEL CELL ELECTRIC TRUCKS, A Vision for Freight Movement in California—and Beyond*, California Fuel Cell Partnership, juli 2021, <https://cafcp.org>
- CEC (2020), *Energy Commission Approves Plan to Invest Up to \$115 Million for Hydrogen Fueling Infrastructure*, California Energy Commission, 2020-12-09, <https://www.energy.ca.gov/news/2020-12/energy-commission-approves-plan-invest-115-million-hydrogen-fueling>
- CEC (2021a), *GFO-21-501 – Hydrogen Fuel Cell Truck and Bus Technology Integration and Demonstration*, California Energy Commission 2021-06-20, <https://www.energy.ca.gov/solicitations/2021-07/gfo-21-501-hydrogen-fuel-cell-truck-and-bus-technology-integration-and>

CEC (2021b), *GFO-20-609 Renewable Hydrogen Transportation Fuel Production*, California Energy Commission, 2021-04-09, <https://www.energy.ca.gov/solicitations/2021-04/gfo-20-609-renewable-hydrogen-transportation-fuel-production>

Clean Logistics (2021), *HyBatt-Truck: Emissionsfreier H2-Brennstoffzellenantrieb*, hämtad 2021-08-17 <https://relaunch.cleanlogistics.de/hybatt-truck.html>

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

DAF (2020), *DAF introduces CF Electric with Extended Range*, 2020-09-02, <https://www.daf.global/en-us/news-and-media/news-articles/global/2020/q3/daf-introduces-cf-electric-with-extended-range>

DAF (2021), *DAF LF Electric for 'zero emission' urban distribution*, 2021-01-26, <https://www.daf.global/en-us/news-and-media/news-articles/global/2021/q1/27-01-2021-daf-lf-electric-for-zero-emission-urban-distribution>, hämtad 2021-01-28

Daimler (2018a), *The new Fuso eCanter. E-Pioneer among light trucks*, hämtad 2018-07-05, <https://www.daimler.com/products/trucks/fuso/ecanter.html>

Daimler (2018a), *The new Fuso eCanter. E-Pioneer among light trucks*, hämtad 2018-07-05, <https://www.daimler.com/products/trucks/fuso/ecanter.html>

Daimler (2018b), *The Mercedes-Benz Electric Truck. Connectivity meets eMobility*, hämtad 2018-07-05 <https://www.daimler.com/products/trucks/mercedes-benz/world-premiere-mercedes-benz-electric-truck.html>

Daimler (2018c), *All-electric Mercedes-Benz trucks for the heavy-duty distribution sector*, hämtad, 2021-01-12 <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko.xhtml?oid=33451264&relId=1001&resultInfoTypeId=175#toRelation>

Daimler (2020), video 2020-09-16, presskonferens Daimler truck, Berlin <https://daimler-truck-events.com/en/events/detail/hydrogenfuture>

Daum M (2020), *On our way to a hydrogen future*, presentation 2020-09-16, presskonferens Daimler truck, Berlin <https://daimler-truck-events.com/en/events/detail/hydrogenfuture>

DN (2021), *Svensk kommun först med unik grön tankstation*, 2021-02-01, hämtad 2021-05-17, <https://www.dn.se/sverige/svensk-kommun-forst-med-unik-gron-tankstation/>

Ecoloop (2020), *Ellastbil ska visa vägen mot elektrifierad byggarbetsplats*, Ecoloop, pressmeddelande, 2020-12-16

Emoss (2018), *Electric trucks: the future for inner city distribution is here*, hämtad 2018-07-05, <http://www.emoss.nl/en/electric-vehicles/full-electric-truck/>

Emoss (2021), *Frequently asked questions*, hämtad 2021-01-12 <https://www.emoss.nl/en/faq>

- Energimarknadsinspektionen (2020), *Residualmixen för 2019*, 2020-06-22, hämtad 2021-01-21 <https://www.ei.se/sv/nyhetsrum/nyheter/nyheter-2020/nu-finns-information-om-residualmix-for-2019/>
- Energimyndigheten (2020), *Växthusgasutsläpp*, 2020-11-18, hämtad 2021-01-21 <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp>
- EU (2020), *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*, Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions, Brussels, 8.7.2020 COM(2020) 301 final, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
- Fossilfritt Sverige (2020), *Vätgas- och ammoniakstrategi*, 2020-06-30, <http://fossilfritt-sverige.se/pa-gang/vatgas-och-ammoniakstrategi/>
- Fossilfritt Sverige (2021), *Vätgasstrategi för fossilfri konkurrenskraft*, 2021-01-21, <https://fossilfrittsverige.se/2021/01/21/vatgasstrategi-for-fossilfri-konkurrenskraft/>
- Gardiner M (2009), *Energy requirements for hydrogen gas compression and liquefaction as related to vehicle storage needs*, DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record # 9013
- Google maps (2021), *Åkeshovsvägen–NCC Barkaby*, hämtad 2021-09-30
- Granmar M (2020) *Vätgas i tanken kan rädda miljön*, forskning.se. 2020-09-01, hämtad 2021-05-17 <https://www.forskning.se/2020/09/01/vatgas-i-tanken-kan-radda-miljon/>
- Grauers A (2020), *Räkna med Anders!*, workshop på temat ”Det är kostnadseffektivt att köra el-lastbil”, 2020-12-04, hämtad från <https://www.youtube.com/watch?v=9wFy8cXGr9c>
- Grauers A (2021), *Kostnadsanalys batterifordon*, Chalmers, presentation vid workshop 2021-06-08
- H2Energy (2017), *The world’s first fuel cell heavy goods vehicle able to fulfil Coop’s logistics requirements*, Brochure 2017/6.
- H2data (2018), *Wasserstoff Daten – Hydrogen Data*, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, hämtad 2018-10-30, <http://www.h2data.de/>
- H2stations (2021), *Hydrogen refuelling stations worldwide*, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, hämtad 2021-10-26, <https://www.h2stations.org/>
- Hydrospider (2020), *Introduction Hydrospider*, 2020-04-20, hämtad 2021-01-27 <https://www.youtube.com/watch?v=Je5Ozjfg3g>
- Hydrospider (2021), *H2 ecosystem*, hämtad 2021-01-27, <https://hydrospider.ch/en/h2-ecosystem/>
- Hyundai (2021), *Hydrogen for Heavy Duty: What does it take to Succeed?*, Hyundai’s seminarium om vätgaslastbilar 2021-03-24, Bryssel, <https://www.youtube.com/watch?v=lAnZj1Sfbgw>
- Hyundai (2020a), *World’s First Fuel Cell Heavy-Duty Truck, Hyundai XCIENT Fuel Cell, Heads to Europe for Commercial Use*, pressmedelände 2020-07-06, <https://tech.hyundaimotorgroup.com/>

[press-release/worlds-first-fuel-cell-heavy-duty-truck-hyundai-xcient-fuel-cell-heads-to-europe-for-commercial-use/](#)

Hyundai (2020b), *Hyundai XCIENT Fuel Cell*, 2020-01-08,
<http://trucknbus.hyundai.com/global/en/products/truck/xcient-fuel-cell/>

Hyzon (2021a), *Hydrogen Trucks now available!*, hämtad 2021-08-17,
<https://www.cleantechnology.nl/trucks.html>

Hyzon (2021b), *Hyzon Motors delivers first hydrogen-powered vehicle to support multinational dairy company's operations, transition fleet to zero-emissions*, Rochester, N.Y., 2021-07-13,
<https://hyzonmotors.com/hyzon-motors-to-supply-first-hydrogen-powered-vehicle-to-support-multinational-dairy-companys-operations-transition-fleet-to-zero-emissions/>

Icelandic New Energy (2020), *A 2030 vision for H2 in Iceland*, hämtad 2020-09-21 från
<http://newenergy.is/wp-content/uploads/2020/06/A-2030-vision-for-H2-in-Iceland-released.pdf>

IVA (2021), *Så ska vätgasen rädda klimatet*, IVA aktuellt 2021(1), s.9-13, hämtad 2020-02-12,
https://www.iva.se/globalassets/bilder/iva-aktuellt/pdf/iva-nr-1-2021-lagupplöst.pdf?utm_campaign=unspecified&utm_content=unspecified&utm_medium=email&utm_source=apsis

Jobson E (2017), *Summering av diskussion om bränsleceller i fordon*, Omvärldsanalys av energieffektiva vägfordon Nyhetbrev OmEV 2017-10-24.

Johansson M, Josefsson P, Ljung J (2012), *Design av Pick-up för Slide In – laddning av tunga fordon*, Institutionen för industriell elektroteknik och automation, Lunds Tekniska Högskola.

Karlström M, Andersson E (2007), *Miljöpåverkan av vätgasförsörjning – miljösystemanalys för vätgas i Göteborg*, Vätgas Sverige.

Krantz G, Bark P (2014), *Energieffektiva kortväga massgodstransporter på väg*, TFK-rapport 2014:3.

Lee D.-Y., Elgowainy A., Kotz A., Vijayagopal R., Marcinkoski J. (2018), *Life-cycle implications of hydrogen fuel cell electric vehicle technology for medium- and heavy-duty trucks*, Journal of Power Sources, vol. 393, 2018. doi: [10.1016/j.jpowsour.2018.05.012](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.05.012).

MAN (2018), *Trucks of the future – MAN delivers sustainable electromobility concepts*, hämtad 2018-07-05, <https://www.truck.man.eu/de/en/eTruck.html>

MAN (2020), *Electromobility that delivers: the new MAN eTGM*, MAN Truck & Bus Deutschland GmbH,
https://www.man.eu/ntg_media/media/en/content_medien/doc/bw_master/truck_2/man_lkw_broschuere_etgm.pdf

Manthey N (2018), *Toyota & Seven-Eleven launching fuel cell project*, electrive.com, 2018-06-06,
<https://www.electrive.com/2018/06/06/toyota-seven-eleven-launching-fuel-cell-project/>

Mercedes-Benz (2016), *Mercedes visar tung lastbil med batteridrift*, hämtad 2021-10-28
<https://nyheter.mercedes-benz.se/2016/07/29/mercedes-visar-tung-lastbil-med-batteridrift/>

Mikulin J, Baronas J, Bekemohammadi R, Bekken M, Choe B, Chow Y, Del Core R, Devine B, Devlin P, Dunwoody C, Grant J, Guevara R, Hall J, Hanlin J, Impullitti J, Ippoliti M, McKinney J, Levin J, Littaua R, Mirisola L, Miyasato M, Moreland G, Natesan N, Neward M, Pickles J, Reed J, Rillera L, Silver F, Williams S, Wnuk L, Zuck D (2016), *Medium- & heavy-duty fuel cell electric truck action plan for California*, California Fuel Cell Partnership

Netinform (2016), *Hydrogen Filling Stations Worldwide*, hämtad 2016-12-27
<http://www.netinform.net/H2/H2Stations/H2Stations.aspx?Continent=EU&StationID=-1>

Nikola (2020), *Nikola One, Nikola Two, Nikola Tre*, hämtad 2020-10-12 <https://nikolamotor.com/>

Nordic Hydrogen Corridor (2021), *Bränslecellsfordon i Sverige*, Nordic Hydrogen Corridor, uppdaterad: 2021 03 26, hämtad 2021-04-27, <http://www.nordichydrogenpartnership.com/wp-content/uploads/2021/03/2021-03-26-FCEV.pdf>

Norska regeringen (2020), *Regjeringens hydrogenstrategi - på vei mot lavutslippssamfunnet*, Olje- og energidepartementet og Klima- og miljødepartementet, 3 juni 2020,
<https://www.regjeringen.no/contentassets/8ffd54808d7e42e8bce81340b13b6b7d/regjeringens-hydrogenstrategi.pdf>

NyTeknik (2019), *Nikola Tre avtåkt – men vätgasvarianten dröjer*, 2019-12-03,
<https://www.nyteknik.se/fordon/nikola-tre-avtack-t-men-vatgasvarianten-drojer-6980584>

NyTeknik (2020), *Här är lastbilarna som får miljöpremie – räcker till 70 fordon*, 2020-08-12,
<https://www.nyteknik.se/fordon/har-ar-lastbilarna-som-far-miljopremie-racker-till-70-fordon-6999339>

NyTeknik (2021), *Här kan 15 svenska vätgasmackar hamna*, 2021-04-28, hämtad 2021-05-17
<https://www.nyteknik.se/premium/har-kan-15-svenska-vatgasmackar-hamna-7014042>

OmEV (2020), *Vätgasnyheter - strategier, Nikola och nya forskningsprojekt*, nyhetsbrev 2020-06-25

Palmer E (2015). *Audi creates green 'e-diesel fuel of the future' using just carbon dioxide and water*. International Business Times. 2015-04-28. hämtad 2021-12-01.

Regeringen (2020), *Premie ska ge fler miljölastbilar och eldrivna arbetsmaskiner*, 2020-08-13
<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/08/premie-ska-ge-fler-miljolastbilar-och-eldrivna-arbetsmaskiner/>

Reuters (2019), *CNH Industrial's Iveco unveils first electric truck in partnership with Nikola*, 2019-12-02, <https://www.reuters.com/article/us-cnh-industrial-nikola/cnh-industrials-iveco-joins-the-electric-truck-race-with-nikola-partnership-idUSKBN1Y62FR>

Reuters (2020), *Hyundai delivers first fuel cell trucks to Switzerland*, 2020-10-07,
<https://www.reuters.com/article/hyundai-switzerland-hydrogen-trucks-idUSKBN26S1FM>

Ridell B (2015) *Teknikbevakning bränsleceller 2018-2019*, Energiforsk 2019:602.

Rodríguez F, Delgado O (2019) The Future of Vecto: CO2 Certification of Advanced Heavy-Duty Vehicles in the European Union, ICCT, hämtad 2020-10-20
https://theicct.org/sites/default/files/publications/Future_of_VECTO_CO2_certification_20191009.pdf

Ruf Y, Lange S, Pfister J, Droege C (2018), *Fuel Cells and Hydrogen for Green Energy in European Cities and Regions A Study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*, Roland Berger GmbH, september 2018,
www.fch.europa.eu/sites/default/files/180926_FCHJU_Regions_Cities_Final_Report.pdf

Ryttman (2012), *Miljöaspekter*, Facit.com, hämtad 2012-12-01,
<http://www.facit.com/se/miljoaspekter/> (2012)

Sandviken Pure Power (2019), *Världens första elväg*, hämtad 2019-06-14,
<https://sandvikenpurepower.se/elvag.html>

Saxe M (2012), *Bränsleceller – Framtid eller återvändsgränd*, ÅF Energi- och systemanalys

Scania (2020a), *Scania investerar i batterifabrik i Södertälje*, pressmeddelande 2020-11-17, hämtad 2021-05-05 <https://news.cision.com/se/scania/r/scania-investerar-i-batterifabrik-i-sodertalje,c3237990>

Scania (2020b), *Scania lanserar elektrisk lastbil med 250 km räckvidd*, Scania, september 2020, hämtad 2021-01-11 <https://www.scania.com/se/sv/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2020/09/Scanias-ellastbil.html>

Scania (2021a), *Ellastbil BEV*, hämtad 2021-01-11 <https://www.scania.com/se/sv/home/products-and-services/trucks/our-range/scania-battery-electric-truck.html>

Scania (2021b), *Scania's commitment to battery electric vehicles*, pressmeddelande, 2021-01-19, hämtad 2021-05-05 <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2021/Scanias-commitment-to-battery-electric-vehicles.html>

Stockholm Vatten och Avfall (2016), *Antal bergtransporter efter förändringar februari 2016*,
https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/sfa/pdf/tillstandsansokan/komplettering/bilaga_10-pm-andringar-avloppstunnel.pdf

Stockholm Vatten och Avfall (2020), *Ny avloppstunnel mellan Bromma reningsverk och Sicklaanläggningen*, hämtad 2020-11-09
<https://www.stockholmvattenochavfall.se/framtidsavloppsrening/ny-avloppstunnel/>

SvD (2021), *Nya batterier kan stöpa om bilmarknaden*, 2021-01-06, hämtad 2021-02-08
<https://www.svd.se/nya-batterier-kan-stopa-om-bilmarknaden>

Sveriges Riksdag (2020), *Förordning (2016:836) om elbusspremie*, hämtad 2021-04-14
https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2016836-om-elbusspremie_sfs-2016-836

- Tesla (2018), *Semi*, hämtad 2018-07-05 <https://www.tesla.com/semi>
- Tesla (2021), *Semi*, hämtad 2021-08-18 <https://www.tesla.com/semi>
- The Korea Herald (2021) *S. Korea designates more hydrogen-focused businesses*, 2021-09-13, hämtad 2021-10-26 <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20210913000863>
- The Pacific Northwest National Laboratory (2019), *Hydrogen_Fuel_Standards_2019.xls*, Hydrogen Tools Portal, juni 2019, <https://h2tools.org/hyarc/hydrogen-data/hydrogen-fuel-quality-standards>
- Toyota (2018), *Toyota Project Portal FCV Truck 01*, 2018-07-30 <https://pressroom.toyota.com/image/toyota-project-portal-fcv-truck-01/>
- Toyota (2020a), *Toyota utvecklar ytterligare bränslecellsdriven lastbil*, 2020-10-07, <https://sverige.toyota/nyheter/pressreleaser/toyota-utvecklar-branslecellsdriven-lastbil>
- Toyota (2020b), *Bränslecellsdrivna lastbilar testas i Los Angeles*, 2020-12-11, <https://sverige.toyota/nyheter/pressreleaser/branslecellsdrivna-lastbilar-testas-i-los-angeles>,
- Toyota (2021), *Fukushima Prefecture and Toyota Begin Discussions Aimed at Building a Hydrogen-based City of the Future in Fukushima Prefecture*, 2021-06-04, hämtad 2021-10-27, https://global.toyota/en/newsroom/corporate/35386947.html?_ga=2.217467158.1800787303.1635302523-1249532739.1635302523
- Trafikutskottet (2020), *Väg- och fordonsfrågor*, Trafikutskottets betänkande 2020/21:TU9, <https://data.riksdagen.se/fil/FD67F147-EF29-485C-9599-9CB5CC812984>
- Trafikverket (2021), *Sveriges första elväg byggs mellan Örebro och Hallsberg*, 2021-07-01 <https://www.trafikverket.se/om-oss/pressrum/pressmeddelanden/lansvisa-pressmeddelande/Orebro/2021/sveriges-forsta-elveg-byggs-mellan-orebro-och-hallsberg/>
- Treiber A (2016), *Bränslecellerdrift av tunga truckar*, Energiforsk rapport 2016:335
- Treiber A (2018), *Bränsleceller i intermodala transportsystem*, Energiforsk rapport 2018:478
- Treiber A, Bark P (2016a), *Energieffektiva transporter av massgods i stora tätortsområden och storstäder*, TFK-rapport 2016:3
- Treiber A, Bark P (2017), *Infrastrukturlösningar för att öka massgodstransporternas effektivitet och produktivitet i städer*, TFK-rapport 2017:2
- Treiber A, Bark P (2018a), *Demonstration av bränslecellsdrift för tunga truckar och arbetsmaskiner inom processindustrin*, rapport 2018:5
- Treiber A, Bark P (2018b), *Elektrifierad distribution av dagligvaror*, TFK-rapport 2018:4
- Treiber A, Bark P (2019), *Fuel cell vehicles and systems for transports of construction materials in cities*, Energiforsk 2019:600

Treiber A, Bark P, Sebelius S (2016b), *Innovativa arbetsmaskiner för energieffektiv framtida internlogistik inom tung industri*, TFK 2016:1

Trelleborgs kommun (2020), *Utveckling av grön teknik inom vätgas ger Trelleborg ledande position*, 2020-11-27, <https://www.trelleborg.se/sv/nyheter/utveckling-av-gron-teknik-inom-vatgas-ger-trelleborg-ledande-position/>

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

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

Vätgas Sverige (2020a), *ASKO tar Scantias vätgasdrivna lastbilar i drift*, 2020-01-21, <http://www.vatgas.se/2020/01/21/asko-tar-scanias-vatgasdrivna-lastbilar-i-drift/>

Vätgas Sverige (2020b), *Sydkorea ställer om till vätgas*, 2020-06-04, <http://www.vatgas.se/2020/06/04/sydkorea-staller-om-till-vatgas/>

Vätgas Sverige (2021), *Svensk vätgasstrategi på plats för att stödja utbyggnaden av infrastruktur*, pressmeddelande, 2021-01-20, Göteborg, <https://www.vatgas.se/2021/01/20/svensk-vatgasstrategi-pa-plats-for-att-stodja-utbyggnaden-av-infrastruktur/> hämtad 2021-01-29

VDL (2018), *VDL Groep and DAF present electric truck*, hämtad 2018-05-16 <https://www.vdlgroep.com/en/news/vdl-groep-and-daf-present-electric-truck>

Volta (2021), *Volta Zero*, hämtad 2021-04-27 https://www.voltatrucks.com/volta_zero

Volvo (2021a), *Eldrivna lastbilar*, hämtad <https://www.volvotrucks.se/sv-se/trucks/trucks/alternative-fuels/electric-trucks.html>

Volvo (2021b), *Volvo Lastvagnar är redo att elektrifiera en stor del av godstransporterna*, 2021-04-20, <https://www.volvotrucks.se/sv-se/news/press-releases/2021/apr/volvo-trucks-now-ready-to-electrify.html>

Volvo (2021c), *Volvokoncernen och Daimler Truck AG storsatsar på vätgasbaserade bränsleceller – lanserar det nya samriskföretaget cellcentric*, pressmeddelande 2021-04-29, hämtad 2021-05-04, <https://news.cision.com/se/ab-volvo/r/volvokoncernen-och-daimler-truck-ag-storsatsar-pa-vatgasbaserade-bransleceller---lanserar-det-nya-sa,c3335583>

Wasserstoff.TV (2020), *Wasserstofftransport*, 2020-06-03 hämtad 2021-01-27 <https://www.youtube.com/watch?v=LU8BGNWtn6E>

Wennman A (2020), *Göteborg tror på sopbilar drivna av bränsleceller*, Elektroniktidningen, 2020-08-13 <https://etn.se/index.php/nyheter/67075-goteborg-tror-pa-sopbilar-drivna-av-bransleceller.html>

Wurster R och Schmidt P (2020), *Renewable Hydrogen in Fuel Cell Heavy Duty Trucking - Ramp-up towards 2030*, JRC Workshop Decarbonisation of Heavy Duty Vehicle Transport, 2020-10-28 Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST) Munich Germany

https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/lbst_pth2-in-fc-hdvs_by_2030_v5-final-handout_public.pdf

Wyatt D., Gear L. (2020), *Electric Truck Markets 2021-2041, Analysis of the medium and heavy-duty BEV, PHEV & FCEV electric truck markets; detailed Covid-19 adjusted sales, battery demand and market value forecasts by region; Li-ion and electric motor technologies*, IDTechEx, IEA, hämtad 2020-11-10, <https://www.idtechex.com/en/research-report/electric-truck-markets-2021-2041/784>

BILAGA 1

INTERVJUFRÅGOR

Semi-strukturerade intervjuer genomfördes med representanter för bygg- och anläggningsföretag respektive transportföretag, såsom åkerier samt andra fordonsanvändare. Grundfrågorna återfinns nedan.

Respondent

- Namn, yrkesroll, företag/organisation

Frågor om intresse

- Hur stort intresse har du i din yrkesroll för eldrivna lastbilar avsedda för massgodstransporter? *[På en skala mellan 1 och 5 där 1 är mycket litet och 5 är mycket stort]*
- Hur stort intresse har ditt företag/din organisation för eldrivna lastbilar avsedda för massgodstransporter? *[På samma skala]*
- Hur stort intresse har du i din yrkesroll för vätgasdrivna lastbilar för massgodstransporter? *[På samma skala]*
- Hur stort intresse har ditt företag/din organisation för vätgasdrivna lastbilar för massgodstransporter? *[På samma skala]*
- Hur insatt är du i vilka förutsättningar som gäller för att använda eldrivna lastbilar för massgodstransporter?
- Hur insatt är du i vilka förutsättningar som gäller för att använda vätgasdrivna lastbilar för massgodstransporter?
- Planerar din organisation att köpa in el- eller vätgasdrivna fordon?

Synpunkter om el- och vätgasdrivna fordon

- Vad anser du är de största möjligheterna med eldrivna och bränslecellsdrivna fordon för massgodstransporter?
- Vad anser du är de största hindren för att införa eldrivna och bränslecellsdrivna fordon för massgodstransporter?
- Vilka insatser tror du skulle kunna gynna införande av eldrivna och bränslecellsdrivna fordon för massgodstransporter?
- Vad skulle du vilja veta mer om gällande eldrivna och vätgasdrivna fordon för massgodstransporter?

BILAGA 2

DELTAGARE I WORKSHOP, 2021-06-08

Peter Bark, TFK

Urban Baudin, Märsta Förenade Åkeriföretag

Jessica Björkquist, Scania

Johan Burgren, PowerCell

Niklas Engblom, Peab asfalt

Anders Grauers, Chalmers

Patrik Hoff, Haninge Åkeri

Kim Holm, Skanska

Tobias Husberg, Volvo Trucks

Anders Josephsson, Transportföretagen

Ingrid Nordmark, TFK

Susanné Wallner, Mariestads kommun

Joachim Wiberg, Sveriges Åkeriföretag



SKANSKA



TRANSPORTFÖRETAGEN

VATTENFALL 

