

Slutrapport

KNOGA

**FOSSILFRI FRAMDRIFT FÖR TUNGA LÅNG-
VÄGA GODSTRANSPORTER PÅ VÄG**

Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer

April 2021

Kristina Holmgren, Johanna Takman och Inge Vierth, VTI Statens väg- och transportforskningsinstitut

Stefan Heyne, CIT Industriell Energi AB

Madeleine Ekström och Magnus Fröberg, Scania CV AB

Monica Johansson, Volvo Technology AB

Per-Arne Karlsson, ST1 Sverige AB

Olov Petrén, E.ON Biofor AB

FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH SYSTEM 2018-2021

Ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och
f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel



www.energimyndigheten.se



www.f3centre.se

FÖRORD

Detta projekt har genomförts inom ramarna för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system, projektnummer 48353-1. 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)

Ytterligare medel har erhållits från de deltagande industriparterna. CIT Industriell Energi har deltagit som underkonsult i projektet.

Denna rapport ska citeras enligt följande:

Holmgren, K., et. al., (2021) *KNOGA. Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg – Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*. Rapport nr FDOS 12:2021. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

SAMMANFATTNING

För att nå de svenska klimatmålen om att minska växthusgasutsläppen från inrikes transporter (undantaget flyget) med 70 % till 2030 och om att nå nettonollutsläpp för samtliga sektorer till 2045 behöver användningen av förnybar energi i transportsektorn öka. Denna studie kvantifierar kostnadsstrukturer och analyserar riskfördelning mellan olika aktörer för fossilfria framdriftstekniker för tunga långväga godstransporter på väg. Följande tekniker är inkluderade i studien: biobränslen (flytande och gasformiga), elfordon med batterier (BEV), elvägar (tre olika tekniker), vätgasdrivna bränslecellsfordon samt elektrobränslen.

I denna studie görs också en jämförelse avseende de olika framdrivningsteknikernas växthusgasutsläpp där bränsle/energianvändning, batteriproduktion (för tekniker med elektrisk framdrivning) och elvägsinfrastruktur inkluderas.

Analyserna görs för två typer av lastbilar: HGV40 och HGV60. HGV40 är en tung lastbil med en tillåten bruttovikt om max 40 ton som används inom hela Europa. HGV60 är en lastbil med en tillåten bruttovikt om max 60 ton som står för merparten av transportarbetet med lastbil i Sverige, men som bara är tillåten i ett fåtal andra europeiska länder. Beräkningar görs för år 2030 och 2045.

Kostnader för de olika teknikalternativen redovisas i vad vi i denna studie har valt att kalla relativ mobilitetskostnad. Den relativa mobilitetskostnaden inkluderar: fordonens investeringskostnader, service och reparationer av fordon samt drivmedelskostnader. Drivmedelskostnaderna består av produktions- och distributionskostnader för drivmedel, där distributionskostnaderna inkluderar både direkta kostnader för distribution av drivmedel från produktionsanläggning till pump, samt investeringskostnader och underhåll för distributionsinfrastruktur (d.v.s. underhåll för elväg, laddinfrastruktur eller tankstation). Genom att tydligt presentera de olika delarnas bidrag till den relativa mobilitetskostnaden erhålls en bild av hur kostnaderna för de olika framdrivningsteknikerna fördelar sig mellan fordonsinvestering, service och reparation av fordon, drivmedelsproduktionskostnader och distributionsinfrastruktur. Alla kostnader beräknas utan skatter och avgifter. En analys som visar påverkan på den relativa mobilitetskostnaden då man belastar alternativen med en CO_{2e}-kostnad för bränsle/energianvändningen inkluderas också i studien.

Studiens sammanställning av hinder och risker för de olika alternativen baseras på kostnadsanalysen, växthusgasjämförelsen och en litteraturgenomgång med fokus på ekonomiska, tekniska, infrastrukturrelaterade risker men också miljöpåverkan och tillgång på råvaror.

DE VIKTIGASTE RESULTATEN OCH SLUTSATSERNA

De batterielektriska framdrivningsalternativen (BEV) har de lägsta relativa mobilitetskostnaderna i bägge tidsperspektiv (2030 och 2045) och för bägge fordonstyper. För BEV är investeringskostnader för distributionsinfrastruktur (laddinfrastruktur) högre än för många andra alternativ. Laddinfrastruktur saknas till stora delar idag, men vi bedömer att denna kan byggas ut av privata aktörer successivt och att risker och kostnader är betydligt lägre än för t.ex. elvägsinfrastrukturen. Depåladdning medför lägre kostnader än snabbaddning utefter vägarna. BEV-alternativen i denna studie har väsentligt kortare räckvidd än andra alternativ, vilket för vissa applikationer kan vara ett hinder.

Elvägsalternativen (ERS, Electric road system) uppvisar väldigt höga investeringskostnader för infrastruktur jämfört med andra kostnader och alternativ. Kostnaderna för infrastrukturinvesteringen

är också osäkra då de beror av hur stort elvägsnät som byggs, hur många av de fordon som trafikerar de utbyggda vägsträckorna som nyttjar vägen samt vilken teknik man väljer och därmed hur många fordon som har möjlighet att utnyttja infrastrukturen. I ett svenskt perspektiv är det mest troligt att staten får ta investeringen i elvägar (då vi endast har statliga motorvägar). En successiv elvägsutbyggnad försvåras av att elvägsnätet behöver finnas innan man investerar i fordon. För elvägar är räckvidden utanför elvägen en begränsning som kan innebära ett hinder. Ett sätt att minska den ekonomiska risken för elvägsalternativen är att välja teknik där fler fordon har möjlighet att utnyttja vägen.

Det vätgasdrivna bränslecellsalternativet (H₂-FCEV) får i denna studie väldigt höga relativa mobilitetskostnaderna i tidsperspektivet till 2030. I tidsperspektivet till 2045 sjunker kostnaderna avsevärt och H₂-FCEV är mer konkurrenskraftiga. Det är framför allt fordonskostnader samt kostnader för infrastruktur och drivmedelsdistribution som är höga jämfört med andra alternativ. För vätgas finns en europeisk strategi om att få ner produktionskostnader och det finns krav på infrastruktur längs vissa vägstråk. En fördel med H₂-FCEV jämfört med BEV och elvägar är att räckviddsproblemen inte är desamma. Mer energi kan bäras med fordonet och det går snabbare att fylla på vätgas jämfört med att ladda batterier.

De relativa mobilitetskostnaderna för elektrobränslena är väldigt höga i bägge tidsperspektiv. Högst är de för de gasformiga elektrobränslena. För samtliga elektrobränslealternativ är det bränsleproduktionskostnaderna som är höga.

Biodrivmedel/elektrobränslen, batteridrift och H₂-FCEV är alla tekniker som liksom elvägar kräver stora investeringar i bränsleproduktion, laddinfrastruktur och drivmedelsdistribution, men investeringarna kan ske mer successivt och delas på fler aktörer än i fallet med elvägar.

Flera biobränslen har relativa mobilitetskostnader som endast är något högre (<7 %) än dieselalternativet. Detta gäller DME, metanol, etanol och komprimerad biogas (CBG). För etanol finns idag distributionsinfrastruktur och utbyggnad är endast marginellt dyrare än för diesel. Även fordon och bränsleproduktion finns för etanol. För DME och metanol saknas i stora delar detta; fordon finns inte för den europeiska marknaden, produktionen av förnybar DME/metanol är begränsad och distributionsinfrastruktur saknas också. För CBG finns fordon och distributionsinfrastruktur åtminstone i södra och mellersta delen av landet.

Om man lägger till en kostnad för de växthusgasutsläpp (i koldioxidekvivalenter, CO_{2e}) som bränsle/energianvändningen ger upphov till (i källa-till-tank-perspektiv, WtW) till den relativa mobilitetskostnaden förändras förhållandena mellan de olika alternativen drastiskt. Vid en CO_{2e}-kostnad motsvarande dagens CO₂-skattenivå (1,17 SEK/kg CO₂) får följande alternativ lägre relativa mobilitetskostnader än diesel: BEV, konduktiva elvägstekniker, metanol, DME, etanol, RME, HVO, CBG (där biogas producerats genom rötning eller förgasning), LBG (där biogasen producerats genom rötning). Om nivån på CO_{2e}-kostnaden höjs till 7 SEK/kg CO₂, som är den nivå som rekommenderas vid beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet för infrastrukturprojekt, får samtliga alternativ lägre relativ mobilitetskostnad än diesel.

Bäst växthusgasprestanda, med hänsyn tagen enbart till bränsleanvändning, har CBG-alternativet (då gasen produceras via rötning) följt de konduktiva ERS-alternativen, BEV samt andra gasfordon (LBG och LBG-hybrid). Tar man också hänsyn till batteriproduktionen blir växthusgasprestandan

för de nämnda biogasdrivna alternativen bättre än både ERS och BEV. För dessa resultat är dock elproduktionens (elmixens) CO_{2e}-intensitet avgörande för utfallet. I växthusgasjämförelse har vi främst gjort beräkningar där elmixen antas ha en låg CO_{2e}-intensitet motsvarande en svensk elmix. Även det vätgasdrivna bränslecellsalternativet har god växthusgasprestanda enligt jämförelsen i denna studie, men är beroende av att elen som används för vätgasproduktionen har god växthusgasprestanda.

Utsläppen av växthusgaser förknippade med batteriproduktionen har en betydande påverkan på BEV-fordonens och elvägsfordonens totala växthusgasprestanda. För att batteriproduktionens bidrag till den totala växthusgasprestandan skall vara liten krävs tillgång på el och värme med god växthusgasprestanda vid produktionen av batterierna.

Baserat på analyserna i denna studie kan ingen vinnande teknik pekas ut. Det finns viktiga för- och nackdelar med samtliga tekniker som gör att de inte kan framhållas som enskilt bästa teknik. Slutsatsen är att det kommer att vara en palett av tekniker som bidrar till de tunga långväga godstransporternas fossilfria framdrift.

Analysen som inkluderade en CO_{2e}-kostnad visade att resultaten är mycket känsliga för styrmedel. Kostnadsanalysen visar också att det för flera av teknikerna krävs omfattande investeringar i olika typer av infrastruktur; elvägar, bränsledistribution och bränsleproduktion. I många fall handlar det om teknik som står inför marknadsintroduktion och uppskalning i produktionsledet och även där spelar styrmedel med stor sannolikhet en avgörande roll för vilka tekniker som investerare vågar satsa på.

Flera av de tekniker som faller väl ut ur växthusgassynpunkt (låga utsläpp) är starkt beroende av tillgång på el producerad med låga växthusgasutsläpp. Det gäller både för el som används för framdrift, för drivmedelsproduktion som kräver mycket el, t.ex. vätgas och elektrobränslen samt för batteriproduktionen. Intensiteten på Sveriges elmix är låg idag, men påverkas starkt av import och export då flera av de länder som vi importerar/exporterar el till har elmixer med betydligt högre CO_{2e}-intensitet. Visserligen pågår en omställning också i dessa länder, men det blir ändå viktigt att i framtiden kunna möta behovet av el (och inte minst eleffekt) med grön el. Om CO_{2e}-intensiteten för elproduktionen är hög (t.ex. EU-mix) blir varken BEV eller elvägsfordonen särskilt fördelaktiga ur växthusgassynpunkt, de blir sämre än samtliga biobränslealternativ.

SUMMARY

To achieve the Swedish climate goals of reducing greenhouse gas emissions from domestic transport (except aviation) by 70 % by 2030 and to reach net zero emissions for all sectors by 2045, the use of renewable energy in the transport sector needs to increase. This study quantifies cost structures and analyses the distribution of risks between different actors for various alternatives of fossil-free propulsion for heavy long-haulage freight transport by road. The following technologies are included in the study: biofuels (liquid and gaseous), battery electric vehicles (BEV), electric road systems (ERS), hydrogen-powered fuel cell vehicles (H2-FCEV) and electrofuels.

In this study, a comparison is also made regarding the greenhouse gas emissions of the various propulsion technologies, which include fuel/energy use, battery production (for technologies with electric propulsion) and electric road infrastructure.

The analyses are performed for two types of trucks: HGV40 and HGV60. HGV40 is a heavy goods vehicle with a maximum permissible gross weight of 40 tonnes that is used throughout Europe. HGV60 is a heavy goods vehicle with a maximum permissible gross weight of 60 tonnes, which accounts for most of the transport work by truck in Sweden, but which is only permitted in a few other European countries. The calculations are made for the years 2030 and 2045.

The costs for the various technology alternatives are presented in what we in this study have chosen to call the relative mobility cost. The relative mobility cost includes vehicle investment costs, vehicle service and repairs, and fuel costs. The fuel costs include production and distribution costs for the fuel. The fuel distribution costs include both direct costs for distribution of the fuel from the production plant to the filling station, as well as investment costs and maintenance for the fuel distribution infrastructure (i.e., maintenance for electric road systems, charging infrastructure or filling station). By clearly presenting the contribution of the various parts to the relative mobility cost, a clear picture is obtained of how the costs for the various propulsion techniques are distributed between vehicle investment, service and repair of vehicles, fuel production costs and distribution infrastructure. All costs are calculated without taxes and fees. An analysis illustrating the changes in the relative mobility costs when introducing cost penalties based on the climate impact of the different fuels is included in the study. The analysis is done by adding a carbon dioxide equivalent (CO_{2e})-cost related to the fuel/energy use of the vehicles.

The compilation of obstacles and risks for the various alternatives is based on the cost analysis, the greenhouse gas comparison, and a literature review. Focus is on economic, technical, and infrastructure-related obstacles and risks but also include environmental impacts and availability of sustainable raw materials.

MOST IMPORTANT RESULTS AND CONCLUSIONS

The battery electric propulsion alternatives (BEV) have the lowest relative mobility costs in both time perspectives (2030 and 2045) and for both vehicle types. For BEV, the investment costs for distribution infrastructure (charging infrastructure) are higher than for many other alternatives. Charging infrastructure is largely lacking today, but the infrastructure can be expanded by private actors gradually, and risks and costs are significantly lower than for e.g., the electric road system infrastructure. Depot charging entails lower costs than fast charging stations along the roads. The

BEV alternatives in this study have a significantly shorter range than other alternatives. This can be a significant obstacle for some applications.

Electric road systems (ERS) show very high investment costs for infrastructure compared to other costs and alternatives. The costs for the ERS infrastructure investment are also uncertain as they depend on the size (kilometers) of the electric road network, the actual take-up of the technology (what fraction of the vehicles plying the road that is using the ERS) and what technology that is chosen (i.e., how many of the vehicles that can use the infrastructure). In a Swedish perspective, it is most likely that the state will have to take the investment in ERS, since Sweden only have state-owned motorways. A successive electric road expansion is made more difficult by the fact that the electric road network needs to exist before investing in vehicles. For ERS vehicles, the range outside the electric road is a limitation that can be an obstacle for some applications. One possible way to reduce the risk of the ERS infrastructure investment is to choose a technology that can be used by more vehicles.

The hydrogen-powered fuel cell alternative (H₂-FCEV) in this study has very high relative mobility costs in the 2030-time perspective. In the 2045-time perspective, the estimated costs fall significantly, and H₂-FCEV is more competitive. It is mainly the vehicle costs as well as costs for infrastructure and fuel distribution that are high compared to other alternatives. For hydrogen, there is a European strategy to reduce production costs and there are requirements for infrastructure along certain road sections. An advantage of H₂-FCEV compared to BEV and ERS is that the range limitations are smaller. More energy can be carried with the vehicle and it is faster to refill hydrogen compared to charging batteries.

The relative mobility costs for the electrofuels are very high in both time perspectives. The gaseous electrofuels have the highest costs. For all electrofuel alternatives, it is the fuel production costs that are high.

Biofuels/electrofuels, BEV and H₂-FCEV are all technologies that, like ERS, require large investments, but these can be made more successively and be split upon more actors compared to the case of ERS.

Several biofuels have relative mobility costs that are only slightly higher (<7 %) than the diesel alternative. This applies to DME, methanol, ethanol, and compressed biogas (CBG). For ethanol there is distribution infrastructure today and further expansion is only marginally more expensive than for diesel. Vehicles and fuel production are also available for ethanol. For DME and methanol most of the systems are lacking; vehicles do not exist for the European market, the production of renewable DME / methanol is limited, and distribution infrastructure is also lacking. For CBG, vehicles and fuel are available and distribution infrastructure is available at least in the southern and central part of the country.

The calculations including a cost for the fuel's greenhouse gas emissions (from a well-to-wheel perspective) show that there is a significant impact on the relative mobility costs of the different alternatives. At a CO_{2e}-cost corresponding to the current level of the carbon dioxide tax in Sweden (1,17 SEK per kg CO₂), the following alternatives have lower relative mobility costs than diesel: BEV, conductive ERS, methanol, DME, ethanol, RME, HVO, CBG (using biogas produced by digestion or gasification), LBG (using biogas produced by digestion). If the level of the CO_{2e}-cost is

SEK 7/kg CO_{2e}, which is the level recommended for calculating socio-economic profitability for infrastructure projects in Sweden, all included alternatives will have a lower relative mobility cost than diesel.

The results of the greenhouse gas comparison including only emissions related to the fuel use show that the CBG alternative (using biogas produced via digestion) has the lowest level of emissions followed by the conductive ERS, BEV and other gas-vehicles using biogas produced via digestion (LBG and LBG-hybrid). If both battery production and fuel utilisation is considered in the greenhouse gas comparison, BEVs and the ERS have higher emissions than the mentioned gas vehicles. The CO_{2e}-intensity of the electricity production (electricity mix) is decisive for the outcome. In greenhouse gas comparisons, we have mainly made calculations where the electricity mix is assumed to have a low CO_{2e}-intensity corresponding to a Swedish electricity mix. The hydrogen-powered fuel cell alternative also has good greenhouse gas performance according to the comparison in this study but is also dependent on that the electricity used for hydrogen production has good greenhouse gas performance.

Emissions of greenhouse gases associated with battery production have a significant impact on the total greenhouse gas performance of BEV vehicles and ERS vehicles. To keep the contribution of the battery production to the total greenhouse gas performance at a low level, electricity and heat with good greenhouse gas performance is required in the production process of the batteries.

Based on the analyses in this study, no winning propulsion alternative can be identified. There are important advantages and disadvantages with all the alternatives which means that they cannot be singled out as the best technology. The conclusion is that there will be a palette of technologies contributing to the fossil-free propulsion of heavy long-distance freight transport.

The analysis, which included a CO_{2e}-cost, showed that the results are very sensitive to policy instruments. The cost analysis also shows that several of the technologies require extensive investments in different types of infrastructure, electric roads, fuel distribution and fuel production. In many cases, it is a matter of technology that is facing market introduction and upscaling in the production stage, and for this policy instruments most likely play a decisive role in which technologies investors will choose.

Several of the technologies that perform well in the greenhouse gas comparison (low emissions) are strongly dependent on the availability of electricity produced with low greenhouse gas emissions. This applies both to electricity used for propulsion, for fuel production that requires a lot of electricity, e.g., hydrogen and electrofuels and for battery production. At present, the CO_{2e}-intensity of Sweden's electricity mix is low, but it is strongly affected by imports and exports with several of the importing/ exporting countries having considerably higher CO_{2e}-intensity. Admittedly, these countries are also striving for decarbonization, but it will still be important to be able to meet the need for electricity with green electricity in the future. If the CO_{2e}-intensity of electricity production is high (e.g., EU-mix) then neither BEV nor the ERS alternatives will be particularly advantageous from a greenhouse gas point of view, they will be worse than all biofuel alternatives.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	15
1.1	SYFTE OCH MÅL	15
1.2	BAKGRUND	16
2	METOD	18
2.1	INKLUDERADE FRAMDRIVNINGSTEKNIKER	19
2.2	KOSTNADER	22
2.3	JÄMFÖRELSE VÄXTHUSGASPRESTANDA	27
2.4	HINDER OCH RISKER	27
3	KUNSKAPSLÄGE OCH NUVARANDE ANVÄNDNING AV FRAMDRIVNINGSTEKNIKER	30
3.1	BESKRIVNING AV NULÄGE FÖR DE FOSSILFRIA FRAMDRIVNINGSTEKNIKERNAS	30
3.2	STYRMEDEL FÖR FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH GODSTRANSPORTER I SVERIGE	35
3.3	TIDIGARE SYSTEMSTUDIER AV FOSSILFRIA FRAMDRIVNINGSTEKNIKER FÖR TUNGA LÅNGVÄGA TRANSPORTER PÅ VÄG	39
4	INDATA OCH ANTAGANDEN FÖR BERÄKNINGAR	48
4.1	GENERELLA INDATA FÖR KOSTNADSBERÄKNINGAR	48
4.2	FORDONSSPECIFIKATIONER	49
4.3	INFRASTRUKTUR OCH DISTRIBUTIONSKOSTNADER	51
4.4	ENERGI-/ BRÄNSLEFÖRBRUKNING	55
4.5	PRODUKTIONSKOSTNADER FÖR DRIVMEDEL	56
5	RESULTAT	63
5.1	RESULTAT AV KOSTNADSBERÄKNINGAR	63
5.2	KÄNSLIGHETSANALYSER FÖR KOSTNADSBERÄKNINGAR	86
5.3	JÄMFÖRELSE AV VÄXTHUSGASPRESTANDA	94
5.4	HINDER OCH RISKER	101
6	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	111
6.1	SLUTSATSER	111
6.2	DISKUSSION	114
	REFERENSER	117

BILAGA 1. KOMPONENTKOSTNADER FÖR FORDON	127
BILAGA 2. TRAFIKARBETE FÖR LASTBILAR I SVERIGE	129
BILAGA 3. WORKSHOP	130
BILAGA 4. INDATA FORDONSKOSTNADER	136
BILAGA 5. INDATA FÖR VÄXTHUSGASJÄMFÖRELSE	149

FÖRKORTNINGAR

ED95	Etanolbaserat drivmedel (95 % etanol) som kan användas i anpassade dieselfordon
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i> , batterielektriskt fordon
BTL	<i>Biomass-to-liquid</i> , beteckning på process som omvandlar biomassa till flytande drivmedel eller kemikalier
CEV	<i>Catenary electric vehicle</i> , elvägsfordon med luftledning
CBG	<i>Compressed biogas</i> , komprimerad biogas
CNG	<i>Compressed Natural Gas</i> , komprimerad biogas
CH ₄	Metan
CI	<i>Compression ignition</i> , kompressionständ (om motorer)
CO ₂	Koldioxid
CO _{2e}	Koldioxidekvivalent
DME	Dimetyleter, gasformigt drivmedel som kan ersätta Diesel i anpassade fordon, förvätskning kräver bara måttliga trycknivåer (ca 5 bar)
DoU	Drift och underhåll
Elväg-ind	Induktiv elväg
Elväg-luft	Konduktiv elväg med luftledning och strömvtagare
Elväg-skena	Konduktiv elväg med skena i marken
ERSV	Electric road system vehicles, fordon som kan köras på elväg
ETBE	Etyl-tert-butyleter
FAME	Fettsyrametylestrar (<i>fatty acid methyl ester</i>)
FCEV	Fuel cell electric vehicle, bränslecellsfordon
fkm	Fordonskilometer
FT-Diesel	Syntetisk diesel (som har framställts via Fischer-Tropsch syntes)
H ₂	Vätgas
H2 FCEV	vätgasdrivet bränslecellsfordon
HEFA	Hydroprocessade estrar och fettsyror (<i>Hydroprocessed esters and fatty acids</i>)
HEV	<i>Hybrid electric vehicle</i> , hybridelektriskt fordon

HGV	<i>Heavy goods vehicle</i> , tung lastbil
HPDI (CI)	<i>High pressure direct injection</i> , avancerat dieselmotorsystem med högtrycks direkt-insprutning och gemensamt fördelningsrör (<i>common rail</i>)
HVO	Hydrerade vegetabiliska oljor
IEV	<i>Inductive electric vehicle</i> , elvägsfordon med induktiv energiöverföring
LBG	<i>Liquefied biogas</i> , flytande biogas
LNG	<i>Liquefied natural gas</i> , flytande naturgas
PFAD	Palm fatty acid distillate
RME	Rapsmetylester
SI	<i>Spark ignition</i> = gnisttänd
SoR	Service och reparation
TCO	<i>Total cost of ownership</i> , total ägandekostnad
tonkm	tonkilometer
TtW	<i>Tank-to-wheel</i> , tank till hjul
VHG	Växthusgaser
vägkm	vägilometer
WtW	<i>Well-to-wheel</i> , källa till hjul

1 INLEDNING

Sverige har som mål att minska växthusgasutsläppen från inrikes transporter (samtliga trafikslag exklusive flyg) med 70 % till 2030 jämfört med 2010. Till 2045 finns det sektorsövergripande målet om nettonollutsläpp av växthusgaser i Sverige. Ett sätt att bidra till dessa mål är att öka andelen förnybar energi i transportsektorn. Enligt det nya förnybarhetsdirektivet som trädde i kraft i december 2018 (Direktiv 2018/2001/EU) ska 32 % av EU:s totala energianvändning utgöras av förnybar energi 2030. För transportsektorn ställer direktivet krav på drivmedelsleverantörer att nå en andel av förnybart om 14 % senast 2030 (Direktiv 2018/2001/EU). I den Gröna given som EU-kommissionen lade fram i slutet av 2019 sätts ett mål om att minska utsläppen från transportsektorn med 90 % till 2050 (Europeiska Kommissionen, 2021). För att uppnå målen om utsläppsminskningar från transportsektorn finns en rad europeiska och svenska styrmedel som syftar till att minska utsläppen från vägtransportsektorn. Några av dem är specifikt inriktade på de tunga transporterna. Exempelvis har EU nyligen infört CO₂-krav för de tunga fordonen samt infört regler som främjar utsläppsfria fordon¹. Vidare är utbyggnad av laddinfrastruktur och produktion av förnybara hållbara bränslen också områden som lyfts fram i den Gröna given.

De utsläppsminskningar av växthusgaser som hittills åstadkommits inom den tunga vägtransportsektorn i Sverige har skett genom övergång till biobränslen antingen i ren form eller som inblandning i diesel samt genom energieffektiviseringar. Förslaget om den utökade reduktionsplikten kommer att ha stor påverkan på denna utveckling även i framtiden. På personbilssidan finns en starkt ökande trend av andelen laddbara fordon i nybilsförsäljning; hela 32 % under 2020 jämfört med 11 % under 2019 (Bil Sweden, 2021). För de tunga långväga lastbilarna finns det flera möjliga alternativ som kan ersätta de fossila bränslen som dominerar transporterna idag. Vissa alternativ (t.ex. HVO och RME) är kompatibla med dagens fordon och bränsleinfrastruktur, medan andra alternativ kräver en omfattande utbyggnad av bränsleinfrastruktur samt fortsatt utveckling av fordon (t.ex. elvägar, batterielektriska fordon (BEV), bränslecellsfordon (FCEV) etc.). Hur kostnader och risker fördelar sig mellan olika aktörer för de olika alternativen för omställning av de tunga långväga godstransporterna är dåligt känt. Denna studie avser att fylla denna kunskapslucka genom att jämföra kostnader och risker för olika förnybara alternativ för tunga långväga lastbilstransporter.

1.1 SYFTE OCH MÅL

Syftet med studien är att kvantifiera kostnadsstrukturer och analysera riskfördelning mellan olika aktörer för olika fossilfria framdriftstekniker för tunga långväga lastbilar. En sådan kartläggning saknas i Sverige och är till hjälp vid planeringen av olika styrmedel och infrastrukturinvesteringar för att underlätta och påskynda omställningen till en fossilfri transportsektor. Syftet är också att jämföra de olika lösningarna med avseende på växthusgasprestanda. Baserat på resultaten av kostnader, riskfördelning och växthusgasprestanda belyses också hinder för implementering och synergier mellan olika lösningar. Studien har ett svenskt fokus, men relaterade risker till de olika alternativen diskuteras även kvalitativt ur ett internationellt perspektiv.

¹ Enligt (EU COM reg. 2019/1242, 2019) är ett utsläppsfritt tungt fordon ett fordon utan förbränningsmotor eller med en förbränningsmotor som släpper ut mindre än 1 g CO₂/kWh.

Studiens mål är att visa på kostnadsstrukturer, d.v.s. var kostnader för (implementering) och risker för olika fossilfria framdrivningstekniker för tunga långväga godstransporterna på väg hamnar. Ett mål är också att visa på hur kostnader skiljer sig för de olika alternativen mellan de två tidsperspektiven, 2030–2045.

Följande fem huvudkategorier av alternativ för tunga långväga lastbilar inkluderas: biobränslen (flytande och gasformiga), batterielektriska fordon (BEV), bränsleceller, elektrobränslen samt elvägar.

Fyra huvudkategorier av aktörer som kostnader och risker fördelar sig mellan beaktas i projektet fordonsägare/användare (åkerier, speditörer som genomför godstransporter med tunga lastbilar); producenter och distributörer av energibärare; fordonsproducenter (tillverkare av tunga lastbilar); privata och offentliga aktörer som investerar i transportinfrastrukturen och förvaltar den.

Projektet avser besvara följande huvudfrågor:

- Hur skiljer sig kostnaderna mellan olika förnybara alternativ för tunga långväga lastbils-transporter, samt hur fördelas dessa kostnader mellan olika kostnadsposter och aktörer?
- Hur skiljer sig ekonomiska risker för olika aktörer för de olika alternativen till följd av kostnadsfördelningen?

Syftet är att studien skall kunna användas som underlag för politiker och beslutsfattare och visa var investeringar och styrmedel kan behövas för att system med stor potential att minska växthusgasutsläpp skall kunna implementeras.

1.2 BAKGRUND

Utsläppen av växthusgaser från inrikes transporter i Sverige har mellan år 2010 och 2018 sjunkit med 18,9 %. Under samma tidsperiod utsläppen av växthusgaser från de tunga lastbilarna minskat med 28,5 %, detta framför allt genom en ökad användning av biodrivmedel (Takman m.fl., 2020). För att transportsektorn ska nå uppsatta klimatmål behöver dock växthusgasutsläppen minska i en snabbare takt framöver. Den absolut största andelen av biodrivmedel som används på den svenska marknaden utgörs av HVO (Energimyndigheten, 2020a). Under de senaste åren har Sverige använt sig av en stor andel av den HVO-diesel som finns tillgänglig på den europeiska marknaden och tillgången på HVO från hållbara råvaror är begränsad (Energimyndigheten, 2018).

För att minska utsläppen av växthusgaser från transporter finns flera sätt: att öka energieffektiviteten i transporten (effektivare fordon, modala skiften etc.), att byta bränslen/drivlina (till t.ex. biobränslen, elektrobränslen, elektricitet eller bränsleceller), eller att minska behovet av transporter. I denna studie är det främst möjligheten att byta till alternativa drivmedel/drivlinor som analyseras. Hänsyn tas dock till en förväntad energieffektivisering (effektivare fordon; däck, motorer etc.) för samtliga tekniker.

I den svenska långsiktsprognozen för utvecklingen av fordonsflottan ses inte elektrifiering av tunga lastbilar som trolig i någon större utsträckning till 2030, inte heller ses bränsleceller som en teknik i större omfattning (Trafikanalys, 2017). Enligt Trafikanalys (2018a) menar dock en del experter att takten i elektrifieringen underskattas. I underlagsrapporten (Lindblom, 2020a) till regeringsuppdraget kring scenarier för att nå klimatmålet för inrikes transporter (Hammarlund m.fl., 2020) görs en

uppskattning av energieffektiviseringspotentialen för de tunga lastbilarna till 2030 samt till 2040. En uppskattning av hur stor andel av lastbilarna som kan förväntas elektrifieras ingår, och med dagens beslutade styrmedel förväntas fjärrlastbilar inte att elektrifieras alls vare sig i tidsperspektivet till 2030 eller 2050, se sammanställning i Tabell 1.

Tabell 1. Uppskattad energieffektivisering av tunga fordon (fordonspark) i Sverige. Procentuell reduktion jämfört med år 2017. Källa: Johansson m.fl. (2020).²

	Energieffektivisering i % jämfört med år 2017					
	Med beslutade styrmedel			Med starkare (ytterligare) styrmedel		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Fjärrlastbil och landsvägsbuss	18	35	35	18	39	41
Fjärrlastbil och landsvägsbuss exkl. eldrift	18	35	35		35	35
<i>Andel eldrift av trafik med fjärrlastbil och landsvägsbuss</i>	0	0	0	2	19	35
Stadsbuss	43	53	54	53	59	59
<i>Andel eldrift av trafik med stadsbuss</i>	65	70	74	85	100	100
Distributionslastbil	25	52	56	40	59	63
<i>Andel eldrift av trafik med distributionslastbil</i>	15	60	74	50	85	100
	Övrig effektivisering (sparsam körning, lägre hastigheter, lätt-rullande vägbeläggning och vägutformning)					
Tunga fordon	0	0	0	10	10	10

² I siffrorna som redovisas i tabellen för de tunga lastbilarna (fjärrlastbil) tas hänsyn till effektivare motorer, hybridisering, elektrifiering och minskat färdmotstånd genom lägre rullmotstånd och förbättrad aerodynamik på hytt, påbyggnad och trailer. Notera att tabellen gäller för fordonsflotta (inklusive gamla fordon). Siffrorna ger dock ingen information kring hur den framtida fordonsflottan (fördelat på olika tekniker eller bränslen) ser ut.

2 METOD

Målet med studien är att ta reda på vilka kostnader och risker (främst kopplat till investeringar och löpande kostnader) som finns för olika fossilfria framdrivningstekniker för tunga lastbilar, samt hur dessa fördelar sig mellan olika aktörer. Studien har inkluderat nedanstående delar, som var och en beskrivs i mer detalj i efterföljande avsnitt:

- Identifiering av relevanta tekniker. Detta gjordes tillsammans med projektgrupp och presenterades också för referensgruppen. Utgångspunkten för litteraturstudien var en bruttolista med olika alternativa tekniker som skulle kunna ersätta dagens dieselanvändning. Denna bruttolista kortades något i det slutliga urvalet, då informationen för några tekniker/alternativ var låg, ofta i kombination med att den tekniska mognadsgraden idag är låg. De inkluderade teknikerna (inklusive de som fanns med på bruttolistan) presenteras i avsnitt 2.1.
- Kostnadsberäkningar för två typer av lastbilar motsvarande HGV40 och HGV60 har gjorts för tidsperspektivet till 2030 respektive 2045. Beräkningarna har gjorts i första hand i SEK/fkm men en jämförelse i SEK/tonkm görs också. Beräkningarna har gjorts för vad vi har valt att kalla en relativ mobilitetskostnad [SEK/fkm] som inkluderar kostnader för: investering i fordonet; service och reparation av fordonet, produktion av drivmedel, distribution av drivmedel, investeringar i infrastruktur för drivmedelsdistribution (mackar) samt för elvägar; kostnader för drivmedel (baserat på energibehov och drivmedelspriser). Mer detaljer kring metoden för kostnadsberäkningarna återfinns i avsnitt 2.2.
- Litteraturstudie med fokus på:
 - Kostnader för olika alternativa drivmedel och tekniker för tunga lastbilar. Syftet med denna del av litteraturstudien är att sammanställa data gällande kostnader för investering i fordon, service och reparationer av fordon, investering i infrastruktur, drift och underhåll av infrastruktur, drivmedelsproduktion och drivmedelsdistribution samt behov av drivmedel/energi för fordonens framdrift. Litteraturstudien har också täckt in tidigare studier som för tunga långväga lastbilstransporter har jämfört olika fossilfria lösningar kostnadsmässigt.
 - Vilken teknikmässig utveckling (energieffektivisering/bränsleförbrukning) som kan förväntas ske i de två olika tidsperspektiven för de olika framdrivningsalternativen.

Resultatet av litteraturstudien presenteras i kapitel 3 samt används i antagandena för beräkningar av kostnader och växthusgasprestanda (se kapitel 4 för beskrivning av indata och antaganden).

- Fördelning av kostnader och risker
 - Kostnadsfördelning. Ovanstående nämnda kostnadsberäkningar är gjorda så att bidraget från de olika delarna av den relativa mobilitetskostnaden är synlig. I resultatkapitlet presenteras hur de olika delarna av kostnaden jämför sig mellan de olika teknikerna och därmed går det att se hur viktiga olika delar är för olika tekniker.

- Riskfördelning. Riskfördelningen baseras dels på en kvalitativ sammanställning baserat på analysen om kostnadsfördelning och växthusgaser, dels på identifierade hinder och risker från litteraturgenomgången (ovan nämnda). En digital workshop hölls också i oktober 2020 där intresserade aktörer deltog. Vid workshopen inhämtades deltagarnas syn på hinder och risker med de olika framdrivningsalternativen med hjälp av ett digitalt omröstningsverktyg. Mer detaljer kring genomförandet av workshopen ges i avsnitt 2.4. Resultaten från workshopen har endast använts för att jämföra med de resultat som framkommit i kostnads- och växthusgasjämförelsen samt från litteraturstudien då de ansågs vara för litet urval och för osäker metod (för få frågor, kort betänketid och svårt att veta exakt vem som svarat) för att dra generella slutsatser från materialet.

2.1 INKLUDERADE FRAMDRIVNINGSTEKNIKER

I denna studie sammanställs kostnader, växthusgasutsläpp och risker för olika fossilfria framdrivningsalternativ för två olika typer av tunga lastbilar: HGV40 och HGV60. HGV40 är en tung lastbil med en tillåten bruttovikt om max 40 ton som används inom hela Europa. HGV60 är en lastbil med en bruttovikt om max 60 ton som endast är tillåten i ett fåtal europeiska länder, men som enligt Lindgren m.fl. (2021) står för den absoluta merparten av transportarbetet (drygt 75 %) och för hälften av energianvändningen för godstransporter som utförs av lastbilar i Sverige. Genom att välja både HGV60 och HGV40 så erhålls en god täckning av antalet tonkm på lastbil samtidigt som studien har internationellt relevans. Den litteratur som använts i denna studie för kostnadsuppskattningar har ofta inkluderat HGV40, medan värden för HGV60 har fått uppskattas genom att skala i förhållande till HGV40 för denna studie.

I denna studie ingår fem huvudkategorier av framdrivningsalternativ för tunga långväga lastbilar: biobränslen (flytande och gasformiga); batterielektriska fordon (BEV); vätgasdrivna bränslecellsfordon (H₂-FCEV); elektrobränslen och elvägsfordon. I respektive undergrupp finns flera olika alternativ både avseende drivlina och bränsle. I Tabell 2 anges de alternativ som inkluderats i studien.

Två alternativ som diskuterades tidigt i projektet har fallit bort på grund av bristande information kring kostnader och andra förutsättningar (exv. fordonens energibehov, bränsleeffektivitet etc.). Dessa två är: vätgas i förbränningsmotor samt ammoniak i förbränningsmotor. För dessa två finns mycket lite information tillgänglig i litteraturen när det gäller tunga långväga godstransporter på väg. Något mer finns beskrivet för sjöfarten, men tekniken är ännu i sin linda och inga färdiga fordon på marknaden.

För samtliga alternativ har vi fått välja ut några representativa tekniker, bränsleproduktionstekniker och råvaror då vi inte kunnat inkludera alla. För vätgas har vi t.ex. valt centraliserad produktion och distribution med lastbil. Det finns dock, precis som för biogas, fler tänkbara alternativ för både distribution och produktion. Både centraliserad produktion i stor skala och decentraliserad produktion vid tankstationen är alternativ som undersöks. Distribution kan även ske via pipeline. I denna studie inkluderas det mest utvecklade alternativet för vätgas; centraliserad produktion och distribution som komprimerad gas. En känslighetsanalys för både produktions- och distributionskostnader för vätgas täcker i visst mån kostnadsaspekterna för andra alternativ, men en mer detaljerad analys av andra vätgasdistributionsalternativ ingår inte i studien.

I denna rapport använder vi ordet fossilfri framdrivningsteknik. Med fossilfri avser vi en teknik som inte använder ett fossilt bränsle. Vi inkluderar dock en jämförelse av växthusgasutsläppen där bränslenas utsläpp i well-to-wheel perspektiv inkluderas, d.v.s. produktion distribution och användning i bränslet. Hela kedjan är inte helt fossilfri. Ett exempel är elen. I basfallet för våra beräkningar använder vi en emissionsfaktor för elen som skall motsvara en svensk elmix. Den emissionsfaktorn är låg, men el-mixen är inte fossilfri.

Tabell 2. Studiens inkluderade bränslen och framdrivningstekniker.

Framdrivnings-teknik	Bränsle med de produktionsprocesser och råvaror som inkluderats i studien	Beteckningar
Kompressions-tänd förbränningsmotor (ICE CI) samt hybrid mellan ICE CI och el-motor och batteri	Diesel (fossil), B7 (fossil) (uppfyller standard EN590 med inblandning av max 7 % FAME), DME (produceras via förgasning med virkesavfall som råvara eller som elektrobränsle), RME (produceras från raps), HVO (i kostnads- och växthusgasjämförelsen antas produktion från tallolja, men pris och växthusgasutsläpp är jämförbara med de för PFAD som råvara) och Fischer Tropsch-diesel (produceras via förgasning eller som elektrobränsle med efterföljande Fischer-Tropsch syntes). Produktion av elektrobränslen sker genom att först producera vätgas via elektrolys av vatten med hjälp av el och sedan kombinera vätgasen med koldioxid. I studien antas koldioxiden komma från förnybara källor (rökgaskällor från biobaserad industri eller atmosfären). RME kräver endast mindre anpassningar av ett konventionellt dieselfordons bränslesystem och HVO ingen eller marginella justeringar. Hybridfordonet använder B7(fossil) eller HVO, och el. Elmotorns batteri laddas av dieselmotorn och genom inbromsning av fordonet.	Diesel-ref, B7 (fossil), DME (förgasning) DME (elektro) RME HVO (tallolja) FT-diesel (förgasning) FT-diesel (elektro) B7-hyb (fossil) B7-hyb (HVO)
Kompressions-tänd förbränningsmotor i anpassade motorer (ICE CI)	ED95 (produceras från sockerarter eller via andra generationens produktion från cellulosa (i denna studie representerat av ett fall med halm som råvara), eller som elektrobränsle. Metanol producerad via förgasning, med virkesavfall som råvara eller som elektrobränsle. En mindre mängd diesel används för tändning i motorn för både ED95 och metanol.	ED95 (sockerrör) ED95 (halm) ED95 (elektro) Metanol (förgasning) Metanol (elektro)
Batteri-elektriskt fordon (BEV)	El från nätet, laddning antingen via depå eller via snabb-laddning. Stort respektive litet batteri, d.v.s. olika räckvidder.	BEV (stort batteri, depå) BEV (stort, snabbl.) BEV (litet, depå) BEV (litet, snabbl.)
Elväg-luft Elväg-induktion Elväg-skena	Elväg med luftledning, (konduktiv strömöverföring), med induktiv elöverföring eller med skena i eller på väg (konduktiv strömöverföring). Elvägen försörjs i samtliga fall via elnätet. Ett laddningsbart batteri gör det möjligt för fordonet att köra utanför elvägen. Batteriets storlek möjliggör en räckvidd om 250 km.	elväg-luft (250km) elväg-ind. (250km) elväg-skena (250km)
Bränslecells-fordon (FCEV)	Vätgas (vätgasen produceras genom elektrolys med hjälp av el och vatten).	H2-FCEV (elektrolys)
Kompressions-tänd förbränningsmotor HPDI (CI) dual fuel	LBG och LNG. Den förnybara gasen produceras genom rötning, förgasning eller som elektrobränsle. En liten mängd diesel används för tändning i motorn.	LNG HPDI (CI) LBG HPDI (CI) (rötning) LBG HPDI (CI) (förgasning) LBG HPDI (CI) (elektro)
Gnisttänd förbränningsmotor (ICE SI)	CBG, CNG, LBG samt LNG. Den förnybara gasen produceras genom rötning, förgasning eller som elektrobränsle.	CBG (SI) (rötning), CBG (SI) (förgasning.); CBG (SI) (elektro), CNG (SI) (fossil); LBG (SI) (rötning); LBG (SI) (förgasning.) LBG (SI) (elektro) LNG (SI) (fossil)
Gnisttänd förbränningsmotor (ICE SI) samt elmotor och batteri (hybrid)	LBG och el. Elmotorns batteri laddas av dieselmotorn och genom inbromsning av fordonet). Gasen produceras genom rötning.	LBG-hyb (SI) (rötning)

2.2 KOSTNADER

I denna studie sammanställs kostnader för de olika fossilfria framdrivningsteknikerna som rör investeringar och löpande kostnader. Intäkter är inte inkluderade.

2.2.1 Relativ mobilitetskostnad

I denna studie beräknas en kostnad som vi har valt att kalla relativ mobilitetskostnad för de olika teknikerna. Kostnaden beräknas i första hand i SEK per fordonskilometer (SEK/fkm), men jämförelse görs också då kostnaden beräknats i SEK per ton-kilometer. Den relativa mobilitetskostnaden skiljer sig från det vanligt förekommande måttet ”total ägandekostnad” (TCO) på så sätt att kostnader som antas vara samma för samtliga tekniker/fordon eller där skillnaden kan anses försumbar inte inkluderas. Kostnader som inte inkluderats omfattar lönekostnader, försäkringar och däck³. Samtliga kostnader har beräknats exklusive skatter och styrmedel. Relativ mobilitetskostnad beräknas i detta projekt enligt:

$$\text{Relativ mobilitetskostnad} = INV + SoR + (DpK + DdK) * Eb \quad \text{Ekvation (1)}$$

- INV = Annualiserade investeringskostnader för fordonet [SEK/fkm]
- SoR = Service och reparationer för fordonet [SEK/fkm]
- DpK = Drivmedelsproduktionskostnad [SEK/MWh]
- DdK = Drivmedelsdistributionskostnad [SEK/MWh]
- Eb = fordonets energibehov [MWh/fkm]

Investeringskostnader för fordonet (INV) baseras på en annualiserad kostnad som tar hänsyn till anskaffningsvärdet, restvärdet (i nuvärde), ekonomisk livslängd samt kalkylräntan.

$$INV = \frac{(\text{Nuvärde} - \text{Restvärde} * \text{Nuvärdesfaktor}) * \text{Annuitetsfaktor}}{\text{Årlig Körsträcka}} \quad \text{Ekvation (2)}$$

Nuvärdesfaktorn och annuitetsfaktorn beräknas enligt följande:

$$\text{Nuvärdesfaktor} = \frac{1}{(1 + \text{Kalkylränta})^{\text{Ekonomisk livslängd}}} \quad \text{Ekvation (3)}$$

$$\text{Annuitetsfaktor} = \frac{\text{Kalkylränta}}{(1 - (1 + \text{Kalkylränta})^{-\text{Ekonomisk livslängd}})} \quad \text{Ekvation (4)}$$

³ När det gäller kostnader för däck så indikerar studier för personbilar (Timmers och Achten, 2016) att slitaget är högre för elektriska fordon jämfört med konventionella fordon, främst beroende på högre vikt. För de lastbilar vi har räknat på här utgör dock extravikten för BEV fordonen mindre än 5 % jämfört med den extravikt om 24 % som ansatts för personbilar.

Service och reparationer (*SoR*) inkluderar till exempel förbrukning av smörjmedel, reparationer och byte av reservdelar under fordonets användning, omräknade till en årlig kostnad per fordonskilometer. Personalkostnader (lastbilschaufför), däck och försäkringskostnader är inte inkluderade i den relativa mobilitetskostnaden. Personalkostnaderna har antagits vara desamma för samtliga alternativ då de olika teknikerna i de utförande som analyserats i denna studie inte påverkar själva användandet (körmönster, pauser etc.). För försäkringar har vi inte kunnat hitta data som visar hur kostnader skiljer sig mellan de olika teknikerna och vi har antagit att eventuella skillnader inte påverkar det totala utfallet. För däckskostnader finns vissa indikationer på att slitaget är högre för BEV för personbilar, främst beroende på högre fordonsvikt (Timmers och Achten, 2016), men i denna studie skiljer sig inte vikten åt mellan fordonen i samma utsträckning och därmed har dessa kostnader ej inkluderats.

Energikostnaden för fordonet är uppdelad i drivmedelsproduktionskostnad och drivmedelsdistributionskostnad. Drivmedelsproduktionskostnaden (*DpK*) inkluderar kostnad för investering i drivmedelsproduktionsanläggningen, råvaror och insatsmedel. Drivmedelsdistributionskostnaden (*DdK*) består av investeringskostnader i distributionsanläggning (tankstation), av kostnader för dess drift och underhåll, samt av kostnader för att transportera drivmedel från produktionsanläggning till distributionsanläggning (tankstation). I de elektrifierade fallen (BEV och elvägar) blir det i stället distributionskostnad för elen (elnätsavgift) samt investeringskostnad och drift och underhållskostnader för laddstationer respektive elväg.

I en konventionell *total ägandekostnad* för ett fordon inkluderas vanligtvis inte kostnader för infrastrukturkostnader för drivmedelsdistributionen explicit. Anledningen till att det görs här är att vi vill dela upp de drivmedelsrelaterade kostnaderna så att det blir tydligt vad som är produktionskostnader, infrastrukturkostnader respektive distributionskostnader. Ett annat sätt hade varit att använda priset vid tankstationen, där alla kostnader som drivmedelsleverantören haft är inkluderade.

Energibehovet (*Eb*) är den mängd drivmedel som lastbilen behöver per körd kilometer.

Genom att presentera den relativa mobilitetskostnaden så att de ovan nämnda delarna tydligt framgår kan vi också koppla kostnaderna till de fyra huvudkategorier av aktörer som beaktas i projektet: fordonsägare/användare (åkerier, speditörer som genomför godstransporter med tunga lastbilar); producenter och distributörer av energibärare; fordonsproducenter (tillverkare av tunga lastbilar); privata och offentliga aktörer som investerar i transportinfrastrukturen och förvaltar den.

Transportköpare är inte inkluderade som aktörsgrupp i denna studie. De är visserligen en viktig aktör i omställningen då deras krav och betalningsvilja kan påverka vilka tekniker som väljs. Dock är den ekonomiska analysen inriktad på kostnader (investeringar och löpande kostnader) och transportköparna berör främst intäkterna.

2.2.2 Fordonskostnader

Fordonens anskaffningskostnader är baserade på data och antaganden från ett flertal tidigare studier och beskrivs mer detaljerat i bilaga 4. De totala anskaffningskostnaderna har räknats ut genom att summera ihop fordonens olika komponentkostnader. Fordonens restvärde har räknats ut som en bestämd andel av de totala anskaffningskostnaderna exklusive batterikostnaderna. Fordonskostnaden per fordonskilometer har sedan räknats ut enligt ekvation (2) (se avsnitt 2.2.1). Uppgifter gällande

årlig körsträcka kommer från (Trafikverket, 2020a). Eftersom den tekniska utvecklingen går snabbt framåt för vissa tekniker har endast studier använts som publicerats från år 2017 och framåt. Kostnadsuppskattningarna har även stämts av med representanter från fordonsindustrin, och vid behov justerats enligt deras kommentarer⁴.

Kostnaden för service och reparationer av fordonen är oftast angett i förhållande till ett dieselfordon i tidigare litteratur. Drift och underhåll för ett dieselfordon är från början angett i kostnad per fordonskilometer, varpå inga speciella omräkningar behövs göras.

2.2.3 Infrastrukturinvesteringar

För olika tekniker behövs olika typer av infrastruktur. För en del tekniker är den infrastruktur som behövs för distribution enkel och har i stort sett samma kostnader som för diesel, t.ex. för de bränslen som är lika diesel (HVO, RME) medan det kan innebära lite större investeringar för andra, t.ex. drivmedel i gasform (CBG, LBG och vätgas) eller där det handlar om elektrifiering och laddinfrastruktur (snabbbladdning/depåladdning) eller elvägar. I detta avsnitt beskrivs hur infrastrukturkostnader är uppskattade.

Elvägar

Utbyggnaden av elvägar kräver inte enbart ny infrastruktur för själva elvägen utan kommer också att kräva utbyggnad och förstärkning av både elnät och elproduktion. Dessa kostnader är indirekt inkluderade i studien genom elnätsavgifter (antas rymma utbyggnad och förstärkning av elnät). De indikationer vi har fått från branschen är att de behov som spås för elnätet troligen inte kommer innebära ökade elnätskostnader jämfört med dagens nivåer. När det gäller elproduktionskostnader tar vi hänsyn till uppskattade framtida kostnader, som även innefattar ny elproduktion. Kostnadsuppskattningarna bygger på en elmarknadsmodell för Norden som bl.a. har använts som underlag i ett projekt om elektrobränslen (Bokinge m.fl., 2020).

När det gäller investeringar i ny infrastruktur så som elvägar har uppgifter om investeringskostnads storlek per vägkilometer inhämtats från litteraturen. Förutom kostnaden per vägsträcka spelar också längden på vägsträckan och antalet fordon som trafikerar vägsträckan (och som därmed kan vara med och bära kostnaden) in. Enligt Johansson m.fl. (2020) skulle en elektrifiering av 50–60 mil (av det statliga vägnätet) innebära att ca 2 % av lastbilstrafiken kan elektrifieras (på sikt så mycket som 15 % av lastbilstrafiken). Enligt Johansson m.fl. (2020) finns en tumregel om att ca 25 % av lastbilstrafiken går på 1 % av de mest trafikerade delarna av det statliga vägnätet och att ca 50 % går på 5 % av de mest trafikerade delarna av vägnätet). Eftersom inte all lastbilstrafik som kör på elektrifierade vägsträckor kommer att elektrifieras (på grund av att de inte kör hela sträckan på elväg) så räknar man med ett lägre genomslag. Johansson m.fl. (2020) gör en uppskattning om att om man skulle få 35 % av den tunga långväga lastbilstrafiken att gå på el krävs troligen en utbyggnad av elvägar på 5 % av vägnätet eller mer (motsvarar att ca 70 % av lastbilstrafiken som går på sträckan också utnyttjar den).

⁴ Kostnaderna har stämts av med de representanter från Volvo, Scania och EON som är involverade i detta projekt. Dessa representanter har inte angivit exakta kostnader, utan endast givit riktlinjer gällande rangordning av kostnader för de olika fordonsteknikerna.

I denna studie har tre olika scenarier/uppskattningar avseende längden på vägsträckan som byggs ut och antalet fordon som trafikerar och utnyttjar elvägen gjorts (baserat på Johansson m.fl., 2020):

- Liten utbyggnad: 550 km elväg byggs ut och detta elektrifierar 2 % av den tunga lastbilstrafiken
- Medelstor utbyggnad: 1 % (~985 km) byggs ut och elektrifierar 18 % av den tunga lastbilstrafiken
- Stor utbyggnad: 5 % (~4925 km) byggs ut och elektrifierar 35 % av den tunga lastbilstrafiken

Investeringskostnaden för elväg har annualiserats med hjälp av en annualiseringsfaktor på 0,047. Baserat på rekommendationen i ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020a) för infrastrukturinvesteringar har vi använt oss av en ränta om 3,5 % samt en livstid på investeringen om 40 år.

Baserat på Trafikanalys (2019a) samt Trafikanalys (2018b) uppskattar vi det totala trafikarbetet av tunga lastbilar på svenska vägar år 2019 till 4,625 miljarder fkm/år. Notera att den årliga annualiserade investeringskostnaden och underhållskostnaden har beräknats per fordonskilometer och då har antagandet varit att det endast är de tunga lastbilarna som är med och delar på kostnaden. För vissa av teknikerna, induktiv och möjligen skena i väg, skulle det också vara möjligt att andra fordon kan utnyttja elvägen.

Infrastruktur för drivmedelsdistribution, mackar/pumpar/laddstationer

För samtliga andra drivmedelsalternativ (utöver elvägar) utgörs investerings- samt drift- och underhållskostnaderna av själva tankstationen resp. laddstationen och kostnaderna för distribution av drivmedlen/elen. Eventuell konditionering av drivmedlen inför distribution, såsom t.ex. förvätskning av biogas för LBG som drivmedel, tillkommer i enskilda fall.

Antaganden för distributionen av de olika typer av drivmedlen har till stor utsträckning baserats på Pettersson m.fl. (2019) som har gjort en detaljerad sammanställning av olika distributionsalternativ inom ramen för en WtT- kostnadsstudie för skogsbaserade biodrivmedel. Både flytande drivmedel och komprimerad och flytande biogas ingår i den studien och uppskattningen för infrastrukturkostnader i nuvarande studie följer samma metodik. Den specifika kostnaden per energienhet drivmedel till tanken är sammansatt av tre delar:

- Kostnader för själva distribution av drivmedlet/elen
- De annualiserade investeringskostnader för tankstationen/laddstationen
- Drift- och underhållskostnader för tankstationen/laddstationen

För vätgas antas distribution av komprimerad gas (vid 200 bar) ske med lastbilsflak till tankstationen. För laddstolpar ingår både snabbbladdning (1,2 MW laddeffekt) och depåladdning (150 kW laddeffekt) i nuvarande studie, baserad på data från Kühnel m.fl. (2018).

Distributionskostnaderna för de olika drivmedlen är, framför allt för de alternativ där det inte finns en utbyggd infrastruktur, beroende av utnyttjandegraden av tank/laddinfrastrukturen. Detta gäller

framför allt vätgas och laddstationerna, men även biogas i viss mån. För el och vätgas har olika utnyttjandegrader antagits för tidsperspektivet 2030 respektive 2045. Utöver detta har det antagits en kostnadsreduktion baserad på lärandeeffekter vid storskalig utbyggnad för de alternativen som i dagsläget fortfarande är under utveckling. För detaljerna kring de olika antagande kring distributionskostnader, se kapitel 4.

För biodrivmedel och vätgasfordon är bränsleproduktionskostnaden kostnaden för att producera biobränslen, elektrobränslen respektive vätgas. För BEV och elvägsalternativen är det i stället el som är framdrivningskällan eller ”bränslet” och det blir produktionskostnaden för elen som motsvarar bränsleproduktionskostnaden. Produktionskostnader har uppskattats utan skatter och styrmedel (såsom t.ex. gödselgasstöd för biogasproduktion).

2.2.4 Drivmedelskostnader

För de elektriska drivlinorna, BEV och elvägar består drivmedelskostnaden av en elkostnad som baserats på uppskattningar av elproduktionspriset samt av nätkostnader som är olika stora för de olika alternativen. För BEV alternativen beror nätkostnaden av vilken typ av laddning (depå eller snabbbladdning) och för elvägar har vi antagit en kostnadsmodell för nätkostnaden som ser ut som den som används för järnvägen (Trafikverket, 2020b). De exakta antaganden och priserna återfinns i kapitel 4.5 *Produktionskostnader för drivmedel*.

Elektriska fordon för elväg kan utformas på olika sätt men behöver i samtliga fall ha ett alternativ till direktanvändning av elen för att även kunna köra utanför det elektrifierade vägnätet. I denna studie har vi inkluderat ett alternativ där fordonet har ett batteri som kan driva fordonet en viss sträcka utanför elvägsnätet. Drivmedelskostnaden för elvägsfordonen i denna studie utgörs därmed av el från elvägen, som både driver fordonet och som laddar batteriet.

Flytande och gasformiga drivmedel för förbränningsmotorer samt vätgas för bränsleceller

För detta alternativ finns flera olika råvarukällor (olika typer av biomassa och/eller el) samt produktionsprocesser (till exempel rötning eller termisk förgasning för CBG/LBG). Produktionskostnader har huvudsakligen hämtats från Furusjö och Lundgren (2017) för biodrivmedel och Brynolf m.fl. (2018) för elektrobränslen, som omfattar vätgas (till bränslecellsfordon) som produceras via elektrolys och olika kolbaserade elektrobränslen (till förbränningsmotorer) som kombinerar vätgas baserad på elektrolys med koldioxid i olika syntessteg. För biodrivmedelsalternativ med många alternativa råvaror har en genomsnittlig produktionskostnad tagits fram som anses vara representativ för alla råvaror. Detta gäller till exempel biogas från rötning där råvarusammansättningen har baserats substratsammansättningen för år 2019 i Sverige (Energimyndigheten, 2020b).

Drivmedelsförbrukning/energibehov

Drivmedelsbehovet för respektive fossilfria alternativ är baserat på uppskattningar presenterade i Röck m.fl. (2018). Några avvikelser från Röck m.fl. (2018) har gjorts, dessa avvikelser presenteras i kapitel 4.4. Värdena i Röck m.fl. (2018) anger bränsleförbrukning för 2016 och för 2025. För att få uppskattningar för åren 2030 och 2045 har vi gjort antaganden om energieffektivisering från år 2025 till 2030 respektive mellan 2030 och 2045. Dessa antaganden redovisas också i kapitel 4.4.

2.3 JÄMFÖRELSE VÄXTHUSGASPRESTANDA

Den generella växthusgasjämförelsen i studien inkluderar bränslerelaterade utsläpp (i WtW-perspektiv), utsläpp relaterade till batteriproduktion (för de elektriska drivlinorna) samt utsläpp relaterade till infrastrukturen för elvägarna. Jämförelsen mellan de olika teknikerna görs i g CO_{2e}/fkm. Med bra växthusgasprestanda avses låga utsläpp av växthusgaser och med en dålig eller sämre växthusgasprestanda avses höga utsläpp av växthusgaser.

Växthusgasjämförelsen i denna studie är inte gjord som en konventionell livscykelanalys (LCA) då inte alla komponenter är inkluderade. Drivmedlet/energin som krävs för framdrivning av fordonet är inräknad, men inte själva fordonsproduktionen. För elvägar är merutsläppen för infrastrukturen inkluderad, men så är inte fallet för annan infrastruktur, t.ex. vätgasdistributionsinfrastruktur eller annan distributionsinfrastruktur för nya bränslen eller el för den delen. Vi har inte heller inkluderat utsläpp förknippat med anläggning av nya anläggningar för bränsleproduktion. Många LCA:er visar dock att detta utgör en liten eller obetydlig andel av bränslets totala klimatpåverkan. Vi har inkluderat batteriproduktion för samtliga tekniker som har ett batteri, men inte räknat in motorproduktion (varken förbränningsmotorer eller elmotorer) och inte heller bränsleceller eller bränsletankar. Vi ser ett behov av mer fullständiga LCA:er för jämförelse men tror att vi har fått med de viktigaste komponenterna för jämförelsen.

En jämförelse mellan BEV och bränslecellsfordon (personbilar) av Sternberger m.fl., (2019) visar att produktionen av vätgastanken utgör en stor del av växthusgasutsläppen jämfört med själva bränsle-cellspaketet. Dock vid överslagsberäkning för prestandan för fordonen inkluderade i denna studie så ser det inte ut att påverka resultaten nämnvärt.

I denna studie görs också en känslighetsanalys som inkluderar växthusgasprestandans betydelse i jämförelsen för med de relativa mobilitetskostnaderna. Som en särskild jämförelse inkluderas en CO_{2e}-kostnad baserat på CO_{2e}-utsläpp relaterade till bränslet i ett WtW perspektiv, d.v.s. produktionen av bränslet, till viss del distributionen av bränslet samt användningen av bränslet. Detta visar på ett enkelt sätt hur den relativa mobilitetskostnaden för de olika teknikerna påverkas av att man internaliserar de externa effekter som växthusgasutsläppen från fordonens energianvändning innebär. Dock blir en sådan jämförelse inte helt rättvis då det för en del av teknikerna finns betydande utsläpp som inte kommer med, till exempel batteritillverkningen för alla eldrivna fordon. Särskilt stor betydelse har det för de fordon som har batterier med stor kapacitet.

CO_{2e}-emissioner till följd av förbränning av bränsle med biogent ursprung räknas som noll.

De emissionsfaktorer som använts i beräkningarna för respektive bränsle presenteras i bilaga 5.

2.4 HINDER OCH RISKER

Denna studie inkluderar också analys av hur riskfördelningen kopplat till investeringsbehov för de olika teknikerna för fossilfrihet ser ut, samt sammanställning av hinder som på olika sätt påverkar implementeringen och/eller marknadsspridningen av dessa alternativ. Med hinder avser vi direkta hinder som på olika sätt påverkar möjligheterna för en specifik fossilfri teknik att idag eller på sikt ersätta dagens fossila alternativ. Hinder kan vara avsaknad av infrastruktur (som t.ex. i fallet för elvägar), eller höga kostnader (t.ex. hög anskaffningskostnad av fordonen). Risker är också hinder, men innehåller en form av osäkerhet. En risk kan t.ex. vara konkurrens om en specifik råvara och

osäkerheten om framtida tillgång på råvaran. Risker kan också ha att göra med osäkerhet om vilka styrmedel som kommer att gälla om några år, samt hur dessa gynnar eller missgynnar den specifika tekniken. När vi i denna studie talar om hinder syftar vi således på de direkta hinder som finns, medan vi med risker (som också är ett hinder) syftar på sådant som innehåller en större osäkerhet.

Hinder och risker som finns för de olika fossilfria teknikalternativen har i detta projekt i huvudsak identifierats på tre olika sätt:

- Baserat på arbetet med att ta fram data och resultat gällande kostnader och växthusgasutsläpp.
- Sammanställning av tidigare litteratur.
- Workshop med relevanta aktörer.

Sammanställningen av tidigare litteratur baseras på både rapporter och vetenskapliga artiklar och presenteras i kapitel 3.

Metoden för workshopen nedan. Resultaten av workshopen presenteras kortfattat i avsnitt 5.4.9 och mer detaljer återfinns i Bilaga 3.

Resultaten från analysen av de relativa mobilitetskostnaderna och växthusgasprestandan tydliggör inte bara kostnader, investeringsbehov och växthusgasutsläpp, utan även olika hinder och risker samt för- och nackdelar för de olika teknikerna. Kostnadsfördelningen blir således även en del av riskfördelningen.

I projektet görs en kvalitativ sammanställning av riskfördelningen baserat på analysen av kostnader och växthusgaser tillsammans med identifierade hinder för de inkluderade teknikerna genom litteraturstudier och en workshop. Riskfördelning mellan olika aktörer illustreras av en sammanställning där risker kopplade till de olika leden i värdekedjan (kolumnrubriker i Tabell 3) klassas i olika risknivåer. Klassningen bidrar till en kvalitativ riskfördelning och risknivåerna skall ses som relativa inom varje drivmedelsalternativ och inte som absoluta eller för jämförelse mellan olika alternativ. Sammanställningen av riskfördelningen redovisas i kapitel 5.4.

Tabell 3. Aktörer i de olika leden för värdekedjan för de fossilfria transportlösningarna.

Energikälla /Råvara	Omvandling	Distribution	Infrastruktur	Fordonsproduktion	Fordonsdrift
Råvaruproducenter	Energibärande producenter	Energibärande distributörer	Privata och offentliga aktörer som investerar i transport-infrastruktur ^a	Fordons-tillverkare	Fordonsägare

^a Exempel på transportinfrastruktur: Vägar och väganläggningar, laddinfrastruktur samt tankstationer.

Workshop om hinder och risker för fossilfria teknikalternativ

Inom projektet anordnades det under hösten 2020 en digital workshop med relevanta och intresserade aktörer för att diskutera hinder och risker med de olika teknikalternativen. De deltagande aktörerna inkluderade representanter för: råvaruproducenter, drivmedelsproducenter, drivmedelsdistributörer, fordonstillverkare, fordonsägare, transporttjänsteföretag, myndigheter och forskare.

Workshopen genomfördes online via verktyget Teams och med det digitala omröstnings- och presentationsverktyget Mentimeter⁵ som stöd för interaktionen med deltagarna.

Workshopen inleddes med ett antal presentationer från olika aktörer i transportvärdekedjan samt forskare inom området. Därefter ställdes ett antal öppna frågor till deltagarna kring vilka hinder och risker respektive synergier de anser vara mest avgörande för de olika teknikspåren. Frågorna ställdes via Mentimeter, där deltagarna kan logga in via dator eller mobil och i realtid svara på frågor, antingen flervalfrågor eller genom frisvar. Utöver detta fanns möjlighet för diskussion och frågor via chatverktyget i Teams, samt via handuppräkningsfunktionen. Resultaten av dessa inspel och de efterföljande diskussionerna sammanfattas kvalitativt i bilaga 3.

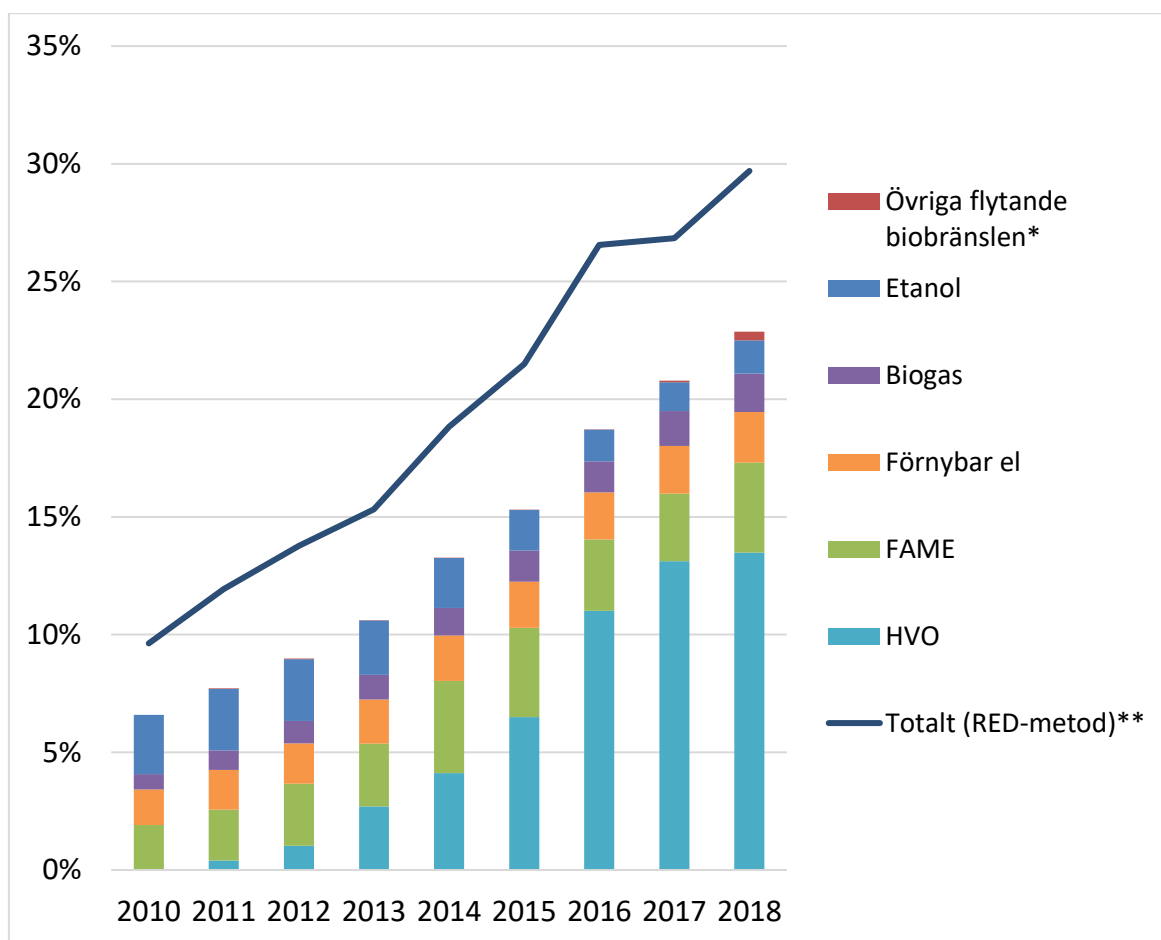
Metodiken för workshopen möjliggör inte en kvantitativ utvärdering, då det är svårt att veta vilka som har svarat på vilka frågor och urvalet var begränsat. Sammanställningen av svaren från frågorna ställda via Mentimeter ger dock en bra bild av synen på de olika teknikspår från insatta aktörer inom området. Det möjliggör även att sätta denna studies resultat i förhållande till workshopdeltagarnas syn på hinder och risker och att identifiera likheter och skillnader.

⁵ Mentimeter är ett digitalt omröstnings- och presentationsverktyg som används för att skapa interaktion med deltagare vid exempelvis presentationer eller föreläsningar.

3 KUNSKAPSLÄGE OCH NUVARANDE ANVÄNDNING AV FRAMDRIVNINGSTEKNIKER

3.1 BESKRIVNING AV NULÄGE FÖR DE FOSSILFRIA FRAMDRIVNINGSTEKNIKERNAS

I Sverige utgjordes 23,9 % av hela transportsektorns energi av förnybara drivmedel år 2018 vilket kan ses i Figur 1 (Energimyndigheten, 2020a). Enligt förnybarhetsdirektivets beräkningsmetod, där vissa råvaror (ex. olika typer av avfall) får dubbelräknas, var denna andel ännu högre, 29,7 %. HVO representerar den högsta andelen på 13,5 % år 2018. Det finns ingen offentlig statistik över användandet av förnybara drivmedel för godstransporter på väg.

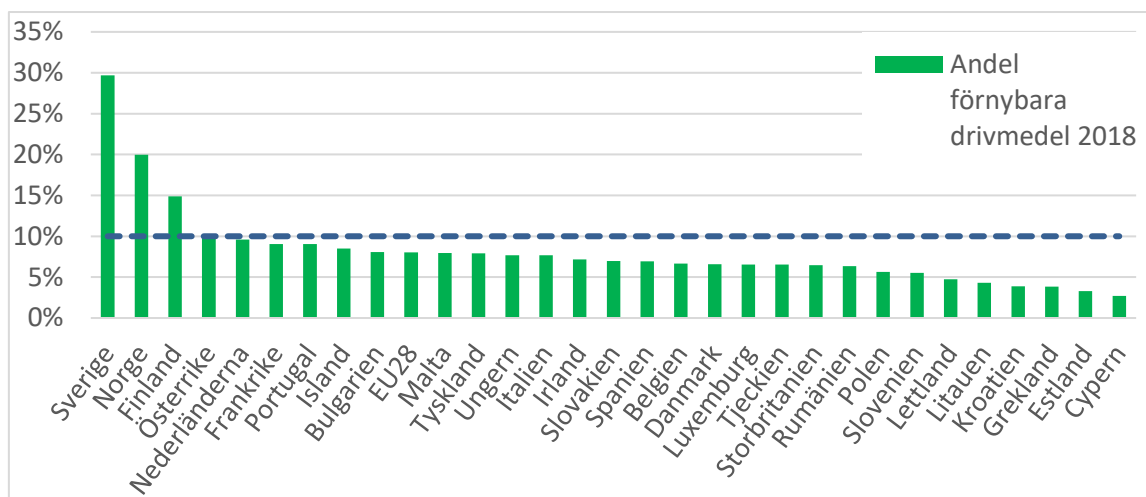


Figur 1 Andel förnybar energi i den svenska transportsektorn 2010-2018.

* Inkluderar BioETBE, biobensin, bionafta etc.

** Förnybara drivmedel i transportsektorn enligt Förnybarhetsdirektivets beräkningsmetod.

Jämfört med övriga länder i Europa hade den svenska transportsektorn en mycket högre andel förnybara drivmedel år 2018 vilket kan ses i Figur 2 (Eurostat, 2019).



Figur 2. Andelen förnybar energi i transportsektorn för europeiska länder år 2018 enligt förnybarhetsdirektivets beräkningsmetod.

Nedan följer en beskrivning av de fossilfria framdrivningstekniker som inkluderas i denna studie. För drivmedlen beskrivs tekniska aspekter och hur de används idag i Sverige. För de elektriska framdrivningsteknikerna BEV, elvägar och FCEV beskrivs tekniken kortfattat och generellt.

3.1.1 Flytande biodrivmedel

Ett flertal olika flytande biodrivmedel inkluderas i denna studie. Vissa av dessa drivmedel används redan i hög utsträckning i Sverige idag då de är kompatibla med dagens fordon och infrastruktur (tex. HVO, FAME och ED95). Andra kräver viss utveckling av fordon, infrastruktur och distribution för att de ska kunna användas i Sverige (t.ex. MeOH och DME). Nedan beskrivs kortfattat dessa drivmedel.

HVO

Hydrerade vegetabiliska oljor (HVO), som också går under namnet hydroprocessade estrar och fettsyror (HEFA), är det vanligaste förnybara drivmedlet i den svenska transportsektorn idag (i särskild klass det vanligaste i den svenska godstransportsektorn), men är ett relativt nytt drivmedel.

I grunden är HVO ett dieselbränsle framställt i en process där biooljor omvandlas via vätebehandling (hydrering) till ett bränsle med liknande sammansättning och egenskaper som traditionellt dieselbränsle (Drivkraft Sverige, 2020). I denna studie är kostnads- och växthusgasutsläpp relaterade till HVO baserat på HVO från tallolja, men de använda värdena är också giltiga för andra avfallsprodukter. HVO kan även framställas från många andra råvaror, vilket i huvudsak är fallet för den HVO som används i Sverige idag (Drivkraft Sverige, 2018a). HVO kan blandas med traditionellt dieselbränsle med vissa begränsningar då enstaka parametrar (framför allt densitet) inte kan uppfyllas vid hög andel HVO. I regelverket för fordon måste användning av varje specifikt bränsle certifieras för att säkerställa att avgaskraven efterlevs. HVO kan blandas med konventionell (petroleum-baserad) diesel i stor andel (över 50 %) och ändå uppfylla specifikationen på dieselbränsle. Därmed krävs ingen särskild certifiering. HVO kan också användas i ren form (100 %) i dieselmotorer, men detta måste godkännas av fordonstillverkaren, något som har skett i stor utsträckning. HVO innehåller i princip inga aromater eller svavel. Det som kan begränsa inblandningen i diesel kan vara köldegenskaperna samt densiteten. Den främsta fördelen med HVO är möjligheten att blanda det i

hög andel direkt in i konventionell diesel vilket gör att befintlig infrastruktur och fordon kan användas.

FAME/RME

Fettsyrametylester (FAME), även kallad biodiesel, kan produceras från en lång rad olika vegetabiliska oljor och biogena fetter. FAME kan blandas i konventionell diesel eller användas som rent bränsle, ofta kallat B100. För att ett fordon ska kunna köra på B100 krävs dock ett att fordonet har en motor som har ett godkännande från tillverkaren att köra på denna rena form av FAME (Drivkraft Sverige, 2018b). Nästan all FAME som används i Sverige är baserad på rapsolja som förstrats till rapsmetylester, RME.

Etanol (ED95)

Bioetanol är ett vanligt biobränsle för transport och kan produceras från många olika råvaror genom flera olika produktionsprocesser (f3 centre, 2015). Etanol kan produceras genom jäsning av socker- och stärkelsebaserad råvara. Avancerad bioetanol kan även produceras med metoder utvecklade för lignocellulosaresurser såsom restprodukter från skogs- och jordbrukssektorn och avfall. Utöver detta kan etanol produceras genom förgasning.

I denna studie inkluderas ED95 från sockerrör och från cellulosa (avancerad bioetanol). Dessa två alternativ valdes för att täcka hela spannet av kostnader och växthusgasprestanda för bioetanol. Det finns visserligen inhemska sockerbaserad råvara i form av sockerbetor. Kostnader och växthusgasprestanda för det alternativet ligger mellan de två valda spåren. Etanol kan blandas in i bensin och är därför ett viktigt biodrivmedel för att uppfylla reduktionsplikten. För tunga lastbilar kan ED95 (som består av 95 % etanol och resterande vatten samt funktionsförbättrande tillsatser) användas efter små modifikationer i förbränningsmotorn.

Dimetyleter (DME)

Dimetyleter (DME) kan framställas av kol, naturgas eller biomassa. DME är gasformigt under normala förhållanden och kan därför inte blandas med diesel (f3 centre, 2017a). BioDME kan produceras genom förgasning av biomassa; svartlutsförgasning för DME-produktion har demonstrerats i pilotskala. Några av fördelarna med DME är dess höga cetantal, låga oktantal och låga utsläpp av både NO_x och partiklar, jämfört med diesel. För att använda DME i konventionella CI motorer krävs andra bränsleförvarings- och insprutningssystem jämfört med motorer för flytande dieselbränslen. När DME används som bränsle görs det om till flytande form under tryck (ca 5 bar) vid normal temperatur.

Metanol (MeOH)

Metanol är den enklaste av alkoholer och produceras via syntesgas (som i huvudsak består av H₂ och CO), huvudsakligen från fossila råvaror som naturgas och kol, men även från förnybara råvaror (f3 centre, 2017b). Metanol kan användas i flera olika koncept som bränsle i förbränningsmotorer i tunga fordon, både i SI- och CI-motorer samt i bränsleceller (Schröder m.fl., 2020).

I denna studie inkluderas MD95 i ett koncept som liknar det för ED95, d.v.s. i en dual fuel-motor där en mindre mängd diesel används. Biometanol produceras av förnybara råvaror såsom biomassa,

jordbruksavfall, kommunalt fast avfall och andra lignocellulosa resurser som ett andra generationens eller avancerat biobränsle. Dock produceras biometanol i väldigt liten skala jämfört med fossilbaserad metanol. Metanol används inte som bränsle för tunga lastbilar i Sverige idag. Dock används det i Kina och utgör idag 7 % av Kinas totala bränsleförbrukning för transporter.

Fischer-Tropsch diesel (FT-diesel)

Fischer-Tropsch diesel (FT-diesel) kan framställas från både fossila och biogena råvaror via syngas från förgasning. Sammansättningen av det syntetiska drivmedlet kan anpassas genom att justera syntesprocessen och efter upparbetning kan FT-Diesel användas som ren dieselbränsle i fordon.

I denna studie har FT-Diesel från skogsflis och/eller grenar och toppar (GROT) inkluderats som drivmedel som kan användas som direkt alternativ till fossil diesel.

3.1.2 Gasformiga biodrivmedel (CBG och LBG)

Biogas produceras av bland annat organiskt hushålls- och industriavfall, gödsel, avloppsslam, restprodukter från jordbruk, energigrödor från jordbruksmark eller skogsråvaror (Börjesson m.fl., 2013). För en del av dessa råvaror innebär biogasproduktionen att man tar tillvara gas som annars hade läckt ut oförbränd och som därmed hade orsakat stor klimatpåverkan. Gasen kan framställas på två olika sätt, genom anaerob rötnings eller genom förgasning. I transportsyfte används gasen antingen i komprimerad form (CBG) eller som nedkyld förvätskad form (LBG). Fördelen med att förvätska gasen är att densiteten blir högre och det blir därmed mindre skrymmande att bära med sig mer energi, vilket förbättrar räckvidden. Biogasen har liknande egenskaper som fossil gas och kan användas i samma fordon och distribueras i samma distributionssystem till tankstationer, antingen via gasnät eller via transport (t.ex. lastbil) (Takman m.fl. 2018).

Under 2019 har både kapaciteten för produktion av förvätskad biogas samt antalet tankstationer för flytande fordonsgas i Sverige ökat. Enligt Hjort m.fl. (2019) fanns 2019 endast en förvätskningsanläggning för biogas i Sverige, i Lidköping, men numer finns även en anläggning i anslutning till Tekniska Verkens biogasproduktionsanläggning i Linköping. Ytterligare en är planerad i anslutning till Stora Enso's pappersbruk i Nymölla utanför Kristianstad. Enligt Energigas Sverige finns i dagsläget 19 tankstationer för LNG/LBG i Sverige och ytterligare utbyggnad pågår.

Hjort m.fl. (2019) gör en utblick utanför Sveriges gränser och beskriver befintlig och planerad produktionskapacitet för LBG i våra nordiska grannländer, där det idag redan finns kapacitet i Finland och Norge, medan den är planerad i Danmark (som har en stor biogasproduktion). Totalt sett i Europa anger Hjort m.fl. (2019) att det finns ca 200 tankstationer för flytande fordonsgas varav flest i Italien, Spanien, Frankrike och Nederländerna. Det finns betydande planerad produktionskapacitet för LBG i Tyskland och Storbritannien.

3.1.3 Vätgas och elektrobränslen

Elektrobränslen (även kallat e-bränslen, eller power-to-X) är syntetiska bränslen som produceras genom att kombinera vätgas med CO₂. De är kemiskt identiska med de fossila alternativen och kan användas som direkt ersättning. Vätgasen, som kan både vara själva bränsleprodukten eller råvara till elektrobränslesyntes, produceras genom elektrolys av vatten med hjälp av förnybar el (elen be-

höver vara förnybar om elektrobränslet skall kunna anses vara fossilfritt). Tre tekniker för elektrolys med olika mognadsgrad används i dagsläget: alkalisk elektrolys, elektrolys i protonutbytesmembran (PEM) och högttemperaturelektrolys (SOEC). Koldioxiden kan komma antingen från en koncentrerad källa, t.ex. rökgaser från en industri, eller från luften genom direktinfångning (direct air capture, DAC).

Elektrobränslen går under många namn, till exempel e-bränslen, PtX (power to X), PtL (Power-to-liquid), PtG (power-to-gas) eller helt enkelt syntetiska bränslen. Produktspektrat är i princip samma som för förgasningsbaserade bränslen och det finns t.o.m. koncept på hybridprocesser där man kombinerar förgasningsbaserade och elektrobränslen.

Det produceras enbart försumbara mängder elektrobränslen på global nivå i dagsläget. CRIs e-Metanol anläggning på Island är största producent med en produktion på ca fem miljoner liter per år (Carbon Recycling International, 2021). I Sverige har företaget Liquid Wind annonserat planer på att ta i drift en e-Metanol anläggning i Örnsköldsvik år 2024 som ska producera 50 000 ton elektrobränsle.

Energiinsats och kostnader för elektrobränslen ligger på en betydlig högre nivå jämfört med motsvarande biobränslealternativ, kopplat till vätgasproduktionen, koldioxidinfångningen och bränslesyntesen (Heyne m.fl., 2019).

I denna studie inkluderas vätgas, e-metan, e-metanol/DME och e-FT-Diesel som drivmedelsalternativ till tunga lastbilar.

3.1.4 Bränslecellsfordon (FCEV)

Bränslecellsfordon (Fuel Cell Electric Vehicle - FCEV) är en typ av fordon där en bränslecell direkt omvandlar bränsle (t.ex. vätgas) till el och där fordonet drivs av en elektrisk motor. Dessa fordon har också ett mindre batteri (Sartini m.fl., 2017). Vätgasen är i detta fall fordonets bränsle som bärs i en vätgastank under tryck. En fördel med dessa fordon jämfört med t.ex. BEV-fordon är att det går snabbt att tanka fordonet med vätgas jämfört med den tid som krävs för att ladda batterier. Däremot är energieffektivitet ur ett well-to-tank-perspektiv betydligt sämre p.g.a. förlusterna i omvandlingen från el till vätgas i produktionsled och omvandlingen tillbaka till el i fordonet.

3.1.5 Batterifordon (BEV)

Batteridrivna elfordon har en elmotor och elen kommer från batterier som laddas, antingen via snabbaddning eller depå. Elfordon som drivs med hjälp av laddningsbara batterier är en växande trend främst för personbilar, men också för andra fordonstyper. För tunga, långväga lastbilar behöver batterierna idag vara stora för att räckvidden ska bli tillräckligt lång, vilket innebär ett visst avkall på lastvikten. Det finns dock indikationer på att detta i och med den snabba utvecklingen av batteriprestanda kommer att förändras (Sartini m.fl., 2017).

3.1.6 Elvägar

Elvägsfordon har precis som batterifordon en elmotor och ett batteri. Batterierna har dock en mycket mindre storlek än i batterifordonen då elvägsfordon i huvudsak drivs av el från en elväg och därmed laddar när de kör (Sartini m.fl., 2017). I nuläget pågår intensiv forskning, utveckling

och demonstration av elvägar världen över. Det är framför allt tre olika elvägstekniker som har studerats: induktiv överföring (elväg-ind), samt konduktiv överföring via antingen luftledning (elväg-luft) eller via skena i vägen (elväg-skena).

Konduktiv med luftledning och strömvtagare (elväg-luft)

Elväg-luft är en konduktiv elväg med luftledningar där fordonet får elen genom en strömvtagare som ansluter fordonet och de elektriska luftledningarna. Strömvtagaren är anpassningsbar för att kunna ansluta och koppla bort luftledningen under rörelse (Sartini m.fl., 2017). Denna teknik har testats i flera år och anses ha en hög teknisk mognad (Zhao m.fl., 2018). Tekniken finns bl.a. i Sandviken där den testas och demonstreras. Dessutom påminner tekniken om den som används för spårvagnar och elektrifierad järnväg, vilket gör att kunskap och erfarenhet redan finns från liknande applikationer (Sartini m.fl., 2017).

Konduktiv med skena i väg (elväg-skena)

I denna variant av konduktiv elväg läggs en skena ner i eller bultas fast på vägbanan, och fordonen har en kontakt undertill som kan sänkas ned för att få kontakt med vägen. Denna teknislösning testas i bl.a. Lund och utanför Arlanda och ska till skillnad från luftledningsalternativet vara tillgänglig inte enbart för stora fordon såsom lastbilar och bussar, utan även för personbilar. Det har påpekats i elvägsstudier att för att få upp lönsamheten på elvägarna så är det väldigt viktigt att så många fordon som möjligt kan nyttja vägen. Teknik bedöms dock vara på en lägre mognadsnivå än t.ex. luftledningsalternativet, och det finns en del frågetecken kring t.ex. underhåll av vägbanan då man direkt påverkar den genom att lägga ner eller på skenan i vägen (Nordin m.fl., 2020).

Induktiv (elväg-ind)

Denna teknik bygger på induktiv överföring av ström från väg till fordon genom elektromagnetiska fält, d.v.s. ingen direkt kontakt krävs för strömöverföringen. Själva spolen för elektricitet grävs ner ca 25 mm under asfalten och ansluts till elnätet. Magnetfältet omvandlas till el via det mottagande systemet i fordonet. En fördel med denna teknik är att den kan vara tillgänglig för personbilar och mindre fordon, inte bara lastbilar och bussar (Sartini m.fl., 2017). Tekniken anses dock vara av lägre teknisk mognad än Elväg-luft (Zhao m.fl., 2018), även om det finns ett flertal tester och demonstrationsprojekt, exempelvis på Gotland.

3.2 STYRMEDEL FÖR FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH GODSTRANSPORTER I SVERIGE

Det finns en rad olika styrmedel för transportsektorn som syftar till att ställa om från fossila drivmedel till alternativ med betydligt lägre utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar. En del styrmedel syftar till transportsektorn generellt, medan andra riktar sig specifikt mot tunga lastbilar. Tabell 4 listar svenska styrmedel och styrmedel på EU-nivå som berör förnybara drivmedel och de tunga godstransporterna på väg i Sverige.

Tabell 4. Styrmedel i Sverige och på EU-nivå som påverkar de tunga godstransporterna på väg i Sverige.

Styrmedel	Kostnader som påverkas	Aktörer som påverkas
Energi och koldioxidskatt för bränsle	Energikostnad (pris på drivmedel för kund)	Åkerier och transportköpare
Skattelättnad från energi- och koldioxidskatt för förnybara drivmedel	Energikostnad (pris på drivmedel för kund)	Åkerier och transportköpare
Reduktionsplikt	Energikostnad (pris på drivmedel för kund).	Bränsleleverantörer Åkerier och transportköpare
Premie för tunga lastbilar	Anskaffningskostnad fordon (pris på fordon för kund)	Åkerier och transportköpare
Klimatklivet	Energikostnad (produktion och distribution) Anskaffningskostnad fordon (pris på fordon för kund)	Drivmedelsproducenter Drivmedelsleverantörer Åkerier och transportköpare
Investeringsstöd för biogas	Energikostnad (produktion)	Biogasproducenter
CO ₂ -krav på tunga lastbilar	Fordonskostnader	Fordonstillverkare
Förnybarhetsdirektivet	Energikostnad (pris på drivmedel för kund)	Drivmedelsleverantörer
Direktiv om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen	Energikostnad (distribution)	Drivmedelsleverantörer Myndigheter Andra aktörer som investerar i infrastruktur
Direktiv om främjande av rena och energieffektiva vägtransportfordon		Myndigheter Fordonstillverkare
Energiskattedirektivet	Energikostnad (pris på drivmedel för kund)	Drivmedelsleverantörer
EU ETS	Energikostnad (priset på el kan påverkas)	Producenter och leverantörer av el

Energi och koldioxidskatt för bränslen

Energi- och koldioxidskatt tas idag ut för i stort sett alla bränslen som används för motordrift (Skatteverket, 2020). Idag (2021) ligger nivån på koldioxidskatten på 2,61 SEK/l för bensin MK1 och 2,26 SEK/l för diesel MK1 och energiskatten ligger på 4,10 SEK/l för bensin och 2,48 SEK/l för diesel (Drivkraft Sverige, 2021).

Skattelättnad från energi- och koldioxidskatt för förnybara drivmedel

Vissa biodrivmedel som säljs eller förbrukas som motorbränsle omfattas av skattelättnader från energi- och koldioxidskatten i Sverige sedan 2015. Avdragens storlek beror både på typ av biobränsle och inblandningsnivå. Låginblandade biodrivmedel i diesel eller bensin som HVO, RME/FAME och etanol omfattas inte längre av skattelättnaden efter att reduktionsplikten infördes år 2018 (dock har punktskatterna för diesel och bensin sänkts för att kompensera för detta). Däremot tillåts vissa höginblandade biodrivmedel såsom biogas göra 100 % avdrag från energi- och koldioxidskatten (Skatteverket, 2020). Skattelättnaden är godkänd av EU t.o.m. 2021 för de biodrivmedel som inte omfattas av reduktionsplikten (Regeringskansliet, 2020a) och till år 2030 för icke livsmedelsbaserad biogas (Regeringskansliet, 2020b). Situationen efter 2021 är idag oklar för alla biodrivmedel utom biogas.

Reduktionsplikt

Reduktionsplikten infördes 2018 och ställer krav på drivmedelsleverantörer att minska växthusgasutsläppen för bensin och diesel genom att blanda in förnybara drivmedel såsom HVO, RME/FAME, etanol eller ETBE. Reduktionsnivåerna år 2020 ligger på 4,2 % för bensin och på 21 % för diesel, men kommer succesivt höjas till och med 2030 (Energimyndigheten, 2020c). I arbetet med kontrollstationen för reduktionsplikten har Energimyndigheten tagit fram scenarier för olika drivlinors användning inom vägtransportsektorn (Energimyndigheten, 2019a). Hur stor andel av sektorn och hur snabbt elektrifieringen sker har stor betydelse för vilka åtgärder som behövs och vilka krav som behöver ställas på drivmedlen (reduktionskrav) för att nå uppsatta mål.

Premie för tunga lastbilar

I augusti 2020 beslutades att ett statligt stöd i form av en klimatpremie ska delas ut vid inköpstillfället av tunga lastbilar som drivs på el, gas och bioetanol samt arbetsmaskiner drivna på el (Regeringskansliet, 2020c).

Klimatklivet

Klimatklivet ger investeringsstöd till lokala och regionala åtgärder med syfte att minska växthusgasutsläpp, sprida ny teknik, förbättra hälsa och andra miljömål. Exempel på finansiering från Klimatklivet som påverkat de tunga transporterna på väg kan nämnas investeringar som syftat till att öka användningen av LBG, både genom tankstationer och omställning hos åkerier (Naturvårdsverket, 2018).

Investeringsstöd för biogas

Företag som bygger anläggningar för produktion och användning av gödselbaserad biogas kan få ett investeringsstöd. Stödet kan även fås av de som bygger uppgraderingsanläggningar eller anläggningar för att hantera rötresten. Stödet uppgår till max 40 % och kostnaderna måste vara minst 100 000 SEK (Jordbruksverket, 2020).

CO₂-krav för tunga lastbilar

EU har under 2019 beslutat införa emissionsstandards för att minska CO₂-utsläppen från långväga godstransporter på väg, något som Kanada, Kina, Japan och USA har gjort sedan tidigare. Regelverket (EU COM reg. 2019/1242, 2019) ställer krav på fordonstillverkare att medelvärde för utsläppen från nya tunga fordon ska minska med 15 % till 2025 och 30 % till 2030 jämfört med 2019, samt att minst 2 % av nybilsförsäljningen av tunga lastbilar ska vara noll- och lågemissionsfordon.

Regleringen om utsläppsstandards för tunga fordon (EU COM reg. 2019/1242, 2019) innehåller också en punkt om främjande av nollutsläppsfordon samt fordon med låga emissioner. Med noll-emissionsfordon avses fordon som inte släpper ut CO₂ vid användning (avgaser) och med lågemissionsfordon avses fordon som har utsläppsnivåer som är mindre än hälften av genomsnittet under 2019. För fordon inom dessa två kategorier kan fordonsproducenterna få superkrediter. Notera att det är fordon som är tyngre än 16 ton som inkluderas och att det finns en del undantag, så som bussar och t.ex. sopbilar.

Förnybarhetsdirektivet (Renewable Energy Directive II)

Enligt EU:s förnybarhetsdirektiv (Europaparlamentets och rådets direktiv 2018/2001/EU, 2018) skall 32 % av EU:s totala energianvändning utgöras av förnybar energi 2030. I direktivet ställs krav på drivmedelsleverantörer att uppnå en andel om 14 % förnybart inom transportsektorn senast år 2030 (EU Direktiv, 2018/2001/EU). För att drivmedlen skall räknas som förnybara måste de uppfylla ett antal hållbarhetskriterier. Till exempel måste de åstadkomma en viss reduktion av växthusgaser i ett livscykelperspektiv jämfört med en fossil referens (framräknat medelvärde av bensin och diesel). Värdet för den fossila referensen är fastställt till 94 g/MJ, och bränslen som produceras i anläggningar som togs i bruk före 5 oktober 2015 måste åstadkomma en reduktion om minst 50 % med bränslen som produceras i nyare anläggningar (som togs i bruk efter 5 oktober 2015) behöver åstadkomma en reduktion om minst 60 %. Från 1 januari 2021 gäller att bränslen i nya anläggningar behöver åstadkomma minst 65 % reduktion (delvis på grund av att man har höjt värdet på den fossila referensen från 83,8 g CO_{2e}/MJ). Det kommer också att krävas certifiering avseende risken för indirekt markanvändning (iLUC, indirect land use change). För drivmedel producerade baserat på råvaror som medför hög risk för iLUC vill man begränsa användningen och dessutom fasa ut den till 2030. I förnybarhetsdirektivet (RED II) finns också bindande krav för transportsektorns användande av avancerade biodrivmedel och andra biodrivmedel och biogas som producerats från särskilt listade råvaror, från förnybara flytande och gasformiga drivmedel av icke-biologiskt ursprung, från avfallsbaserade fossila bränslen och från förnybar el.

Enligt tidigare versioner av förnybarhetsdirektivet finns gemensamma och nationella mål för andelen förnybar energi generellt och för transportsektorn. Sveriges mål är att 49 % av energianvändningen skall komma från förnybara källor år 2020 samt att 10 % av energiförbrukningen inom transportsektorn skall vara förnyelsebar.

Direktiv om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen

Enligt EU-direktivet 2014/94/EU om utbyggnad av infrastruktur för alternativa bränslen (EU-Parlamentet, 2014) behöver medlemsländerna se till att bygga ut infrastrukturen för alternativa bränslen i Europa så att det finns en miniminivå på nätverk avseende olika drivmedel. De som specifikt nämns i direktivet är till exempel CNG och LNG som behöver finnas med 150 respektive 400 km mellanrum samt vätgas och el (dock anges ännu inga specifika avstånd).

Direktiv om främjande av rena och energieffektiva vägtransportfordon

EU-direktiv 2019/1161/EU säger att upphandlande myndigheter skall beakta energi- och miljöpåverkan under hela livscykeln, däribland energiförbrukning och koldioxidutsläpp, när de upphandlar vägtransportfordon i syfte att främja och stimulera marknaden för rena och energieffektiva fordon. Det finns minimimål vid upphandling för andelen rena⁶ tunga fordon av det totala antalet tunga fordon på medlemsstatsnivå. För Sverige är detta 10 % för perioden 2021–2025 samt 15 % för perioden 2026–2030.

⁶ Enligt direktivet bör rena tunga fordon definieras genom användning av alternativa bränslen enligt direktiv 2014/94 EU.

Energiskattedirektivet

Energiskattedirektivet bestämmer lägstanivåerna som medlemsländerna i EU ska ta ut för skatt på motorbränslen (som bensin, diesel, gas och el). Majoriteten av EU-länderna tar dock ut högre nivåer än de som bestäms enligt direktivet (Trafikanalys, 2019b). Direktivet tillåter medlemsländerna att sätta ner skatten på förnybara drivmedel, så länge det inte leder till att drivmedlet blir billigare än motsvarande fossilt drivmedel. Som nämns ovan undantas vissa biodrivmedel i Sverige från energi- och koldioxidskatt till och med 2021 (2030 för icke livsmedelsbaserad biogas).

EU:s utsläppshandelssystem (EU ETS)

EU:s handelssystem för utsläppsrätter inkluderar inte vägtransportsektorn, men det inkluderar elproduktion. Det betyder att i den omfattning som el används som drivkraft i vägtransportsektorn så inkluderas produktionen i handelssystemet, d.v.s. man får betala utsläppsrätter för de direkta utsläpp av CO₂ som elproduktionen genererar.

Övriga befintliga styrmedel

Andra styrmedel som visserligen är generella men som också påverkar de tunga transporterna är Drivmedelslagens krav om miljöinformation som säger att drivmedlens växthusgasintensitet måste anges vid pump (med möjlighet till ytterligare information på nätet) samt Pumplagen som säger att vid försäljningsställen som säljer mer än 1500 m³/år behöver också minst ett förnybart drivmedel tillhandahållas. För att räknas som förnybart måste drivmedlet innehålla minst 50 % biodrivmedel. Vanligast är att Pumplagen uppfylls med E85 eller HVO.

Styrmedel såsom Bonus-Malus och femårig skattebefrielse för nya fordon gäller inte för tunga lastbilar.

Styrmedel som planeras eller diskuteras

Det finns exempel på styrmedel som diskuteras eller planeras och som kan komma att påverka förnybara drivmedel i framtiden. Exempelvis kan miljözoner som förbjuder fordon med förbränningsmotorer på vissa platser påverka vissa förnybara drivmedel (Transportstyrelsen, 2020). Regeringen har också gett utredare i uppdrag att utreda om det nuvarande Eurovignettesystem som finns i Sverige (tidbaserad tull) kan ersättas av ett nytt miljöstyrande system (med uttag av skatt) för att bättre uppnå miljö- och klimatmål (Regeringen, 2020). Bl.a. undersöks möjligheten för ett avståndsbaserat skattesystem.

3.3 TIDIGARE SYSTEMSTUDIER AV FOSSILFRIA FRAMDRIVINGSTEKNIKER FÖR TUNGA LÅNGVÄGA TRANSPORTER PÅ VÄG

I detta avsnitt presenteras tidigare studier som analyserat olika alternativ att åstadkomma fossilfrihet och lägre utsläpp från de tunga långväga godstransporterna på väg. Fokus har varit på studier som analyserat kostnader, men studier av energieffektivitet, klimatpåverkan, hinder och risker inkluderas också delvis.

Systemstudier med flera inkluderade framdrivningstekniker och drivlinor

JEC:s⁷ tidigare rapporter från deras s.k. Well-to-wheels (WtW) study har inkluderat personbilar, men i den senaste uppdateringen, version 5, ingår tunga transporter och sammanställningar av energianvändning och växthusgasemissioner för framtida drivlinekonfigurationer i Europa idag och fram till 2030. Version 5 publicerades i september 2020 (Prussi m.fl. 2020). Dock har en Tank-to-Wheel-studie (TTW, Röck m.fl. 2018) varit publicerad sedan 2018, men i den ingår inte uppströms energiförbrukning. I Röck m.fl. (2018) ingår för den tyngre fordonstypen (motsvarande HGV40) ett stort antal olika bränslen, inklusive gasformiga och flytande biodrivmedel och flera olika drivlinor; olika förbränningsmotorer (CI, SI, dual fuel), BEV, elvägsfordon, H2-FCEV samt två olika hybrider (el-diesel samt el-LNG). Röck m.fl. (2018) gör en TTW-analys för tunga fordon och bestämmer energiförbrukningen och växthusgasutsläppen för de olika alternativen genom modellering i PHEM⁸. Resultaten visar att elvägsalternativen och batterifordonen samt bränslecellsfordonen har lägre energiförbrukning (MJ/tonkm) än samtliga övriga alternativ.

I Prussi m.fl. (2020) ingår WtW-emissioner och jämförelser av många olika kombinationer av drivlinor och bränslen. De kommer fram till följande slutsatser för de tunga fordonen (motsvarande HGV40):

- Dieselliknande alternativ (bio- och syntetisk diesel) i konventionella dieselmotorer (CI) ger betydande minskningar av växthusgasutsläppen (50–85 %) för fordonen med 2016 års förutsättningar.
- Hybridfordon (ICE) kan minska bränsle/energiförbrukningen med ca 7 % jämfört med konventionellt bränsle.
- HPDI (CI) motorer kan resultera i en energibesparing med så mycket som 20 % jämfört med en konventionell dieselmotor och medför en minskning av växthusgasutsläpp med 12 % jämfört med SI-motorer som använder samma bränsle.
- De elektriska fordonen (elvägsfordon; BEV; FCEV) förväntas förbättras avsevärt i tidsperspektivet 2025+.
- Av alla de undersökta kombinationerna för de tunga fordonen är det HVO (producerad från restströmmar) och användning av CBG (komprimerad biometan) i en SI-hybrid som ger den lägsta växthusgasintensiteten.

⁷ JEC (JRC – Eucar – Concawe) är ett långvarigt samarbete mellan EU-kommissionens Joint Research Centre (JRC), EUCAR (samarbetsorgan inom forskning och innovation för de största europeiska biltillverkarna) samt Concawe (som är den europeiska olje- och raffinaderisektorns forskningsorganisation inom miljö, hälsa och säkerhet) vars syfte är att utvärdera energianvändning och emissioner relaterade till motor- och fordonsteknologier, bränslekviteter och interaktioner dem emellan, koordinera gemensamma forskningsinsatser som genomförs för att utvärdera och jämföra den relativa prestandan för framtida vägtransporter och drivlinor.

⁸ PHEM, Passenger Car and Heavy Duty Emission Model, är en mikrosimuleringsmodell som utvecklats av TU Graz. Med PHEM beräknas emissioner och bränsleförbrukning från fordon för en detaljerad körsträcka.

Prussi m.fl. (2020) har inte inkluderat energianvändning eller CO_{2e}-emissioner till följd av produktion eller avfallshantering av själva fordonen och inte heller för infrastrukturen för drivmedelsdistributionen (mackar, elvägar etc.).

Kloo och Larsson (2019) analyserar i ett svenskt perspektiv olika fordonstekniker och drivmedel som kan erbjuda fossilfria alternativ för godstransporter på väg. Studien inkluderar elvägar, BEV, FCEV samt biodrivmedel.

De drar slutsatsen att biodrivmedel är det enklaste och snabbaste sättet att minska växthusgasutsläppen, men påpekar att tillgången på hållbara bioråvaror är begränsad och att det därför inte är lämpligt eller kanske möjligt att ersätta mer än en mindre andel av dagens globala användning av fossila drivmedel till transportsektorn med förnybara alternativ från biogena källor. Elektrobränslen skulle kunna komplettera eller ersätta biodrivmedlen på sikt men utvecklingen av elektrobränslen är osäker och starkt beroende av utvecklingen inom elsektorn (andelen förnybar el och variationer i tillgången och på den förnybara elen). Enligt Kloo och Larsson (2019) talar en hel del för att elektrifierade lastbilar kan ta betydande marknadsandelar i tidsperspektiven 2030 respektive 2045. De pekar dock på svårigheter att förutse fördelningen mellan fordon med förbränningsmotor drivna med biodrivmedel, batterier, bränsleceller, elvägar eller hybrider. Enligt Kloo och Larsson (2019) är nyckelfaktorn för samtliga alternativ infrastrukturen för energidistributionen. Lägst trösklar ser de för biobränslen, medan elvägar har den största tröskeln för energidistributionen i form av stora investeringar i infrastruktur.

Kloo och Larsson (2019) påpekar att för att åstadkomma byte av energibärare för de tunga transporterna i tidsperspektiven 2030 respektive 2045 behöver investeringar påbörjas relativt snart. De drar slutsatsen att ett väl utbyggt elvägssystem på stora transportstråk, i kombination med bränsleceller eller batterier, blir den mest energieffektiva lösningen för långväga transporter och kanske också den mest ekonomiska, på lång sikt.

I syfte att undersöka ett helt CO₂-fritt transportsystem (i WtW-perspektiv) i Tyskland, analyserar Kramer m.fl. (2018) mobilitetskostnader för system baserat till 100 % på el, vätgas respektive elektrobränslen för persontransporter och tunga transporter på väg. Med mobilitetskostnader avser Kramer m.fl. (2018) kostnader för bränsleproduktion, distribution, infrastruktur och fordon. Investeringarna för ökad elproduktion samt fordonsmerkostnader är de dominerande kostnaderna enligt denna studie. Elektrobränslen (särskilt DME och metan) ger enligt Kramer m.fl. (2018) de lägsta mobilitetskostnaderna och kan dessutom resultera i de lägsta investeringskostnaderna, men de har lägre energieffektivitet sett över hela kedjan (WtW). Investeringarna fördelar sig olika mellan aktörer för de olika förnybara alternativen. För H₂-FCEV-scenariot fördelar sig investeringskostnaderna mellan samtliga aktörer, medan investeringarna koncentreras mot infrastruktur för BEV samt mot elproduktion och drivmedelsproduktion för e-bränslen. Följande slutsatser dras av Kramer m.fl. (2018):

- Förnybar elproduktion måste byggas ut i stor utsträckning. En större acceptans för vindkraftparker krävs.
- Kostnader för de olika teknologierna behöver sjunka men framför allt definieras bättre för att kunna jämföras på ett bättre sätt.

- Vätgaslagring (flytande) är en dyr lösning som behöver effektiviseras vad gäller energi och kostnader.
- Bränsleproduktion måste effektiviseras genom t.ex. processintegration (värme) och/eller hybridlösningar som inkluderar biomassa.
- För syntetiska bränslen (e-bränslen) kan även CO₂ bli en begränsad resurs (i alla fall CO₂ från strömmar med hög koncentration). Effektivare avskiljning från luft kan därmed bli nödvändigt.
- Materialfrågor kan komma att bli viktiga för både batteribilar (litium, kobolt) och bränsleceller (platina).

Det tyska forskningsprojektet StratON syftar till att utvärdera strategier för omställning mot lägre växthusgasutsläpp i Tyskland (Kühnel m.fl., 2018). I studien undersöks kostnader och potential för växthusgasminskning för LNG, H₂-FCEV, BEV samt Elväg-luft med tidsperspektivet 2030. Resultatet tyder på att infrastrukturkostnader för elvägarna inte är så höga, men att de kan påverka kilometerkostnaden avsevärt för lastbilar. Kostnaden bör därför inte läggas på användarna eller fordonägarna direkt, utan i stället finansieras på annat sätt (t.ex. från vägtullarna för lastbilar på tyska motorvägar). Givet att investeringskostnaderna är begränsade bedömer Hacker m.fl. (2020) att det kommer att finnas utrymme att satsa på flera parallella utvecklingsspår för att undvika inlåsning på ett specifikt teknikspår. Batteridrift som har synergier med elvägar ser Hacker m.fl. (2020) som ett lovande komplement. I slutrapporten från samma projekt påpekas att elvägar har en hög potential för växthusgasminskningar som inte kan uppnås med t.ex. LNG (Hacker m.fl. 2020). Elvägar bedöms dessutom vara en kostnadseffektiv lösning med betydligt lägre kostnader än t.ex. elektrobränslealternativ ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. För en snabb omställning krävs ett tydligt ramverk från statlig sida där infrastrukturen byggs upp i rask takt och med tydliga milstolpar så att andra aktörer inom transportsektorn vågar satsa på tekniken. Internationellt samarbete är av stor vikt för att nyttja synergier och kostnadsbesparingar på lång sikt. Dock finns det enligt Hacker m.fl. (2020) ekonomiska drivkrafter för införandet enbart inom Tysklands vägnät för den tunga transportsektorn.

Zhao m.fl. (2018) undersöker nollemissionsalternativ för långväga godstransporter på väg i Kalifornien. Studien inkluderar tre teknikalternativ: elväg-luft, elväg-ind samt H₂-FCEV. Vätgasen antogs i studien produceras genom elektrolys. Studien svarar både på förutsättningar i ett kort tidsperspektiv och i ett längre tidsperspektiv (2030). En daglig körsträcka upp till 500 miles (800 km) och en årlig körsträcka om ca 104 000 miles (16 700 mil) antas i studien.

Resultaten pekar på att i ett kort och medellångt tidsperspektiv kräver samtliga tekniker stora initiala investeringar i infrastruktur som blir svåra att motivera då det till en början kommer vara få fordon som nyttjar den. Givet teknisk mognadsgrad, energieffektivitet och kapitalkostnad drar de slutsatsen att den bäst lämpade tekniken är lokala eller regionala kontaktledningssystem med strömvtagare där lastbilarna även har energiförsörjningsmöjligheter som möjliggör en viss körsträcka utanför kontaktledningssystemet. Det induktiva elvägsalternativet bedöms ha lägre teknisk mognadsgrad och större osäkerheter och efterlyser mer demonstrationsprojekt. Bränslecellslastbilar drivna med vätgas inklusive infrastruktur för produktion och distribution av vätgas kommer att gynnas av skalfördelar, men kommer att kräva stora tankstationer för vätgas som skulle kunna vara (men inte

nödvändigtvis) kompatibla med tankstationer för bränslecellsdrivna lätta fordon. Den initiala investeringskostnaden för H₂-FCEV uppskattas vara lägre än för elvägsalternativen, men kostnaden för att förse fordonen med vätgas kommer att vara högre, särskilt när vätgasen skall produceras via elektrolys.

FEV Consulting (2019) analyserar hur tunga lastbilar kan bidra till att minska växthusgasutsläpp till 2050 i Europa. Studien fokuserar på fyra tillvägagångssätt för att minska utsläppen: optimera användningen av fordonen, elektrifiering (inkluderar hybrid, batteri och bränsleceller), energieffektiviseringar av fordonen, samt användandet av förnybara drivmedel. Användandet av förnybara drivmedel och elektrifiering är de tillvägagångssätt som enligt studien har högst påverkan på CO₂-minskningar. Studien undersöker även olika kostnadsscenarier för 2025, 2035 och 2045. Bl.a. räknas total ägandekostnad (TCO) ut för batteridrivna fordon, bränsleceller, vätgas i förbränningsmotorer, CNG och LNG. CNG och LNG är de drivlinor som visar lägst kostnader över hela tidsperioden, även om kostnaderna för exempelvis bränsleceller med vätgas respektive vätgas i förbränningsmotorer förväntas minska kraftigt över tidsperioden.

Gnann m.fl. (2017) analyserar hur CO₂-utsläppen kan minska och jämför olika drivlinor för tunga fordon (över tillåten vikt på 40 ton) ur tre perspektiv: teknisk status, ekonomiska förutsättningar och miljö/klimat. Fem olika drivlinor jämförs under tyska förutsättningar år 2030: Diesel (som referens), LNG, FCEV, BEV och elväg-luft. Ur ett ekonomiskt perspektiv har batteridrivna fordon och elvägar lägst kostnad (inkluderar ej investeringar i infrastruktur) för längre distanser, LNG har liknande kostnad som diesel och bränsleceller den högsta kostnaden. Vad gäller teknisk status och möjlighet att implementera drivlinan på kort sikt ligger LNG bäst till. En kvalitativ diskussion om infrastrukturkostnader pekar på att LNG är dyrare än diesel, men att infrastruktur för eldrivna fordon är mycket dyrare än så. Vad gäller koldioxidutsläpp pekar resultaten mot att elvägar är det bästa alternativet följt av batterier. Gnann m.fl. (2017) kommer även fram till att den högre effektiviteten av att direkt använda el via elvägar gör att det krävs betydligt mindre nya anläggningar för elproduktion jämfört med vad som krävs för eldrivna fordon med bränsleceller. När de totala ägandekostnaderna jämförs kan båda alternativen vara bra på lång sikt men kräver stora infrastrukturinvesteringar.

Moultak m.fl. (2017) jämför olika el-lösningar (elvägar och BEV), bränsleceller, naturgas och dieselhybrider för tunga lastbilar vad gäller totala ägandekostnader och växthusgasutsläpp för Kina, Europa och USA. Studien sammanställer olika barriärer och möjligheter för alternativen. För att ställa om till en fossilfri transportsektor är det nödvändigt med el-lösningar för tunga lastbilar. Olika tekniker är lämpliga för olika segment, men enorma infrastrukturinvesteringar är nödvändiga. Enligt studien beräknas elvägar för tunga lastbilar vara kostnadseffektiva redan 2030.

Sartini m.fl. (2017) jämför kostnader för energi, infrastruktur och fordon för elväg-luft, elväg-skena, elväg-ind och H₂ FCEV jämfört med diesel för tunga lastbilar. De kommer fram till att skillnaden i fordonskostnader kommer att vara små mot slutet av tidsperioden 2017–2030 men att infrastrukturkostnaderna kommer att vara höga. När det gäller kostnadseffektiviteten för bränslen är beräkningarna starkt beroende av antaganden rörande framtida bränslepriser på diesel och el.

Kluschke m.fl. (2019) har gjort en litteraturgenomgång av ett tjugotal studier kring hur förnybara alternativ för tunga godstransporter på väg tar sig in på marknaden. I samtliga inkluderade studier

finns någon typ av referensscenario (som återspeglar t.ex. ett slags business-as-usual eller med nuvarande styrmedel) samt scenarier som skall representera minskade växthusgasutsläpp (klimat-scenarier). De flesta av studierna visar på en marknadsdiffusion av förnybara drivmedel i segmentet tunga fordon redan i referensscenarierna med upp till 30 % till 2050, vilket tyder på att förutsättningar för marknadsspridning finns redan idag. I klimatscenarierna visar samtliga studier att förnybara drivmedel dominerar med mer än 40 %. Utan ytterligare styrmedel kommer dock inte en tillräckligt omfattande omställning att ske och emissionsmålen kommer inte att nås. De flesta studier inkluderar varken infrastrukturkostnader eller påverkan på energisystemet, vilket indikerar att mer forskning behövs. Nuvarande studier ger inte heller en tydlig bild av vilken teknik som är mest konkurrenskraftig eftersom studierna inkluderar vissa tekniker men exkluderar andra.

Gilbert-d'Halluin och Harrison (2018) jämför olika nollemissionslösningar för tunga lastbilar på väg i Europa. Till följd av konkurrenskraftiga driftskostnader har BEV en konkurrenskraftig TCO redan efter fem år. Dock finns det utmaningar med höga investeringskostnader, behovet av att utveckla EU-gemensamma standarder för laddning, investeringskostnader för snabbbladdningsinfrastruktur, samt en ökande belastning på elnäten vissa tider på dygnet och i vissa specifika punkter. Utöver kostnaderna för ägarna behövs infrastrukturkostnader tas med i beräkningarna och bland dessa är kostnaderna högst för system med bränsleceller, tätt följt av system med batteridrivna lastbilar. Enligt deras beräkningar ger elvägar de lägsta infrastrukturkostnaderna av de tre nollemissionsalternativen (i tidsperspektivet till 2050, till 2030 är det också en skillnad, men den är mer otydlig).

Pettersson m.fl. (2019) har uppskattat WTW-kostnader för skogsbaserade värdekedjor med olika energibärare (olika biobränslen och el) för användning i olika segment av vägtrafiksektorn (personbil, distributionslastbil och långdistanslastbil) och jämfört dessa i svensk kontext med fossila alternativ. Följande alternativa energibärare inkluderas: SNG producerad via förgasning (metan) integrerat vid ett pappers- och massabruk; metanol producerad via svartlutsförgasning integrerat vid ett pappers- och massabruk; etanol producerad via hydrolys och fermentering, med biogas som biprodukt, integrerat med ett fjärrvärmesystem; förnybar diesel och bensin som producerats genom att först göra en bio-olja från lignin som extraherats från ett kemiskt pappers- och massabruk med efterföljande uppgradering vid ett oljeraffinaderi. Dessutom inkluderades el som producerats vid ett biobränsleeldat kraftvärmeverk med tillhörande fjärrvärmenät. I studien beräknas kostnadseffektiviteten för hela värdekedjan, inklusive produktion, distribution och användning och till en total ägandekostnad. Tidsperspektivet de använt är 2030, då de antar att dessa tekniker är tillgängliga på marknaden. Nuvarande energimarknadpriser används i beräkningarna men en omfattande känslighetsanalys avseende förändringar i energipriser är inkluderad. Pettersson m.fl. (2019) har räknat både med och utan styrmedel. Pettersson m.fl. (2019) drar slutsatsen att fordonskostnader bidrar med den största andelen till WtW kostnaden i samtliga transportsegment. Årlig körsträcka har stor inverkan på resultatet av kostnad per km. Elfordon blir mer fördelaktiga då man har längre körsträckor. För långdistanslastbilarna kommer de fram till att de största marginalerna finns för metanol och etanol.

Biodrivmedel (flytande och gasformiga)

I Alvfors m.fl. (2010) presenteras en multikriterieanalys för kommersiella fordon såsom lastbilar och bussar ur ett europeiskt perspektiv. I analysen utvärderas ett antal olika biodrivmedel med hänsyn tagen till klimatpåverkan, energieffektivitet, arealbehov, potential för drivmedelsproduktion,

nivån på de anpassningar som behöver göras på befintliga fordon för att kunna använda de nya alternativen, bränslekostnader, samt utbyggnadsbehov av drivmedelsdistributionssystem. Enligt analysen faller metanol och DME särskilt väl ut (d.v.s. de fick högt betyg i många fall). I en senare uppdatering av analysen inkluderades även el och HVO och även i den jämförelsen faller metanol och DME väl ut, men också el.

Furusjö och Lundgren (2017) har analyserat och beräknat produktionskostnader (SEK/l bensinekvivalent) för en rad befintliga och framtida biodrivmedel (flytande och gasformiga) samt uppskattat bränslenas respektive reduktionspotential i CO₂-ekvivalenter. Baserat på detta har sedan reduktionskostnader ur produktionsperspektiv (i SEK/kg CO₂) beräknats. Tidsperspektivet är 2030. Resultatet från studien pekar på att reduktionskostnaderna framför allt beror av vilken typ av råvara som används. De lägsta reduktionskostnaderna erhålls för biogas producerad genom rötning av avfall och sockerrörsbaserad etanol, medan biodrivmedel baserade på raps gav högst reduktionskostnader. För HVO erhöles ett stort reduktionskostnadsintervall eftersom bränslet produceras från flera olika typer av råvaror. Vidare anses nya så kallade avancerade biodrivmedel ha potential att nå lägre reduktionskostnader.

Elektrobränslen

Brynolf m.fl. (2018) har gjort en litteraturgenomgång och sammanställt uppskattade produktionskostnader för elektrobränslen. Deras resultat visar på ett enormt spann, och de viktigaste faktorerna för uppskattade kostnader är vilka antaganden man gjort kring teknisk mognad, installationskostnader och externa faktorer. I sin fördjupade analys kommer Brynolf m.fl. (2018) fram till att produktionskostnaderna för elektrobränslen 2015 ligger inom 200–280 EUR₂₀₁₅/MWh och att kostnaderna 2030 ligger inom spannet 160–210 EUR₂₀₁₅/MWh.

Bränslecellsfordon

Pohl m.fl. (2019) analyserar faktiska tillämpningar med fokus på laddbara bränslecellslastbilar, drivmedel och infrastruktur samt kördata från verklig fordonsanvändning. De applikationer som fokuseras på är främst distributionslastbilar (sopbilar och livsmedelsdistribution), men det finns en del intressanta slutsatser om kostnader för t.ex. vätgas och infrastruktur som kan vara applicerbar även för tunga långväga transporter på väg. Pohl m.fl. (2019) drar slutsatsen att kapaciteten i termer av lastförmåga respektive räckvidd är klart större för bränslecellsfordon än för batterifordon, vilket gör det lättare att använda fordon och personal effektivt, i synnerhet som tankning av vätgas går snabbt, varpå fordonet direkt blir redo för ett andra skift. Fordonskostnaden är större för batterifordon jämfört med bränslecellsfordon. Dock kan batterifordonen betala tillbaka denna högre kostnad eftersom driftskostnaden är lägre. En större investeringskostnad innebär dock en större risk. Pohl m.fl. (2019) har också analyserat fordon som både är laddbara från elnätet men som också har bränsleceller och kommer fram till att dessa fordon har lägst kostnader. De kan dimensioneras för att ge medeleffektbehov, vilket ger lägre driftskostnader än rena bränslecellsalternativ samtidigt som de har en flexibilitet då de kan köras antingen på vätgas eller el.

Batterifordon

Mareev m.fl. (2018) analyserar kostnader och batteridimensionering för batteridrivna elektriska tunga lastbilar i Tyskland och jämför ett antal scenarier. De drar slutsatsen att i genomsnitt begrän-

sas nyttolasten (payload) endast till 80 % av nyttolasten för en vanlig diesellastbil. Livscykelkostnaden i de analyserade scenarierna visar att även om man tar hänsyn till kostnaderna för laddinfrastruktur så kan batterielektriska lastbilar redan nu vara i kostnadsparitet med diesellastbilar i vissa scenarier, dock är detta mycket känsligt för batteriets livstid.

Elvägsfordon

Flera av de studier som tas upp under systemstudier i kapitel 3.3 inkluderar elvägar. Det finns dock ett antal studier som specifikt analyserar kostnader för elvägar i ett svenskt perspektiv, exempelvis Börjesson m.fl. (2020), Taljegard m.fl. (2019, 2017) samt Jussila Hammes, (2020).

Taljegard m.fl. (2019) analyserar storskalig implementering av elvägar i Norge och Sverige genom att identifiera: i) vilka vägar; ii) hur stor andel av vägnätet och iii) vilka fordonstyper som är lönsamma att elektrifiera baserat på en analys av nuvarande vägtrafikvolym, potentialen till CO₂-minskningar samt investeringskostnader för infrastruktur. I analysen inkluderar de alla Europavägar och nationella vägar i Sverige och Norge och antar olika grader av elektrifiering genom en viss andel av vägens längd med elväg. Vägar med hög trafikbelastning prioriteras. Resultaten visar att en implementering av elvägar för 25 % av Europavägarna och de nationella vägarna skulle resultera i elektrifiering av 70 % av trafiken på dessa vägar samt 35 % av de totala fordonskilometerna i Norge och Sverige. Elvägarna skulle i så fall förbinda de större städerna med elvägar. Att elektrifiera alla de inkluderade vägarna i Norge och Sverige skulle täcka mer än 60 % av CO₂-emissionerna från all tung trafik (givet antagandet att alla fordon då kör på elektricitet). Taljegard m.fl. (2019) kommer fram till att de lätta fordonen är viktiga för att reducera kostnaden för elvägsinfrastrukturen. Detta betyder att tekniska lösningar som kan utnyttjas både av små och stora fordon får betydligt lägre infrastrukturkostnader. Taljegard m.fl. (2019) anger att 10 % av Europavägar och riksvägar i Sverige motsvarar en sträcka om 162 mil. En elektrifiering av dessa 10 % motsvarar 27 % av utsläppen från tunga fordon.

Johansson m.fl. (2020) använder som tumregel att 25 % av lastbilstrafiken går på 1 % av de mest trafikerade delarna av det statliga vägnätet och ca 50 % på 5 % av de mest trafikerade delarna (vilket motsvarar ca 1000 mil). Eftersom det inte går att räkna med att alla lastbilar som kör på elvägen utnyttjar den skriver Johansson m.fl. (2020) att ca 5 % av vägnätet (eller något mer) skulle behöva elektrifieras på sikt (till 2050) för att 35 % av fjärr och regionaltrafiken med lastbilar ska kunna elektrifieras.

Mareev och Sauer (2018) analyserar energianvändning för elvägslastbilar (kontaktlednings) på tyska motorvägar och tar hänsyn till olika konfigurationer av dragbatteri och framdrivning med kontaktledningssystem. De drar slutsatsen att energiåtgången är ungefär lika stor vid framdrivning med hjälp av kontaktledningssystemet som med hjälp av dragbatteri men ungefär hälften så stor som vid konventionell dieseldrift. Mareev och Sauer (2018) gör också kostnadsberäkningar som visar att de totala livscykelkostnaderna för en kontaktledningslastbil är ungefär lika stor som för en konventionell diesellastbil.

Sammanfattning av systemstudierna

Av de studier som presenterats i detta kapitel under rubriken *Systemstudier med flera inkluderade framdrivningstekniker* går det att urskilja ett antal gemensamma slutsatser:

- Av de studier som inkluderar biodrivmedel pekar resultaten på att biobränslen är det snabbaste sättet att ställa om de tunga långväga lastbilstransporterna och att biodrivmedlen är nödvändiga för att uppnå mål till 2030.
- Flertalet studier hänvisar också till de olika systemens potential till energieffektivitet. Där är förutsättningarna olika. En elmotor har betydligt högre effektivitet än en förbränningsmotor. Kan man använda el direkt från elnätet, t.ex. genom elvägar eller laddning av batterier blir också effektiviteten högre jämfört med flytande bränsle och bränslecell. Alternativet med elektrobränslen ger lägst energieffektivitet då både bränsleproduktion och därefter förbränning i ICE har låg energieffektivitet
- Flertalet studier inkluderar alternativa fossila bränslen så som LNG och CNG och framhåller dem som alternativ med låg kostnad. I fordon och infrastruktur som är avsedd för LNG/CNG borde det vara enkelt att i stället eller dessutom introducera LBG/CBG. Produktionskostnaderna för LBG/CBG är dock högre än för LNG/CNG. Värt att notera är dock att (Furusjö and Lundgren, 2017) pekar på att biogas har den lägsta kostnaden per reducerad mängd CO₂.
- Flertalet studier tar upp elektrobränslen producerade på vätgas och CO₂ från olika källor, antingen restströmmar från olika verksamheter, eller genom direktinfångning från luften (DAC, direct air capture). Alternativen med elektrobränslen ger lägre energieffektivitet än elektrifierade alternativ, men är ett sätt att hitta annan källa till kolet i bränslena än biomassa som anses som en begränsad resurs.
- För flera alternativ hänvisar man till stora infrastrukturinvesteringar (elvägar, vätgasinfrastruktur, laddinfrastruktur, elnät, elproduktion samt annan bränsleproduktion), men ibland pekar slutsatserna åt olika håll.

4 INDATA OCH ANTAGANDEN FÖR BERÄKNINGAR

Indata för investeringskostnader samt service och reparationskostnader för fordon återfinns i bilaga 4. I bilaga 4 finns också en beskrivning av de olika stegen i distributionskedjan samt kostnadsantaganden för tank- och laddstationer samt indata för bränsleförbrukning för de olika framdrivningsalternativen. Indata för växthusgasjämförelsen presenteras i bilaga 5.

4.1 GENERELLA INDATA FÖR KOSTNADSBERÄKNINGAR

I grundfallet har data för HGV40 samlats in och kostnadsberäkningar genomförts. De flesta studier för tunga fordon har gjorts för en lastbil motsvarande HGV40. För att få fram kostnads och energiförbrukningsdata för HGV60 har vi i flera fall använt oss av skalfaktorer. I Samgods⁹ och ASEK anges beskrivning av de lastbilstyper som inkluderas enligt Tabell 5 och det är denna beskrivning som avses även i denna rapport. 40 respektive 60 indikerar alltså den övre gränsen för bruttovikten på fordonet.

Tabell 5. Beskrivning av de lastbilsklasser som används i ASEK och Samgods. Källa (Karlsson, 2019). Notera att beskrivningen är densamma i ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020a).

Fordonskod	Typ av lastbil	Bruttoviktsgränser[ton]	Maxlastvikt [ton]	Beskrivning
LGV3	Transportskåp	<3,5 ton	2	Lätt lastbil, bil med 2-axlar
MGV16	Lokaldistribution	3,5–16 ton	9	Tung 2-axlad lastbil utan släp
MGV24	Anläggning	16–24 ton	15	Tung 3-axlad lastbil utan släp
HGV40	Fjärrlastbil	25–40 ton	28	Tung lastbil med släp. Bil med 3-axlar och släp med 4 axlar
HGV60	Rundvirkestransport	40–60* ton	47	Tung lastbil med släp. Bil med 3 axlar och timmersläp med 4 axlar.

* Notera att det står i Samgods att vikten är 25-60 ton, men det är troligen ett skrivfel (Karlsson, 2019). Även i ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020a) står vikten som 25-60 ton.

I Röck m.fl. (2018) anges en maxlastvikt för HGV40 fordonet om ca 25 ton, men i beräkningarna av bränsleförbrukning används en representativ lastvikt om 14,29 ton, detta för att ta hänsyn till att maxlastvikten inte alltid utnyttjas och att det finns en del tomkörningar. Detta motsvarar en lastfaktor om 56 % vilket vi även har använt för HGV60 varav den representativa lastvikten är satt till 25,56 ton.

I Tabell 6 presenteras de antaganden som använts för ekonomiska parametrar i beräkningarna. Enligt ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020a) rekommenderas livslängden på en infrastrukturinvestering till 40 år, vilket vi använt även för elvägen. Det finns källor som indikerar att livslängden kan vara kortare än så, t.ex. Balieu m.fl. (2019) och Börjesson m.fl. (2020). Kortar man livslängden innebär det att infrastrukturkostnaderna stiger, något som vi också har inkluderat i känslighetsanalys.

⁹ Samgods är ett modellverktyg för systemstudier av svenska godstransporter på nationell nivå. Modellens syfte är att vara ett stöd för effektanalyser av olika policyåtgärder och styrmedel som skatter och avgifter för olika fordonsslag och förändringar i infrastrukturen. Trafikverket är ansvarig för modellen.

Tabell 6. Ekonomiska parametrar för kostnadsberäkning av olika typer av investeringar.

Typ av investering	Ekonomisk livslängd	Kalkylränta	Annuitetsfaktor	Nuvärdesfaktor (för restvärde vid ekonomisk livslängd)
Fordon/Lastbil	7	10 %	0,205	0,513
Tankstation/Laddstolpe	15	10 %	0,131	0,239
Elväg/elnät/infrastruktur	40	3,5%	0,047	0,253

4.2 FORDONSSPECIFIKATIONER

För fordonsspecifika data utgår denna studie, för HGV40 fordonen i huvudsak från Röck m.fl. (2018). Bränsleförbrukningsdata är hämtat från Röck m.fl. (2018) för de flesta fordon. Baserat på detta antas ett HGV40 fordon ha en motorstyrka om 325 kW. Även uppgifter om vikt på batteripack och drivlinekomponenter är baserade på data från Röck m.fl. (2018). Röck m.fl. (2018) inkluderar endast data för ett HGV40 fordon vilket innebär att vi har gjort kompletterande antaganden för HGV60.

I Tabell 8 anges räckvidd för de olika HGV40 fordonen som anges av Röck m.fl. (2018) för år 2025 samt de räckvidder som vi kommer fram till i denna studie för år 2030 och 2045 med de antaganden om energieffektivisering och förbättring i batterier som gjorts (se Tabell 9). Notera att räckvidden skiljer sig åt mellan de olika teknikerna. Särskilt är räckvidden för BEV-fordonen betydligt kortare än övriga. I studien har beräkningar gjorts för två batteristorlekar för BEV-fordonen, ett med vad vi betecknar som ett litet batteri, motsvarande det i Röck m.fl. på 600 kWh och ett lite större på 1000 kWh. Batteriet på 600 kWh innebär en liten extra vikt (600 kg) på fordonet jämfört med de andra teknikerna, medan det större batteriet innebär en extra vikt om 2600 kg år 2030¹⁰. Till år 2045 har batteriets energitäthet ökat så att det stora batteriet innebär en extra vikt om ca 1200 kg. Röck m.fl. (2018) har gjort bedömningen att när maxlastvikten endast påverkas med 5 % påverkar det inte nyttolasten därmed är det för HGV40 endast det stora batteriet till 2030 som påverkar nyttolasten. Vi har också lagt in uppskattningar för ett HGV60-fordon, baserat på antagandet att ett sådant fordon drar 30 % mer energi jämfört med HGV40. För HGV60-fordonet är därmed också batteristorleken något större än för HGV40. Den lilla batteristorleken är satt till 760 kWh för 2030 (vilket motsvarar samma batterivikt som Röck m.fl. (2018) anger för HGV40, år 2025, och som inte anses påverka nyttolasten). Den stora batteristorleken är satt till 1300 kWh d.v.s. 1,3 ggr större än för HGV40¹¹. Den större batteristorleken har en vikt som år 2030 påverkar maxlastvikten med 2700 kg (d.v.s. maxlastvikten blir totalt sett ca 10 % lägre) medan batterivikten år 2045 endast påverkar maxlastvikten med ca 5 %, och därmed inte nämnvärt påverkar nyttolasten. I Tabell 7 anges batteristorlekarna som använts i beräkningarna i denna studie.

¹⁰ Vikten har beräknats utifrån komponentvikter som anges i Röck m.fl. (2018) samt antaganden för utveckling av batteriprestanda, se Tabell 9. Enligt Röck m.fl. (2018) påverkas maxlastvikten med ca 5 % men inte den genomsnittliga lastvikten som använts för beräkningar av drivmedelsförbrukning etc.

¹¹ Eftersom HGV60 antas dra 1,3 ggr så mycket energi som HGV40 så blir räckvidden den samma för bägge storlekar om man också skalar upp batteristorleken med denna faktor.

Tabell 7. Batteristorlek för de olika elfordonen i de två tidsperspektiven.

HGV40	HGV60	Kapacitet 2030 [kWh]		Kapacitet 2045 [kWh]	
		Litet batteri	Stort batteri	Litet batteri	Stort batteri
BEV	HGV40	600	1000	600	1000
BEV	HGV60	780	1300	760	1300
Elväg	HGV40	350		350	
Elväg	HGV60	455		455	
FCEV	HGV40	20		20	
FCEV	HGV60	26		26	

Ett 1000 kWh batteri 2030 väger ca 1200 kg mer än det batteri som enligt Röck m.fl. (2018) anger inte påverkar lastvikten. Ett batteri med kapaciteten 1300 kWh 2045 väger ca 940 kg mer än vad Röck m.fl. (2018) anger inte påverkar lastvikten. Batteriet med 760 kWh 2030 väger samma som det Röck m.fl. (2018) uppskattar inte påverkar lastvikten.

Tabell 8. Räckviddsdata för de olika fordonen och teknikerna i de två tidsperspektiven. Prestanda för HGV40 baserat på direkta värden eller beräknat på trender från Röck m.fl. (2018). Samtliga fordon har en motoreffekt om 325kW. Beteckningarna på drivlinorna förklaras i Tabell 2.

ID drivlina	Bränsle	Räckvidd HGV40 [km]			Räckvidd HGV60 [km]		Max. nyttolast [kg]	Minskad nyttolast [%]
		2025	2030	2045	2030	2045		
Referens	Röck m.fl. (2018)	Egna beräkningar					Röck m.fl. (2018)	
ICE CI	B7	3782					25 150	0
ICE SI	CBG ^{b,d}	611	750	886	750	886	25 209	-0,2
ICE SI	LBG ^{b,d}	1677	1438	1697	1438	1697	25 222	-0,3
ICE CI HPDI (CI)	LBG ^{b,d}	1103	1770	2088	1770	2088	25 044	0,4
BEV (litet batteri)	el (nät)	376	430	508	420	508	23 735	5,6
BEV (stort batteri)	el (nät)	n.a.	720	845	720	845		
CEV	el (väg)	65 ^a	251	296	251	296	25 150	0
FCEV	H ₂	746	808	956	808	956	25 942	-3,1
B7-hyb	B7	2042	2120	2500	1630	1924	25 345	-0,8
LBG-hyb ^b	LBG ^{b,d}	1750	1501	1771	1155	1362	24 922	0,9

^a Detta är sträckan som fordonet kan gå på enbart batteri utanför elvägen.

^b Notera att Röck m.fl. (2018) inkluderar gasfordon som går på CNG och LNG samt en hybrid som går på LNG, men i denna studie analyseras förnyelsebara drivmedel och därmed LBG och CBG istället för LNG resp. CNG.

^c För BEV fordonen har vi två batteristorlekar, en liten och en större. Batteristorleken hålls konstant över tid för respektive fordonstyp (600 kWh för det lilla och 1000 kWh för det stora för HGV40 samt 760 kWh och 1300 kWh för HGV60) och därmed minskar vikt och kostnad, medan räckvidden ökar. Röck har en batteristorlek om 600 kWh.

^d För gasfordonen har vi gjort andra antaganden om tankarnas storlek för HGV40, vilket är en anledning till att räckvidden skiljer sig en del jämfört med de som anges i Röck m.fl. (2018). För HGV60 har vi antagit att de är volymsmässigt 1.3 ggr större så att de därmed klarar samma räckvidd som HGV40.

För elvägsfordon med luftledning (CEV) har Röck m.fl. (2018) räknat med ett batteri till 2025 som endast ger en räckvidd om 65 km utanför elvägen. Samtidigt är nyttolasten 1191 kg högre. Om detta i stället kan läggas på batteri får HGV40 år 2025 en räckvidd utanför elvägen om 182 km och

till år 2030 en räckvidd utanför elvägen om 250 km (baserat på ett batteri med en kapacitet om 350 kWh).

Enligt Röck m.fl. (2018) är ett genomsnittligt långdistansuppdrag (long haulage) för en dag 640 km medan ett genomsnittligt regionalt transportuppdrag (regional distribution) för en dag är 420 km. I detta projekt fokuserar vi på långdistanskörningarna. Det betyder att enligt Tabell 8 är det endast BEV-fordonet med det mindre batteriet som inte når upp till den genomsnittliga dagliga körsträckan utan att behöva tanka/ladda. Räckvidden för år 2030 är uppskattad baserat på att batterikapaciteten är konstant och att trenden i utvecklingen av batterierna [Wh/kg] som indikeras i Röck m.fl. (2018) mellan åren 2016-2025 också håller i sig till 2030 men sedan avtar under perioden 2030-2045. Antaganden kring hur stort intervall av batteriernas laddningstillstånd (range for SOC, state of charge) som faktiskt kan utnyttjas har också gjorts. Trenderna och antagandena för batteriernas energitäthet och laddningstillstånd visas i Tabell 9. Den extra vikt som skulle behöva läggas på en HGV40 BEV år 2030 för att klara 640 km räckvidd uppskattas till ca 665 kg, medan för att klara en 800 km räckvidd krävs en extra batterivikt om ca 1790 kg.

För gasfordonen är räckvidden olika beroende på att det är olika storlek på tanken och att det är olika effektivitet i motorerna. De antaganden vi har gjort om tankstorlekar för gasfordonen skiljer sig från de som gjorts i Röck m.fl. (2018), i Tabell 30 anges gasfordonens tankstorlekar. En trolig utveckling är att fordonen och tankarna kan utvecklas över tid så att man kan få en längre räckvidd än vad som anges. Detta genom att t.ex. diesel och AdBlue-tank för HPDI fordonet kan placeras på annan plats.

Tabell 9. Trender för energitäthet, vikt och användbart intervall för laddningstillstånd (SOC) för batterier. Baserat på data från Röck m.fl. (2018) samt egna beräkningar. Värden markerade i fet stil är egna beräkningar/antaganden.

ID drivlina	Specifik energidensitet batterisystem [Wh/kg]				Intervall laddningstillstånd (SOC)	
År	2016	2025	2030	2045	2025	2030/ 2045
BEV	110	160,4	197,8	271,7	0,2-0,9	0,17–0,92
B7-hyb	80	142,5	196,3	271,7	0,3–0,7	0,3–0,7
LBG-hyb SI	80	142,5	196,3	271,7	0,3–0,7	0,3–0,7
CEV	110	160,4	197,8	271,7	0,2-0,9	0,17–0,92
FCEV	80	142,5	196,3	271,7	0,2-0,9	0,17–0,92

4.3 INFRASTRUKTUR OCH DISTRIBUTIONSKOSTNADER

För samtliga andra drivmedelsalternativ (utöver elvägar) utgörs investerings- samt drift- och underhållskostnaderna av själva tankstationen resp. laddstationen och kostnaderna för distribution av drivmedlen/elen. Eventuell konditionering av drivmedlen inför distribution, såsom t.ex. förvätskning av biogas för LBG som drivmedel, tillkommer i enskilda fall.

För distributionen av de olika typer av drivmedlen har antagandena som beskrivs i följande stycken gjorts, till stor utsträckning baserat på Pettersson m.fl. (2019).

Fossila och biobränslen som processas på ett raffinaderi (till exempel HVO)

Distributionen omfattar transport från raffinaderiet med fartyg till olika depåer (0,15 SEK/liter) samt distribution med lastbil från depån till tankstationen (200 km; 0,1 SEK/liter). Investering samt drift och underhåll för tankstation tillkommer. Tankstationerna för diesel och andra flytande drivmedel har en kapacitet på 40 GWh/år (i enlighet med LNG-tankstationer) med en antagen investeringskostnad på 6 MSEK. Det är samma nivå på investering som för en tankstation på 30 GWh/år enligt (Pettersson m.fl., 2019), den relativa minskningen av investering i nuvarande studie ska ta hänsyn till en lägre komplexitet för en lastbilstankstation mot en tankstation för personbilar och lätta lastbilar.

Biobränslen/elektrobränslen som kan distribueras direkt från produktionsanläggningen (t.ex. ED95, RME, DME, metanol)

Distribution från produktionsanläggning direkt till tankstationen (200 km körsträcka; 0,1 SEK/liter), kostnadsskillnad mellan distribution för de olika biodrivmedel återspeglas genom skillnad i energidensitet vid transport. För DME har ett ytterligare påslag på 20 % gjorts på distributionskostnader för att ta hänsyn till transport vid 5 bar i flytande tillstånd. För ED95 baserad på sockerrörs-etanol har ett tillägg för båttransport från Sydamerika till Europa med 0,04 SEK/MWh gjorts. I likhet med de fossila flytande bränslen antas kostnadsbilden vara oförändrad mellan 2030 och 2045 för distribution och infrastruktur.

Gasformiga drivmedel (CBG/CNG, LBG/LNG, vätgas)

Distribution från produktionsanläggning direkt till tankstation sker i anpassade lastbilar, vätgas transporteras vid 200 bar (LBST, 2016). Konditionering av biogas/naturgas/vätgas inför transporten ingår i distributionskostnaderna (inkl. investering och underhåll för anläggningen). Tankstationernas kapacitet baseras på tidigare studier (se Tabell 33, bilaga 4). För biogastankstationerna är kostnadsfunktionerna baserade på försäljningsvolym, medan för vätgas är det tankstationens kapacitet. Kostnader per energienhet distribuerad vätgas beror därför av utnyttjandegraden för tankstationen. Robinius m.fl., (2018) anger utnyttjandegrader för olika scenarier (antal bilar) för vätgastankstationer för personbilar i Tyskland som varierar från ca 30 till 70 %. Större tankstationer som försörjer lastbilar förväntas ha en utnyttjandegrad i det högre intervallet (Pohl m.fl., 2019), med Danebergs (2019) som antar en ”något optimistisk” utnyttjandegrad för lastbilstankstationer på 80 %. Detta värde antas även i NREL:s modeller för dimensionering av vätgastankstationer (Hecht och Pratt, 2017). I nuvarande studien antar vi en utnyttjandegrad på 65 % och 80 % år 2030 resp. 2045. Underhållskostnader för vätgastankstationen antas vara 50 000 USD/år oberoende av tankstationens storlek (Hecht och Pratt, 2017).

Batterielektriska fordon (BEV)

En snabbladdning (1,2 MW) på en halvtimme¹² som ger ca 400 km körning och en nattladdning/depåladdning (150 kW) baserad på Kühnel m.fl. (2018) inkluderas som teknikalternativ i denna studie. I investeringskostnaden för laddstationerna ingår anslutning till elnätet.

Elnätsavgifter för laddstationer (som utgör en del av distributionskostnader) har uppskattats baserat på avgiftsmodellen för högspänningsanslutning för företagskunder. Avgiften är sammansatt av flera delar: en fast avgift, en effektagift baserad på max uttagna medeleffekt per timme varje månad, där en högbelastningsavgift kan tillkomma vintermånaderna, samt överföringsavgifter som skiljer mellan höglasttid och övrig tid. Beroende på avtal kan man ha höga fasta avgifter med mindre merkostnad för effekttuttag under höglasttid eller tvärtom. För snabbladdning krävs det dels större effekttuttag och sannolikheten för höga effekttuttag under höglasttid är betydligt större jämfört med depåladdning där man har större möjlighet att anpassa laddningstider. De valda nivåerna på elnätsavgift för snabb-laddning (0,4 SEK/kWh) och depåladdning (0,25 SEK/kWh) år 2030 i Tabell 33 (bilaga 4) representerar genomsnittsvärden enligt Vattenfalls prislista för juli 2020 (Vattenfall, 2020). Underhåll för laddstationerna antas vara 1 % av investeringskostnaderna. De specifika bidragen till distributionskostnaderna från investering och drift utslagna per kWh påverkas direkt av den antagna utnyttjandegraden av laddinfrastrukturen. Detta gäller framför allt snabbladdaren som år 2030 antas försörja tio lastbilar per dag och som ökar till 20 lastbilar per dag år 2045. För nattladdningen antas att det i snitt krävs 1,2 stationer per nattladdning år 2030 och 1.1 stationer per laddning år 2045. Antaganden kring utnyttjandegraden baseras på Kühnel m.fl. (2018).

De grundkostnader som anges i bilaga 4 (Tabell 33) antas gälla för år 2030. För dagens etablerade drivmedel och de flytande biodrivmedlen (även DME) har ingen minskning av distributionskostnader till år 2045 antagits. Kostnadsutvecklingen mellan 2030 och 2045 för tankstationer och distribution för de andra drivmedel/energibärare (biogas, vätgas och el/laddinfrastruktur) har antagits följa lärandekurvor i likhet med det som beskrivs i avsnittet för produktionskostnader av drivmedel (kapitel 4.5). För biogastankstationer och -distribution samt laddstolpar och eldistribution har en ”lärandefaktor” på 10 % antagits, medan för vätgastankstationer och -distribution är den antagna lärandefaktorn 20 %. Med en antagen kapacitetsökning med en faktor 3 mellan 2030 och 2045¹³ sjunker kostnader till 84,6 % respektive 70,2 % av 2030 års nivå för de olika teknikerna.

Investeringskostnader för utbyggnad av elvägar

Det råder stora osäkerheter i vad investeringskostnaderna är och kommer att vara för att bygga ut infrastrukturen för elvägar. Elväg-luft verkar vara den teknik som idag har kommit längst (Börjes-

¹² Det krävs en vilopaus om minst 45 minuter för lastbilschaufförer senast efter 4,5 timmes körning. Denna vilopaus kan även delas upp i två kortare raster på t.ex. 15 och 30 min, innan en ny körperiod på högst 4,5 timmar (max 9 timmar totalt per dag) kan påbörjas (Transportstyrelsen, 2018).

¹³ Enligt Hydrogen Europe (2020) bör det redan 2030 finnas 1500 vätgastankstationer för tunga lastbilar på plats, ACEA (2020) konstaterar att de bör finnas minst 500 stationer 2030, tillväxten därefter anses därför vara någorlunda begränsad.

son m.fl., 2020). Att de andra teknikerna inte kommit riktigt lika långt märks på att kostnadsuppskattningarna är mer spretiga än för elväg-luft. Gemensamt i olika studier är dock att elväg-skena verkar ligga på liknande (eller lägre) kostnader än elväg-luft, medan den induktiva tekniken har en högre kostnad för investering i infrastrukturen. Börjesson m.fl. (2020) och Jussila Hammes (2020) har båda antagit kostnader för elväg-luft på 25 respektive 20 MSEK per dubbelriktad km för svenska förhållanden. Börjesson m.fl. (2020) kostnader är baserade på siffror från PIARC (2018) och inkluderar 4 MSEK för framdragning av el från det regionala vägnätet samt 3 MSEK för installation och vägutrustning (den sistnämnda enligt Trafikverket). Börjesson m.fl. (2020) inkluderar även en känslighetsanalys med lägre kostnaderna på 12,5 MSEK enligt Energimyndigheten (2018). Jussila Hammes (2020) inkluderar i stället ett scenario med högre kostnader på 30 MSEK.

Vi har antagit en investeringskostnad per dubbelriktad kilometer om 20 MSEK för konduktiv och 30 MSEK för induktiv elväg i basfallet.

Drift och underhåll för elväg-infrastruktur

Det råder en hel del osäkerheter gällande vad det kommer kosta att underhålla de olika elvägarna. Flertalet studier anger kostnader på 1,0 % till 2,5 % av de initiala investeringskostnaderna, t.ex. Sartini m.fl. (2017). I denna studie används en underhållskostnad för samtliga elvägstekniker på 1,5 % av investeringskostnaden, se Tabell 10.

Tabell 10. Antagna kostnader för investering i elväg [SEK/väghm, dubbelriktad väg] inkl/exkl investering i förstärkning av elnät fram till elväg. Medelvärde används i basfallet och låg respektive hög används i känslighetsanalysen.

	Investeringskostnad MSEK/väghm			Underhållskostnad för elväg	Investeringskostnad för förstärkning av elnät fram till elväg/anslutningskostnad
	Låg	Medel	Hög		
Elväg, luftledning	10	20	30	1,5 % av investeringskostnaden årligen	Ingår anslutning till regionala elnätet (dock inte förstärkning i elnätet som eventuellt behövs).
Elväg, induktiv	15	30	35		
Elväg, skena i väg	10	20	30		

Investeringskostnaden i elväg (per fordonskilometer) är starkt beroende av hur mycket och var man bygger ut samt antalet fordon som utnyttjar infrastrukturen. Taljegård m.fl. (2019) påpekar att det är av stor vikt att välja tekniker som inte bara kan användas av lastbilar och bussar för att få ner kostnaderna. I denna rapport har vi räknat på nedanstående tre fall av utbyggnad. I samtliga tre fall räknar vi dock med att tekniken endast är tillgänglig (relevant) för tunga lastbilar. För luftledningstekniken är det inte möjligt att tillgänglig göra tekniken för t.ex. personbilar, medan i fallet med induktiv, eller skena i mark så skulle detta vara möjligt. I det senare fallet skulle kostnaderna per fordonskilometer kunna sjunka drastiskt.

Utbyggnadsfall i denna studie baseras på Johansson m.fl. (2020):

- Liten utbyggnad: 550 km elväg byggs ut och detta elektrifierar 2 % av den tunga lastbilstrafiken
- Medelstor utbyggnad: 1 % (~985 km) byggs ut och elektrifierar 18 % av den tunga lastbilstrafiken

- Stor utbyggnad: 5 % (~4925 km) byggs ut och elektrifierar 35 % av den tunga lastbilstrafiken

Lastbilstrafiken, d.v.s. fordonskilometer per år på svenska vägar har uppskattats med hjälp av data från Trafikanalys samt egna beräkningar enligt uppgifter i Bilaga 2.

4.4 ENERGI-/ BRÄNSLEFÖRBRUKNING

Enligt Röck m.fl. (2018) skiljer sig energiåtgången obetydligt mellan de fordon som drivs av olika fossila dieselskvaliteter (B0, B7) och flera av biobränslena (HVO, RME, ED95 eller DME). Skillnaden är obetydlig både för 2016 och 2025. Den årliga energieffektiviseringen för dessa fordon under perioden 2016–2025 uppskattas av Röck m.fl. (2018) till 1,1 %. Denna energieffektivisering är baserad på den observerade årliga CO₂-minskningen för tunga fordon enligt en utvärdering av ACEA under två decennier. Enligt Röck m.fl. (2018) tar man hänsyn till följande aspekter då man uppskattar energieffektiviseringen:

- Den specifika bränsleförbrukningen minskar med 3 % mellan 2016 och 2025, vilket motsvarar en årlig reduktion om 0,33 %, vilket i sin tur motsvarar en tredjedel av den energieffektiviseringar på 1,1 % som antas för hela fordonet.
- Det specifika rullmotståndet för däck minskar med 1 % årligen. Vikten på fordonen antas minska med 200 kg per fordon.
- Resterande andel av effektiviseringen åstadkoms av aerodynamiska förbättringar.

Det finns också uppskattningar av energieffektivisering angiven i svenska källor, men på en mer aggregerad nivå (flottan av en viss fordonsklass ett visst år). I Tabell 11 presenteras den bränsleförbrukning och den energieffektivisering som uppskattas för dieseldrivna tunga lastbilar samt energibehovet för eldrivna dito i tidsperspektiven 2017, 2030 och 2040 som används av Trafikverket (Lindblom, 2020b). Detta motsvarar en årlig energieffektivisering för de dieseldrivna fordonen om 1,3 % och 1,4 % för HGV40 och HGV60 under perioden 2017–2030 samt om 2,5 respektive 2,4 % under perioden 2030–2040. Denna effektiviseringspotential är alltså betydligt högre för de dieseldrivna fordonen jämfört med vad som angetts i Röck m.fl. (2018). Hybridisering (dock ej plug-in drift) ingår dock i denna effektiviseringspotential.

Tabell 11. Bränsleförbrukning diesellastbilar 2017, 2030 och 2040 baserat på Lindblom (2020b).

Fordonskategori	Bränsleförbrukning diesel-fordon [l/fkm]			Effektivisering dieselfordon [%]		Årlig effektivisering [%]	
	2030	2040	2017	2017–2030	2017–2040	2017–2030	2030–2040
HGV 40	0,228	0,177	0,271	15,9	34,7	1,32	2,5
HGV 60	0,294	0,23	0,352	16,5	34,7	1,38	2,43

För de eldrivna tunga lastbilarna antas av Lindblom (2020b) ingen energieffektivisering alls under perioden 2017–2040, vilket är ett väldigt konservativt antagande. I denna studie utgår vi från den energianvändning som anges i Röck m.fl. (2018) och antar att den effektiviseringspotential de uppskattar mellan 2016–2025 kan fortsätta både under perioden 2017–2030 samt under perioden 2030–2045 för de flesta fordon. För de eldrivna fordonen (BEV och elvägsfordonen) antar vi dock att effektiviseringspotentialen, som är högre än för diesellastbilarna 2016–2025 ligger på samma nivå

som för diesellastbilarna under perioden 2030–2045. Den årliga och totala energieffektiviseringen under de olika perioderna presenteras i Tabell 12. Den totala energieffektiviseringen som åstadkoms över perioden 2017–2045 för diesellastbilar och andra fordon med förbränningsmotor, har stämts av mot industrins egna uppskattningar och stämmer väl överens.

Kvoten i energiförbrukning mellan ett elfordon i klassen HGV60 jämfört med HGV40 anges i Lindblom (2020a) till 1,14 medan motsvarande kvot för dieselfordon är 1,3. Baserat på uttalanden från industrin så har vi dock använt oss av samma kvot för både elfordon (BEV; elvägsfordon) som för de med konventionell förbränningsmotor (t.ex. dieselfordon). Samma värde har också använts för bränslecellsfordonen och för hybridfordonen.

Tabell 12. Årlig energieffektivisering beräknat på bränsleförbrukningsdata för HGV40.

Bränsle	Årlig energieffektivisering % enligt Röck m.fl. (2018)	Årlig energieffektivisering i denna studie %		Total energieffektivisering i denna studie %	
		2016–2025	2017–2030	2017–2030	2030–2045
Diesel B0	1,10	1,10	1,10	12,4	25,7
Diesel B7	1,10	1,10	1,10	12,4	25,7
Diesel 100 (FAME)	1,10	1,10	1,10	1,24	25,7
Paraffinisk diesel (HVO)	1,10	1,10	1,10	12,4	25,7
ED95	1,10	1,10	1,10	12,4	25,7
DME	1,10	1,10	1,10	12,4	25,7
Metanol (MD95)	Ej inkluderad	1,10	1,10	12,4	25,7
Elväg (luft, skena induktiv)	2,03 (inkl. laddförluster)	2,0	1,10	21,8	33,7
BEV	1,84 (inkl. laddförluster)	1,84	1,10	20,0	32,2
LNG HPDI (CI)	1,10	1,10	1,10	12,4	25,7
LNG (SI)	1,02	1,10	1,10	12,4	25,7
CNG	1,02	1,10	1,10	12,4	25,7
FCEV H2	2,15	2,15	1,10	22,9	34,7
ICE SI + HEV LNG	1,04	1,10	1,10	12,4	25,7
ICE CI + HEV B7	1,30	1,10	1,10	12,4	25,7

I Bilaga 4 (Tabell 34 och Tabell 35) anges de bränsleförbrukningsvärden som vi använder för HGV40 respektive HGV60 i denna studie.

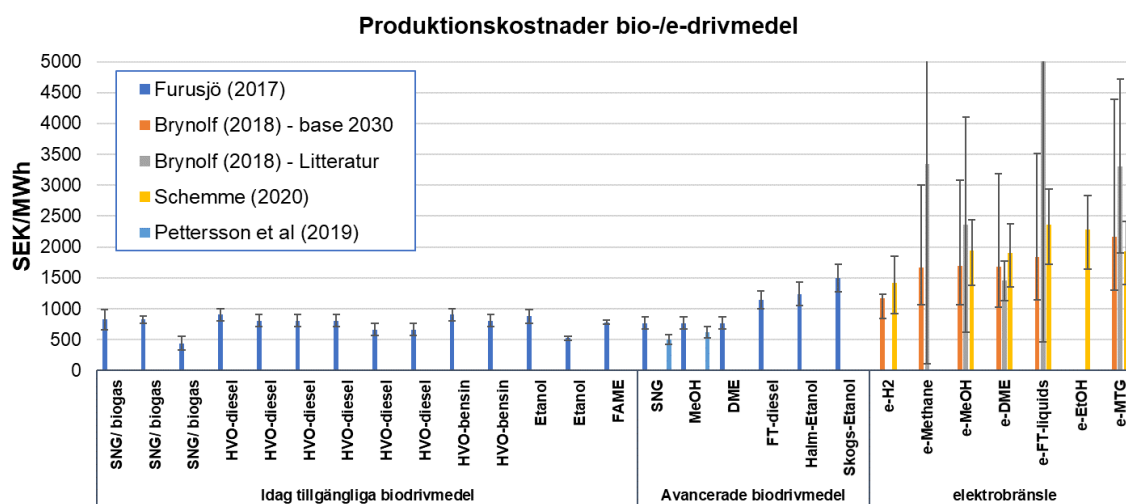
4.5 PRODUKTIONSKOSTNADER FÖR DRIVMEDEL

Produktionskostnader för de olika drivmedlen baseras till stor utsträckning på:

- Furusjö och Lundgren (2017) som har gjort en fördjupad genomgång av produktionskostnader för biodrivmedel – både tillgängliga biodrivmedel idag och framtida avancerade biodrivmedel;
- Brynolf m.fl. (2018) för elektrobränslen: produktionskostnader avseende 2030 har använts för 2020 års produktionskostnader i nuvarande studie eftersom t.ex. elektrolysörkostnader

har sjunkit drastiskt de senaste åren och uppskattningar i Brynolf m.fl. (2018) anses vara för konservativa.¹⁴

Figur 3 illustrerar variation i produktionskostnader med olika råvaror (olika staplar för samma produkt) och olika processvägar (första/andra generation biodrivmedel och elektrobränslen) hämtade från litteraturstudier.



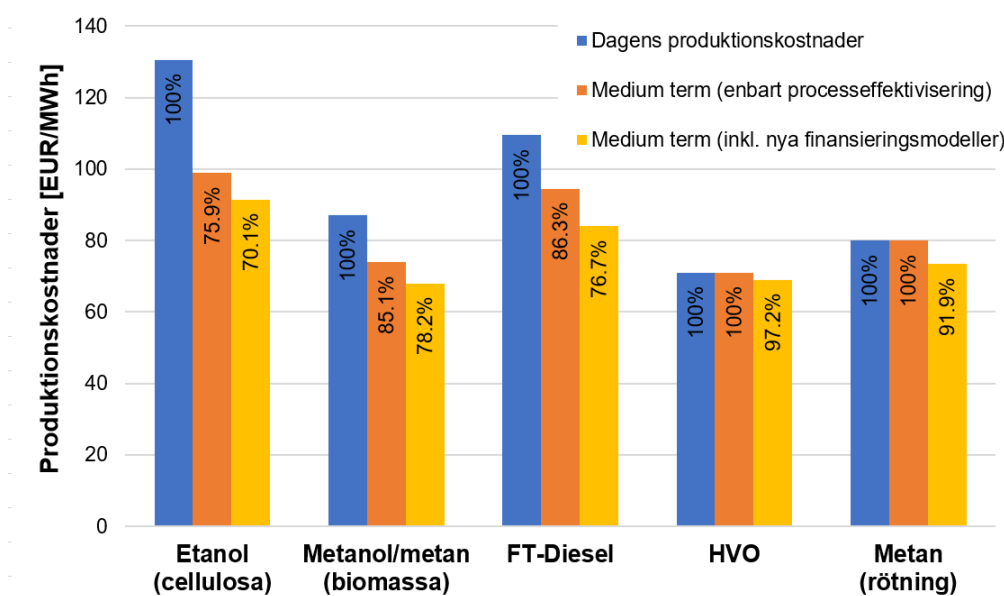
Figur 3. Sammanställning av produktionskostnader från olika litteraturkällor som återspeglar nuvarande kostnadsnivå (2020).

Antaganden om dagens produktionskostnader för de olika drivmedelsalternativen har baserats på data angiven i Tabell 18. För de drivmedel där flera processer/råvaror finns tillgängliga har representativa medelvärden tagits fram. För biogas från rötning är priset baserat på biogasproduktionens substratsammansättning i Sverige år 2019 och kostnader enligt Furusjö och Lundgren (2017). Kostnaderna ligger relativt lågt jämfört med andra studier, t.ex. Biogasmarknadsutredningen som anger produktionskostnader för biogas via rötning på 940 SEK/MWh (Westlund, 2019). Det bör beaktas vid tolkning av resultaten. Men för att ha rätt förhållande för kostnader jämfört med t.ex. biometan från förgasning (som baserat på Furusjö och Lundgren (2017) ligger på 700 SEK/MWh), har den nivå som räknats fram bibehållits. För ED95, som baseras på produktionskostnaden för etanol, har två processalternativ, baserade på sockerrör respektive cellulosa (skogsetanol), valts för att beskriva hela prisspannet. För samtliga elektrobränslen och elektrolysbaserad vätgas har värden från Brynolf m.fl. (2018) för år 2030 antagits som dagens produktionskostnader, då den snabba kostnadsutvecklingen har lett till att Brynolfs uppskattningar för dagsläge redan anses vara för höga.

För att göra prisuppskattningar för tidsperspektivet 2030 respektive 2045 har prognoser gjorts för framtida utveckling av produktionskostnader baserat på en nyligen publicerad IEA-rapport (Brown m.fl., 2020). Där anges tre olika typer av potential för minskade produktionskostnader: processutveckling, nya finansieringsformer samt lärandeeffekter med utbyggnaden.

¹⁴ Carbon Recycling International anger t.ex. produktionskostnader för storskalig produktion på 650 EUR/ton e-metanol för storskalig produktion i närtid. Detta motsvarar ca 1 200 SEK/MWh och ligger 28,7 % under 2030-års produktionskostnader för e-metanol enligt Brynolf m.fl. (2018).

I Figur 4 visas de uppskattade effekterna av de två första faktorerna på ett antal biodrivmedel enligt Brown m.fl. (2020), under förutsättning av oförändrade råvarupriser. I nuvarande studie har faktorerna för processeffektivisering utgjort basen för uppskattningen av minskning i produktionskostnader mellan nuläget och 2030. Det visas till exempel att skogsbaserad etanol har potential att produceras drygt 24 % billigare i "medium term" genom effektivare processer. Däremot har exempelvis biometan via rötning, ett av de biodrivmedlen som finns tillgängligt i dagsläget, ingen uppskattad kostnadseffektiviseringspotential baserad på enbart processutveckling.



Figur 4. Minskning i produktionskostnader för avancerade biodrivmedel pga. processeffektivisering och nya finansieringsmodeller (baserade på Brown m.fl. (2020)). Procentsiffrorna i staplarna representerar minskningen jämfört med dagens produktionskostnader.

Den tredje faktorn som kan påverka produktionskostnader är en så kallad lärandeeffekt vid storskalig utbyggnad av tekniken, som det finns ganska stor osäkerhet kring. Man utgår från att produktionskostnaderna kan minska med ett antal procent vid en fördubbling av produktionskapaciteten. Är faktorn t.ex. 5 % så minskar produktionskostnaderna för den andra anläggningen i samma storlek till 95 % av den första osv. Enligt Brown m.fl. (2020) har minskningsfaktorer om 20 % för brasiliansk etanol rapporterats. Baserat på detta har ytterligare lärandeeffekter lagts på (utöver faktorerna ovan) enligt följande:

- För idag tillgängliga biodrivmedel: 2 % minskning i produktionskostnader mellan tidsintervallerna;
- För avancerade biodrivmedel: 5 % besparingar baserad på lärande med utbyggnad (learning curve) mellan 2030 och 2045;
- För elektrobränslen: 20 % utöver den processrelaterade besparingen för biobaserad ekvivalent¹⁵ för perioden mellan nuläget och 2030 samt 20 % baserat på lärande med utbyggnad mellan 2030 och 2045.

¹⁵ För vätgas via elektrolys baserat på utvecklingen för förgasningsbaserad biogas/-metan.

Prognoser på prisutvecklingen för fossila bränslen är väldigt osäkra och antaganden för kostnadsutvecklingen för de förnyelsebara drivmedlen baseras dessutom på oförändrade råvarupriser. Därför har ingen ändring av produktionskostnader för de fossila drivmedlen diesel och naturgas (som representerar referensfallen) antagits. Även produktionskostnader för förnyelsebar el antas vara oförändrade under hela tidsperioden som omfattas (se avsnitt ”Priser för el” nedan). De produktionskostnader som har tagits fram baserat på ovan nämnda data är underlag för kostnadsberäkningarna i nuvarande studie och redovisas i Tabell 13.

Tabell 13. Bränsleproduktionskostnader (i SEK/MWh) i nuläget som används som utgångspunkt för att bedöma kostnaderna för 2030 och 2045.

Bränsle	Råvara/Process	Produktionskostnader [SEK/MWh]
FAME	förestring (raps)	780 ^a
HVO	hydrering (tallolja/avfall)	850 ^a
ED95 (Etanol)	jäsning (sockerrör)	630 ^{a,e}
	jäsning (cellulosa)	1530 ^{a,e}
FT-Diesel	förgasning (skogsflis/GROT)	1140 ^a
	Elektrobränsle	1840 ^b
DME/Metanol	förgasning (skogsflis/GROT)	770 ^a
	Elektrobränsle	1680 ^b
Biogas/CBG/LBG	rötning (avfall/gödsel)	540 ^c
	förgasning (skogsflis/GROT)	700 ^d
	Elektrobränsle	1650 ^b
H2	Elektrobränsle	1150 ^b
El	Förnyelsebar	400 ^f
Diesel	Fossil	600 ^g
Naturgas	Fossil	330 ^h

^a Furusjö och Lundgren (2017)

^b Brynolf m.fl. (2018) – Scenario base 2030 (anses vara hög och antas representera dagens produktionskostnader).

^c Medelvärde för kostnader för rötning i olika anläggningar baserade på Furusjö och Lundgren (2017) för att representera svensk biogasproduktion (Energimyndigheten, 2020b).

^d Pettersson m.fl. (2019) uppskattar 20 % lägre produktionskostnader för SNG jämfört med metanol från skogsråvara, Furusjö och Lundgren (2017) anger samma produktionskostnad för SNG, metanol och DME, här reduceras produktionskostnader för SNG med ca 10 % från Furusjö och Lundgren (2017).

^e Produktionskostnader för ED95 har sammanvägts baserat på energiinnehållet i drivmedlet (90,3 % etanol, resterande andel fossil PEG, MTBE, i-butanol och smörjmedel) (European Commission. Joint Research Centre., 2020); etanolproduktionskostnader: 520 SEK/MWh (sockerrör) resp. 1500 SEK/MWh (cellulosa) (Furusjö och Lundgren, 2017); kostnader för fossila tillsatser: 1500 SEK/MWh (faktor 2.5 mot fossil Diesel på energibasis (pris på ca 28 SEK/l för tillsatser mot 13 SEK/l för Diesel (Larsson och Persson, 2020) i kombination med lägre värmeverde); utöver detta har en kostnadsfaktor för blandning på 1,02 lagts på.

^f Baserade på elmarknadsscenarioer från Bokinge m.fl. (2020)

^g SPBI (2020) anger produktpris på diesel för 2018 på 7 SEK/l som har reducerats med 15 % för att ta hänsyn till exempelvis distributionskostnader och vinstmarginal

^h Eurostat (2020) – Medelpris naturgas (exkl. skatt och avgifter) för industriella kunder (”Band I3/ Band I4”; 2,78–2778 GWh) i Sverige 2018–2019.

Priser för el

För helelektriska fordon baserade på batterier (BEV) är det elen som blir det nya drivmedlet och produktionskostnaden för el uppskattas till 400 SEK/MWh (konstant över tid) baserat på en rapport om elektrobränslen där detaljerade marknadsscenarier för elpris inom Norden har utvecklats som indikerar någorlunda oförändrade marknadspriser för el i referensscenariot (Best Guess scenario) fram till år 2045 på en nivå kring 400 SEK/MWh för Sverige (Bokinge m.fl., 2020), se Tabell 14.

Tabell 14. Elprisprognos baserad på detaljerad elmarknadsmodell i Bokinge m.fl. (2020).

Elpris enligt referensscenario (Best guess) (EUR/MWh)	2025	2035	2045
Elpriszon SE1	37,03	40,96	38,35
Elpriszon SE2	37,19	41,93	39,78
Elpriszon SE3	38,32	42,94	44,69
Elpriszon SE4	38,32	43,17	44,19
Genomsnitt	37,71	42,25	41,75

Enligt spotpris från Nordpol ligger elpriset runt 400 SEK/MWh (Pettersson m.fl., 2019). I sin kort-tidsprognos uppskattas elpriset av Energimyndigheten (2019a) att sjunka enligt Tabell 15.

Tabell 15. Elpriser enligt NordPools systempris. Årsgenomsnitt 2018 samt prognos för 2019-2022, löpande priser. Källa: Energimyndigheten (2019d)

År	Elpris [SEK/MWh]
2018	458
2019	413
2020	371
2021	351
2022	350

Enligt IVA (2016), som baserats på bland annat Elforsk, (2014) beräknar enbart produktionskostnaden för 160 TWh i Sverige om året (2040) till 75–80 miljarder SEK för fyra olika scenarier av el-mix (d.v.s. max 500 SEK/MWh). En prognos av SWECO uppskattar att kostnader för landbaserad vindkraft sjunker under 300 SEK/MWh redan till 2030, men havsbaserad vindkraft antas ligga över 400 SEK/MWh även år 2050. Produktionskostnader för solel prognosticeras ligga strax under 800 SEK/MWh år 2030 och över 400 SEK/MWh år 2050 (SWECO, 2020). För att undersöka påverkan av eventuellt lägre framtida elproduktionskostnader har en känslighetsanalys inkluderats i denna studie, se avsnitt 5.2.1, där påverkan av el-, vätgas- och elektrobränsleproduktionskostnader på de relativa mobilitetskostnaderna undersöks.

Pettersson m.fl., (2019) uppskattar nätavgiften till ca 100 SEK/MWh för industrikunder och 360 SEK/MWh för privatpersoner (detta inkluderar ej skatter). I denna studie använder vi oss av elpriser (inklusive nätkostnader) enligt Tabell 16.

Tabell 16. Priser för el (produktionskostnader och nätavgifter) [SEK/MWh] använda i denna studie.

År	2030	2045	Kommentar
Produktionskostnader el [SEK/MWh]	400	400	Antas oförändrat över tid
Nätavgift snabbbladdning [SEK/MWh]	400	338	Sjunkande nätavgift framöver p.g.a. uppskalnings- och lärandeeffekter
Elpris snabbbladdning (inkl. nätavgift) [SEK/MWh]	800	738	
Nätavgift depåladdning [SEK/MWh]	250	212	Sjunkande nätavgift över tid p.g.a. uppskalnings- och lärandeeffekter
Elpris depåladdning (inkl. nätavgift) [SEK/MWh]	650	612	
Nätavgift elvägar [SEK/MWh]	100	100	
Övriga överföringskostnader elvägar [SEK/MWh]	80	80	
Elpris elvägar [SEK/MWh]	580	580	

Elvägar - energikostnader

Elpriset för fordonen på elvägen utgörs dels av en kostnad för själva elen, dels en nätkostnad och sedan möjligen ytterligare kostnader för debitering etc. Nätkostnaden för elvägen har vi valt att basera på en prognos som finns för elkostnader för järnvägen och som presenteras i Trafikverkets elprissrapport (Trafikverket, 2020b). Enligt den ser nätkostnaden för trafikoperatörer ut att ligga på en stabil nivå (liksom elpriset) under de närmaste fyra åren. Baserat på annan analys av prisutveckling för elproduktionen och nätkostnaden i samma rapport antar vi att denna stabilitet håller i sig både till 2030 och till 2045. Nätavgiften antas därför ligga på ungefär 100 SEK/MWh. För järnvägen tillkommer även en del andra kostnader motsvarande ca 80 SEK/MWh som har med eldistributionen att göra.

Kostnader för AdBlue i dieselbaserade drivlinor

För samtliga dieselliknande drivlinor kräver utsläppsbegränsningar tillsats av AdBlue för NO_x omvandling i en SCR-katalysator (selective catalytic reduction). Användning av AdBlue är direkt relaterad till bränsleanvändning och har därför lagts på drivmedelskostnaderna. Andra studier, t.ex. Kühnel m.fl. (2018), redovisar AdBlue-kostnader som underhållskostnader.

I Röck m.fl. (2018) har AdBlue-förbrukningen specifikt per energienhet drivmedel tagits fram och dessa siffror utgör indataunderlag för denna studie: Värdet har justerats ned från 0,012 till 0,009 l/kWh_{drivmedel} för CI-dieseldrivlinor och HPDI CI-gasdrivlinor baserat på inspel från industriparter inom projektet. Biodiesel (FAME) antas ha en AdBlue-förbrukning som ligger 20 % över de andra drivlinorna (se Tabell 17 för antagen förbrukning av AdBlue för olika drivlinor. Kostnader för AdBlue baseras på ett marknadspris utan moms som ligger på ca. 5,5 SEK/l vid tankstationen (OKQ8, 2020). Det antas att ett åkeri kan tanka AdBlue till betydligt lägre kostnader via en lagringstank i egen depå. Priset för AdBlue i denna studie sätts till 2,5 SEK/l. Se Tabell 19 för AdBlue kostnader för de olika bränslealternativen.

Tabell 17. Bränslespecifik AdBlue förbrukning för olika kombinationer av drivlinor och drivmedel enligt Röck m.fl. (2018) och inspel från industriparter inom projektet.

Drivlina	Drivmedel	AdBlue förbrukning [l/kWh _{drivmedel}]
Kompressionstånd (CI)	Diesel, B7, HVO, FT-Diesel, DME, ED95	0,009
Kompressionstånd (CI)	FAME (B100)	0,011
Kompressionstånd HPDI (CI)	LNG/LBG + B7	0,009*
*0,009 l/kWh används för samtliga naturgas-baserade HPDI drivlinor		

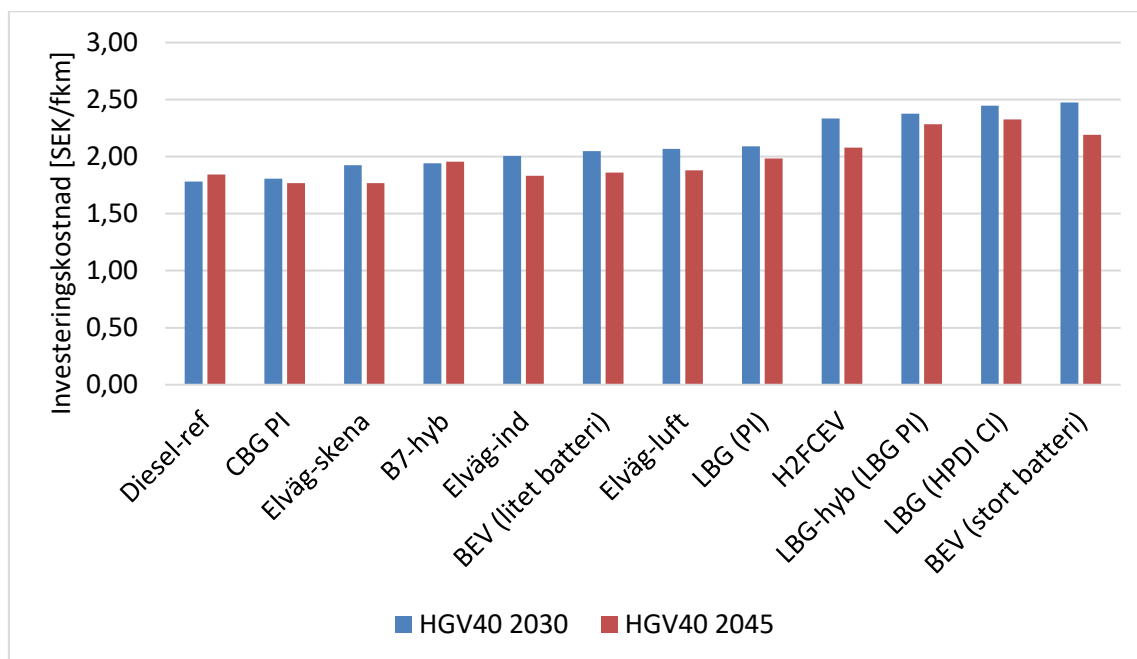
I kombination med den specifika energianvändningen för respektive kombination av drivmedel och drivlina beräknas kostnader per fordonskilometer respektive per tonkilometer. Ingen anpassning i tid av förbrukningen och priset för AdBlue görs i enlighet med Röck m.fl. (2018). För samtliga helelektriska drivlinor och drivlinor med styrd tändning (CBG/LBG SI) krävs det ingen AdBlue och kostnaden är lika med noll.

5 RESULTAT

5.1 RESULTAT AV KOSTNADSBERÄKNINGAR

5.1.1 Fordonskostnader

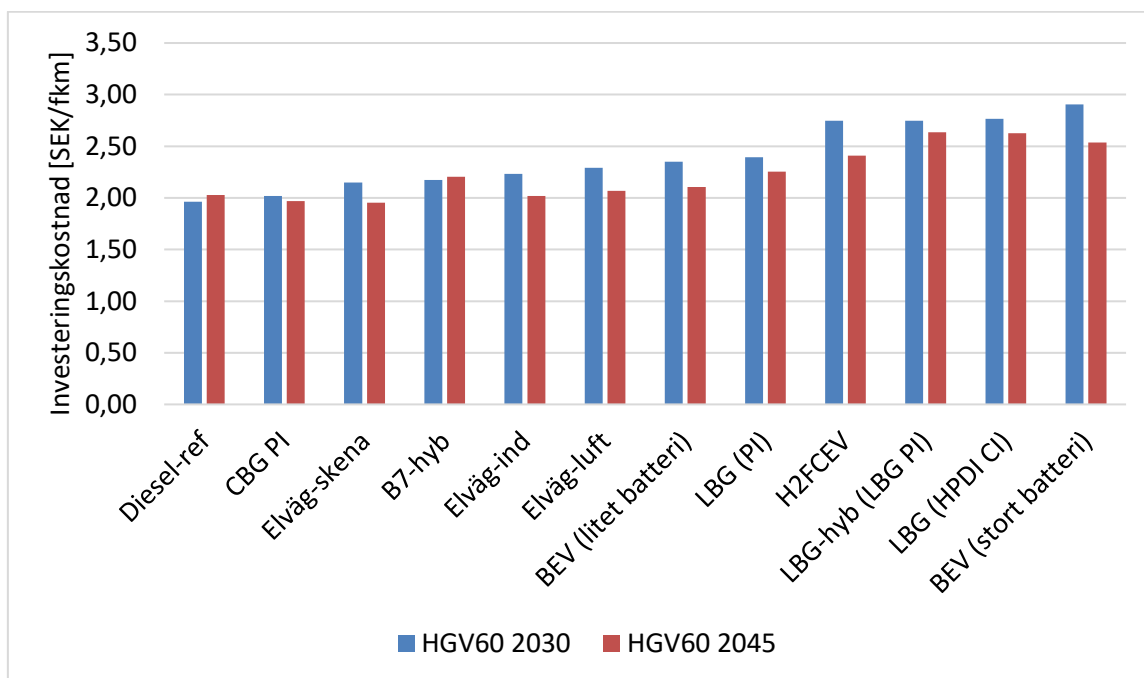
Beräkningarna av fordonens investeringskostnad per fordonskilometer visas för HGV40-fordonen i Figur 5, samt för HGV60-fordonen i Figur 6. Fordonen är rangordnade från billigast till dyrast år 2030. Som kan ses i båda figurerna förväntas dieselreferensen (och därmed, enligt antagande, övriga fordon med konventionell förbränningsmotor) bli lite dyrare till 2045 som följd av att kraven för avgasrening förväntas öka och därmed även kostnaderna. Kostnaden för de batterielektriska fordonen (BEV) blir lägre till 2045 jämfört med 2030 främst på grund av lägre batterikostnader samt lägre kostnader för motorer. Även kostnaderna för elvägsfordonen förväntas minska till 2045 jämfört med 2030 till följd av att batterier, motorer och strömvtagare förväntas gå ned i pris då dessa tekniker vinner mark och produceras i större kvantiteter. Kostnaden för bränslecellsfordonen förväntas bli lägre till 2045 jämfört med 2030 eftersom kostnaden för bränsleceller och vätgastankar förväntas minska.



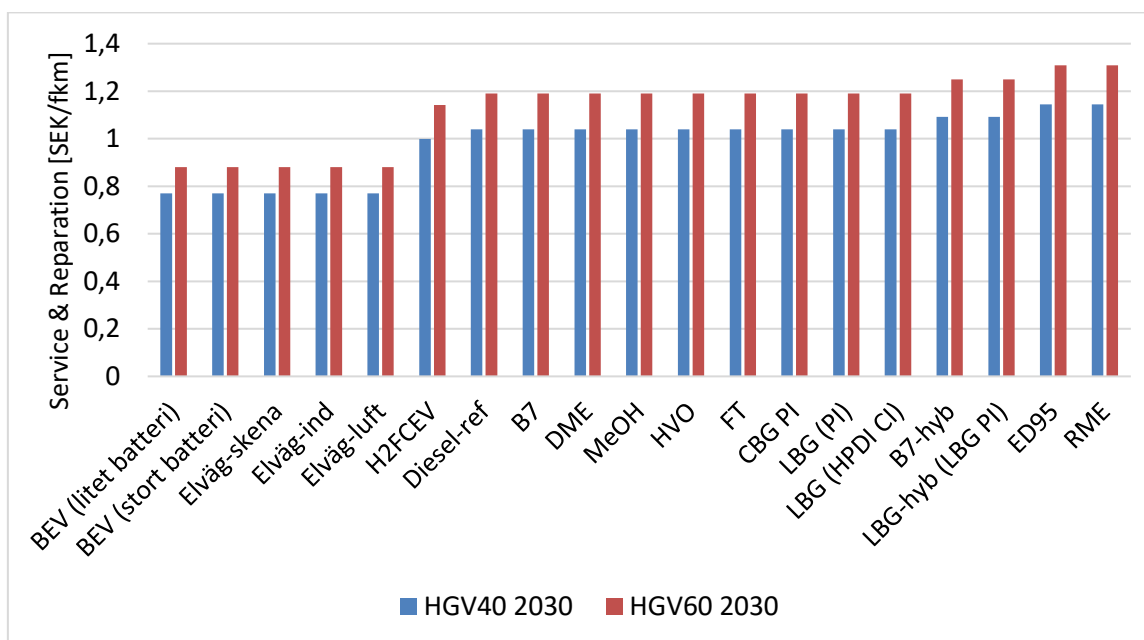
Figur 5. Investeringskostnad fordon [SEK/fkm], HGV40 år 2030 och 2045.

Som kan ses i Figur 5 och Figur 6 är det flera av de jämförda fordonsteknikerna som börjar närma sig samma kostnadsnivå som dieselreferensen redan år 2030. CBG-fordonet förväntas vara endast 1 % dyrare än dieselreferensen år 2030 och Elväg-skena förväntas vara 7 % dyrare. De dyraste fordonen förväntas vara BEV (stort batteri), LBG HPDI (CI), LBG-hybriden samt FCEV. Här bör det tilläggas att LBG-fordonen kan uppfattas som dyra jämfört med till exempel bränslecellsfordonet. Kostnaderna för LBG-fordonen är dock baserade på antaganden om stora tankar och långa räckvidder. Om tankstorleken halveras kommer LBG-fordonen fortfarande att ha längre räckvidd än

FCEV, men vara betydligt billigare. År 2045 är det flera fordon som förväntas vara billigare än dieselreferensen: Elvägsfordonet för induktiv teknik, elvägsfordonet för skena i väg, BEV (litet batteri) och CBG (SI).



Figur 6. Investeringskostnad fordon [SEK/fkm], HGV60.



Figur 7. Service- och reparationskostnader fordon [SEK/fkm].

Tabell 18. Produktionskostnader för olika drivmedel/energibärare (SEK/MWh) för nuläget, 2030 och 2045.

Bränsle	Råvara/Process	Produktionskostnader [SEK/MWh]		
		Nuläget	2030	2045
FAME	Förestring (raps)	780	760	750
HVO	Hydrering (tallolja/avfall)	850	830	820
ED95 (Etanol)	Jäsning (sockerrör)	630	610	600
	Jäsning (cellulosa)	1530	1160	1100
FT-Diesel	Förgasning (skogsflis/GROT)	1140	980	930
	Elektrobränsle	1840	1270	1020
DME/Metanol	Förgasning (skogsflis/GROT)	770	650	620
	Elektrobränsle	1680	1140	910
Biogas/CBG/LBG	Rötning (avfall/gödsel)	540	530	520
	Förgasning (skogsflis/GROT)	700	600	570
	Elektrobränsle	1650	1120	900
H2	Elektrobränsle	1150	780	630
EI	Förnyelsebar	400	400	400
Diesel	Fossil	600	600	600
Naturgas	Fossil	330	330	330

Ett tillägg till produktionskostnader görs för samtliga drivmedel när de används i dieselliknande drivlinor som kräver efterbehandling med AdBlue. För den fossila dieseldrivlinan som används som referens motsvarar AdBlue-kostnaderna ca 3,6 % av drivmedelskostnaderna på energibasis (utan distribution)¹⁶.

Tabell 19. AdBlue-kostnader i SEK/kWh_{drivmedel} för olika kombinationer av drivmedel och drivlina. Värden gäller för samtliga år då ingen förändring i tid har antagits.

Motorteknik/framdrivningsteknik	Drivmedel	AdBlue kostnader [SEK/MWh _{drivmedel}]
Kompressionstænd motor (CI)	Diesel, B7, HVO, FT-Diesel, DME, ED95	22,5
Kompressionstænd motor (CI)	FAME (B100)	35,0
Kompressionstænd motor HPDI (CI)	LNG/LBG + B7	30,0
Diesel-hybrid (CI)	B7	22,5

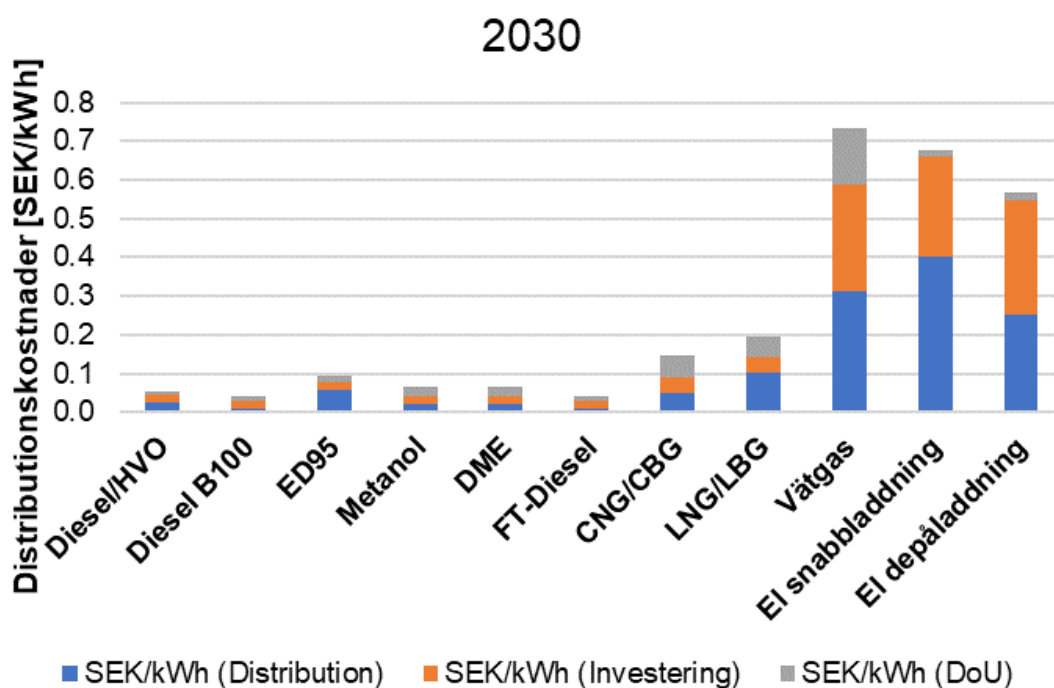
5.1.3 Distributionskostnader och totala energikostnader

Totala distributionskostnader och kostnader fördelat på investeringskostnader, drift och underhåll samt distribution (av drivmedel från produktionsanläggning till distributionsplats) per energienhet drivmedel för 2030 respektive 2045 visas i Figur 9 och Figur 10. Kostnaderna är fördelade på distribution (inkl. eventuell konditionering), investering i stationen samt stationens drift och underhåll (DoU).

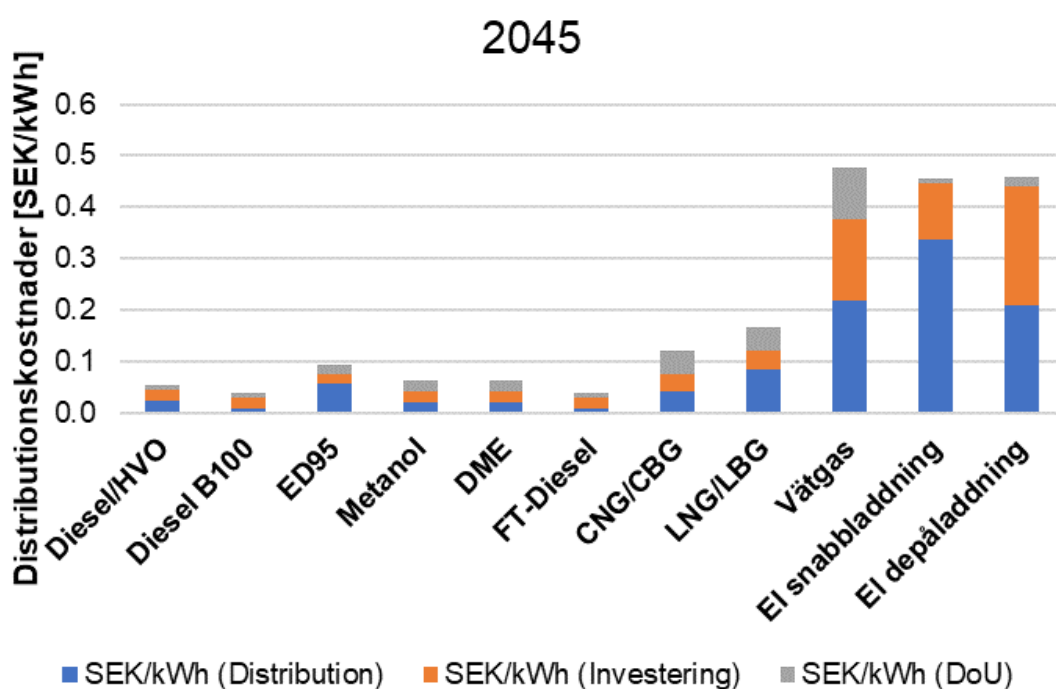
¹⁶ 600 SEK/MWh dieselproduktionskostnader, 22,5 SEK/MWh AdBlue kostnader => 22.5/600 = 3,75 %

För de flytande drivmedlen är distributionskostnaderna genomgående lägre än för de gasformiga drivmedlen eller el. Kostnader för respektive flytande drivmedel varierar mest som funktion av energidensitet och är högst för metanol. Komprimerad och flytande biogas har lägre distributionskostnader i förhållande till vätgas. För vätgas utgör helheten av distributionskostnaderna ca 48 % av de totala energikostnader en kund betalar för år 2030, och ca 43 % år 2045. Det finns dock en relativt stor osäkerhet i distributionskostnaderna då de är mycket beroende av den framtida marknadsutveckling och därtill kopplade faktorer såsom utnyttjandegrad, produktionsvolymen osv. En större minskning av distributionskostnader är tänkbart för till exempel vätgas när en storskalig europeisk vätgasekonomi utvecklas inom en snar framtid (European Commission, 2020). Det finns dock osäkerheter kring hur stor vätgasens roll blir just inom transportsektorn. Kostnader för distribution av el via laddstolpar utgörs till största del av själva distributionskostnaden (elnätsavgift) och investeringen. Återigen är utnyttjandegrad och totala energibehovet faktorer som påverkar dessa kostnader avsevärt och som är ganska osäkra.

År 2045 kommer, baserat på de antaganden som presenteras i indata för produktionskostnader för drivmedel, kostnader för distribution av både el och vätgas ligga på ungefär samma nivå och fortfarande vara mer än dubbelt så stora som för biogas.

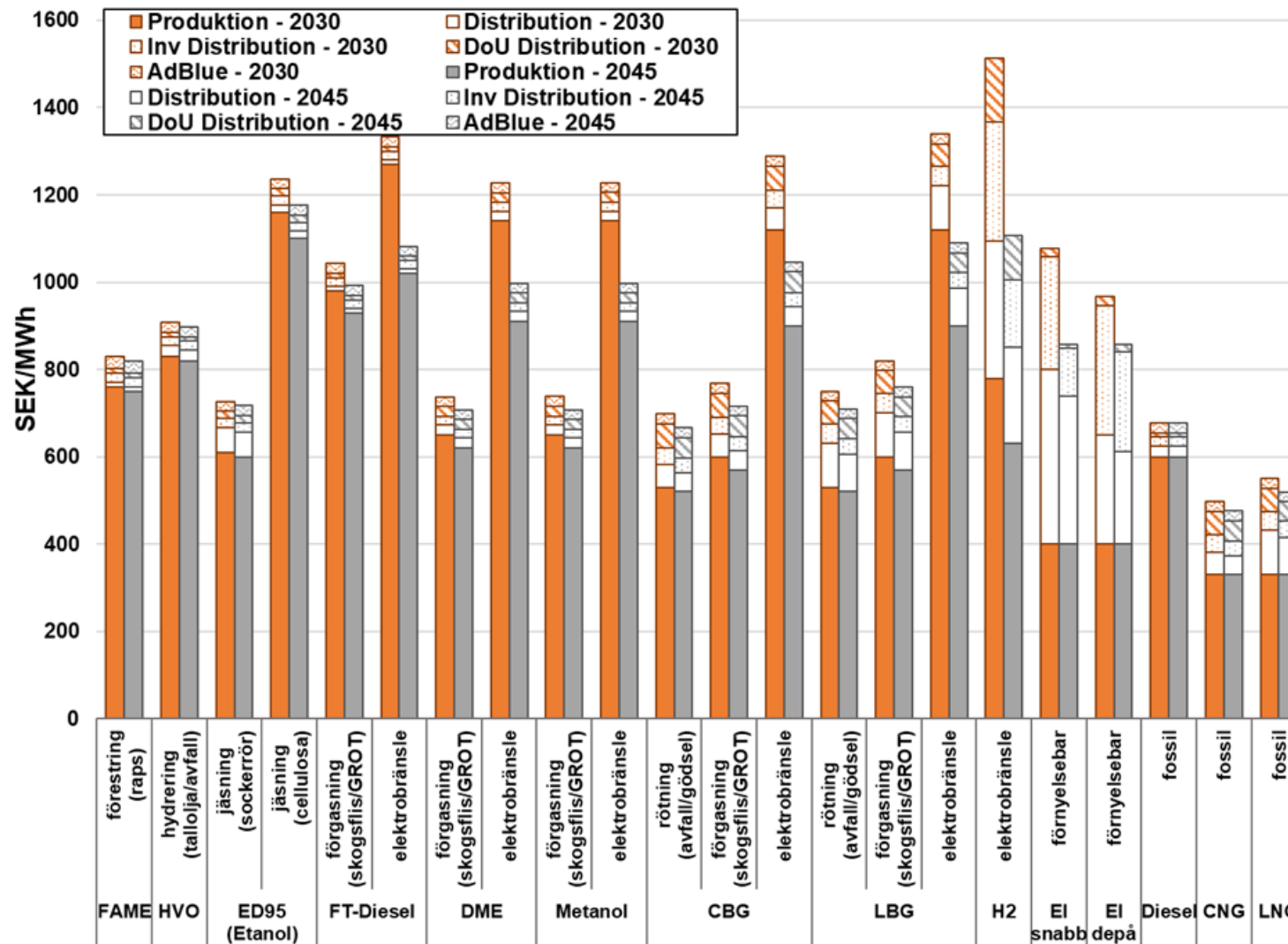


Figur 9. Uppskattade infrastruktur- och distributionskostnader för olika drivmedel för 2030. För ED95 visas siffror för sockerrörsetanol där sjötransport från Brasilien (0,04 SEK/kWh) ingår (blå stapel), dessa exkluderas för skogsetanol-baserad ED95.



Figur 10. Uppskattade infrastruktur- och distributionskostnader för olika drivmedel för 2045. För ED95 visas siffror för sockerrörsetanol där sjötransport från Brasilien (0,04 SEK/kWh) ingår (blå stapel), dessa exkluderas för skogsetanol-baserad ED95.

Adderar man produktionskostnader för drivmedel/energibärare och distributionskostnader erhålls de totala energikostnader som är underlag för de relativa mobilitetskostnaderna relaterad till fordons energianvändning. I Figur 11 visas dessa totala energikostnader per drivmedel/ energibärare för år 2030 och 2045.



Figur 11. Energikostnader i SEK/MWh för de olika drivmedel/energibärare år 2030 och 2045 som används i nuvarande studie. Bidragen är produktionskostnader, distributionskostnader, investering samt drift och underhåll av distributionsinfrastruktur och AdBlue-kostnader.

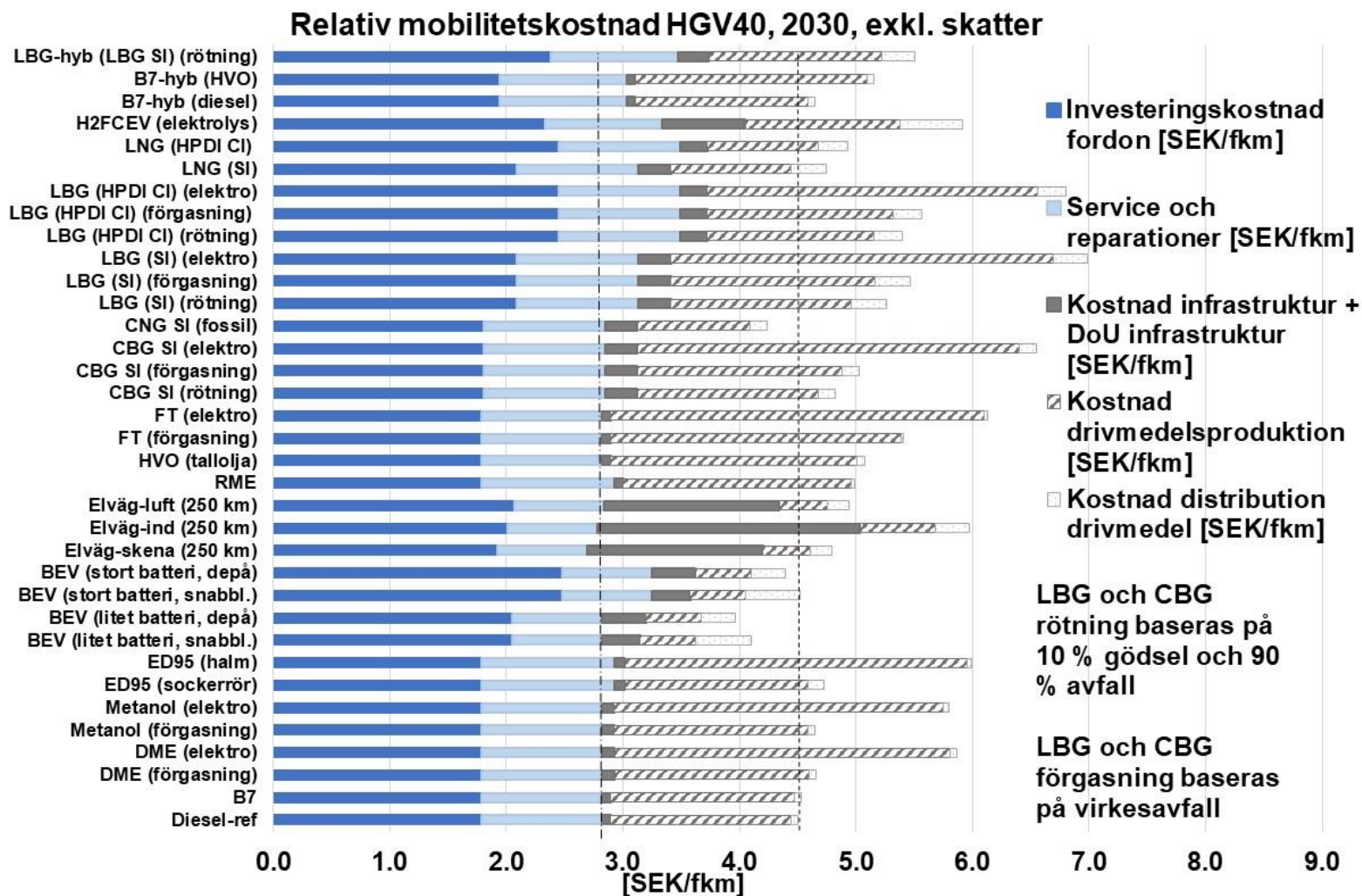
5.1.4 Infrastrukturkostnader

Kostnaden för infrastruktur för distribution av drivmedel är små för biodrivmedelsalternativen (DME; metanol, ED95, RME, HVO) men lite större för de gasformiga alternativen (CBG samt LBG) och betydligt större för BEV och vätgas (till bränslecellsfordonen).

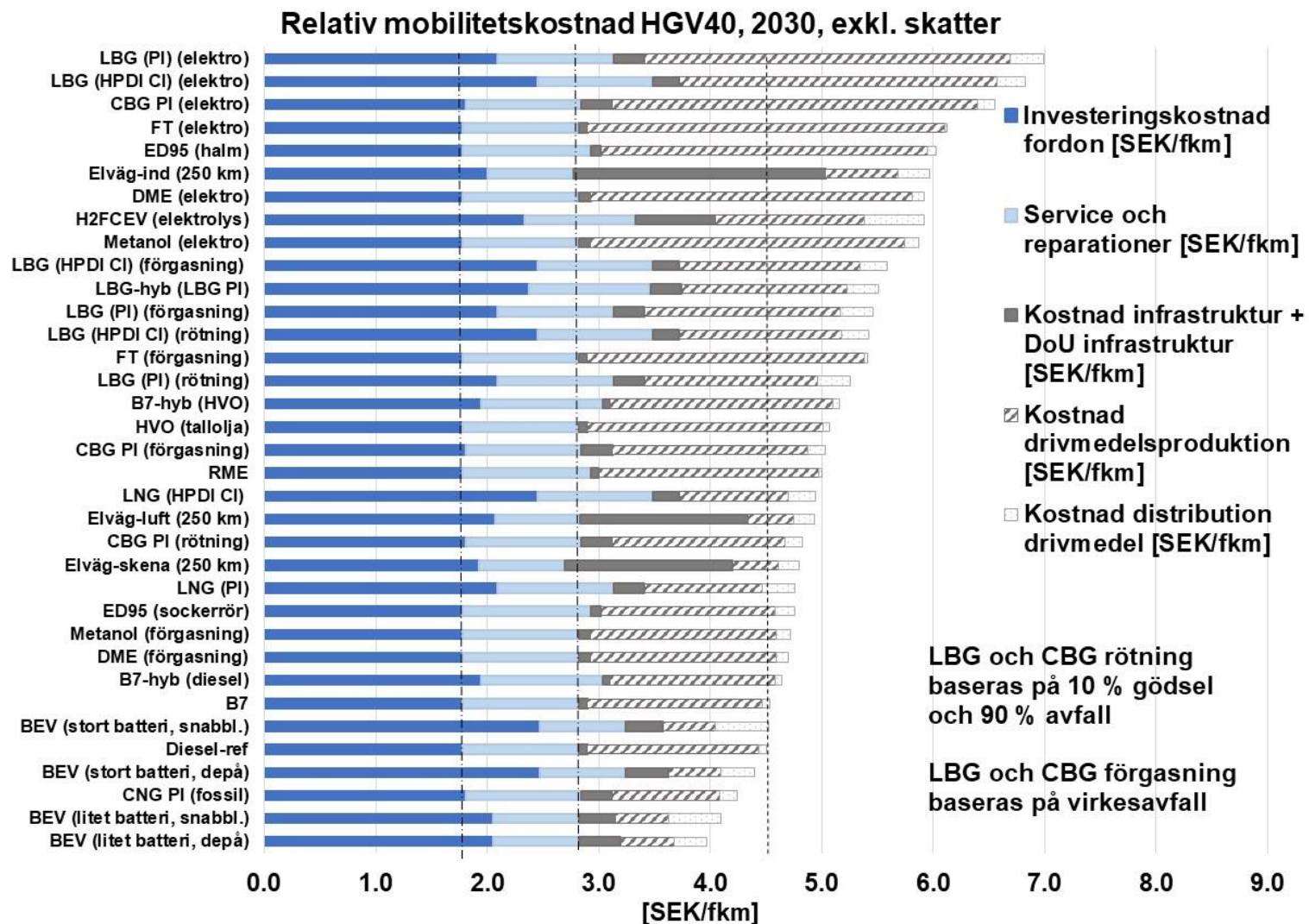
För elvägar, där infrastrukturkostnaden består av investering i själva elvägen utgör infrastrukturkostnaden en väsentlig del. I exemplet med en medelutbyggnad av elvägssystemet (985 km som når 18 % av den tunga trafiken) motsvarar infrastrukturinvesteringen för fallet med luftledning ca 70 % av kostnaden för investeringen i själva fordonet. Detta kan jämföras med investeringskostnaden för infrastruktur i dieselfallet som endast motsvarar 4 % av investeringskostnaden för hela fordonet.

5.1.5 Relativ mobilitetskostnad

I Figur 12 och Figur 13 redovisas den uppskattade totala relativa mobilitetskostnaden för HGV40-fordonen till 2030. De blåa staplarna visar på kostnader relaterade till fordonet (investering samt service och reparationer), medan de gråa delarna är relaterade till energi/bränsleförbrukning (bränslekostnad, distributionskostnader för bränsle samt investeringskostnader för bränsledistributionsinfrastruktur).



Figur 12. Relativ mobilitetskostnad för HGV40 år 2030. De två streckade linjerna visar dels på nivån för fordonskostnaden inklusive service och reparationer, dels på nivån för den totala mobilitetskostnaden för det rena dieselfordonet. Infrastrukturkostnader för elvägarna bygger på ett utbyggnadsfall om ca 985 km elväg som helt bärs av de tunga fordonen.



Figur 13. Relativ mobilitetskostnad för HGV40 år 2030. Denna figur visar samma resultat som föregående figur, men här är alternativen rangordnade efter relativ mobilitetskostnad i stället för att ligga gruppvis med samma teknik men olika bränsleproduktionssystem (som i föregående figur).

Från resultaten för HGV40 i tidsperspektivet till 2030 kan man utläsa att:

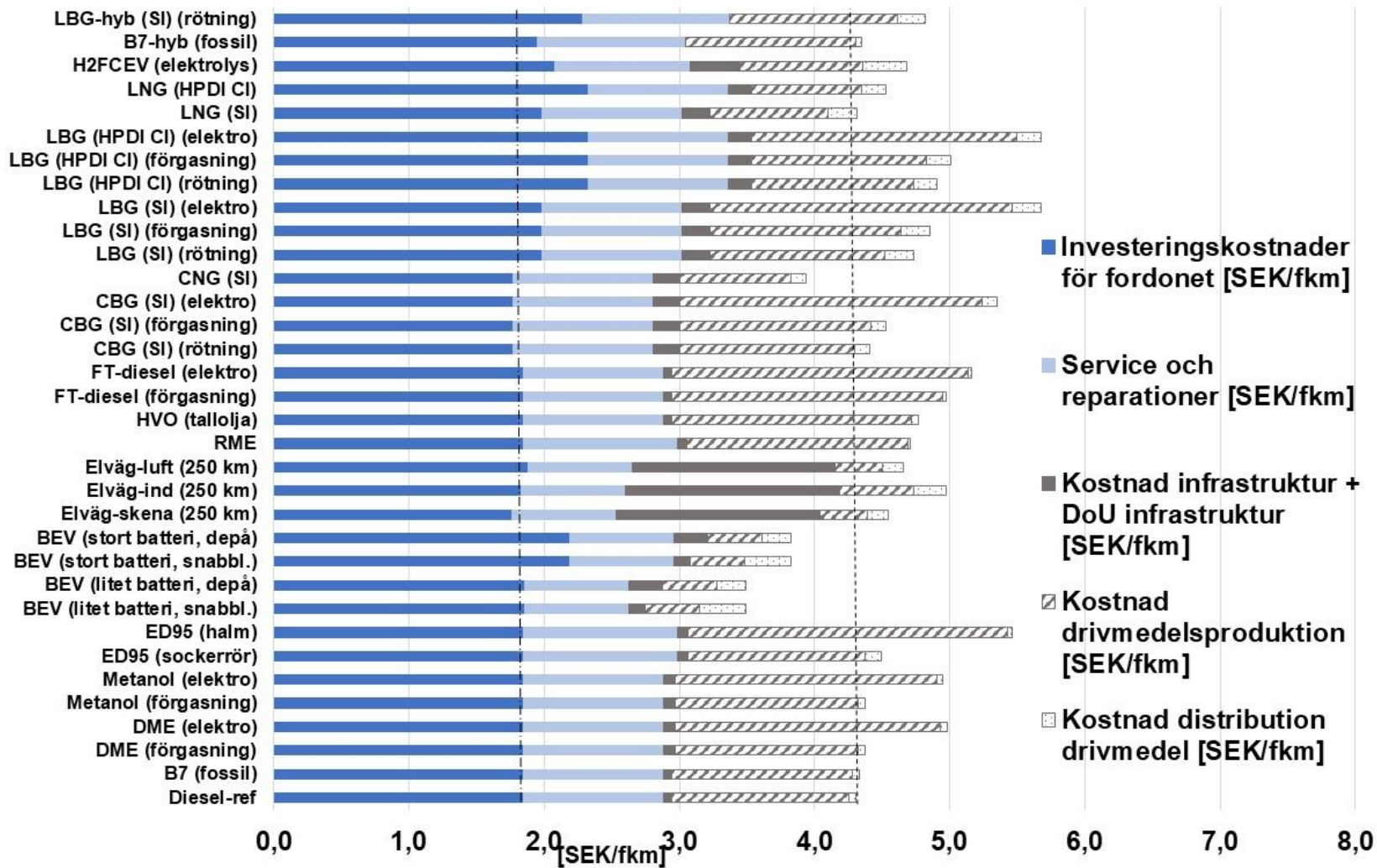
- BEV med litet batteri (600 kWh) får lägst relativ mobilitetskostnad. Det är betydligt billigare än diesel och fallet med depåladdning är billigast.
- CNG-fordonet får lägre relativ mobilitetskostnad än dieselfordonet till 2030 (detta gäller bara när den kör på fossilt bränsle).
- BEV med stort batteri beräknas få en lägre relativ mobilitetskostnad än dieselreferensen år 2030. Detta gäller dock bara för depåladdning och inte för snabbladdning.
- Infrastrukturkostnaderna är höga för elvägarna (i Figur 12 och Figur 13 baseras de på ett utbyggnadsfall om ca 985 km som helt bärs av de tunga fordonen). Känslighetsanalysen i avsnitt 5.2.2 visar också att den är osäker. Storleken på kostnaden beror utöver investeringskostnaden för själva fordonet också på vilket utbyggnadsfall som förutsätts (hur många fordon man kan nå och som kan dela på kostnaden). Även teknikvalet spelar roll då vissa tekniker endast möjliggör för tunga fordon att använda systemet, medan andra tekniker även kan användas av andra fordon.
- Infrastruktur- och distributionskostnader för vätgas utgör en ansevärd del av energikostnaderna i fallet med bränslecellsfordon. Totalt sett har bränslecellsfordonet höga kostnader.
- Distributionskostnaden av el (laddningen) av BEV-fordonen är hög. Snabbladdning ger högre kostnader än depåladdning.
- Elektrobränslena är väldigt dyra i jämförelse med andra alternativ.

LBG-fordonen blir dyra, delvis beroende på vilket antagande vi gjort om hur stora gastankar de har med sig. Med en mindre gastank (och därmed kortare räckvidd) kan de bli betydligt billigare.

I Figur 14 visas de beräknade relativa mobilitetskostnaderna för HGV40 till 2045. Jämfört med resultaten för år 2030 visar resultaten för år 2045 att:

- Den relativa mobilitetskostnaden för BEV sjunker snabbare än för dieselalternativet. 2045 har samtliga BEV-fall betydligt lägre relativa mobilitetskostnader än dieselalternativet (2030 hade fortfarande BEV med stort batteri och snabbladdning högre kostnader än diesel).
- Elvägfordonens relativa mobilitetskostnad förhåller sig på ungefär samma sätt till dieselfordonet som för år 2030. Detta bygger på antagandet om konstant genomslag, d.v.s. hur stor andel av den tunga trafiken som nås av en viss utbyggnad. I känslighetsanalysen i avsnitt 5.2.2 redovisas hur kostnaderna för elvägarna påverkas av genomslaget men också av andra parametrar så som utbyggnadsgrad och investeringskostnad per vägkilometer. Tar man hänsyn till att genomslaget blivit större, d.v.s. en ökad andel tunga fordon som nyttjar elvägen och delar på infrastrukturkostnaden, så hamnar både elväg skena och elväg luft på lägre total kostnad än diesel (se Figur 23).
- Bränslecellsalternativet blir betydligt billigare jämfört med 2030, men har fortfarande högre kostnader än diesel. Skillnaden uppgörs till ungefär lika delar av fordonsrelaterade och drivmedelsrelaterade kostnader.

Relativ mobilitetskostnad HGV40, 2045, exkl. skatter

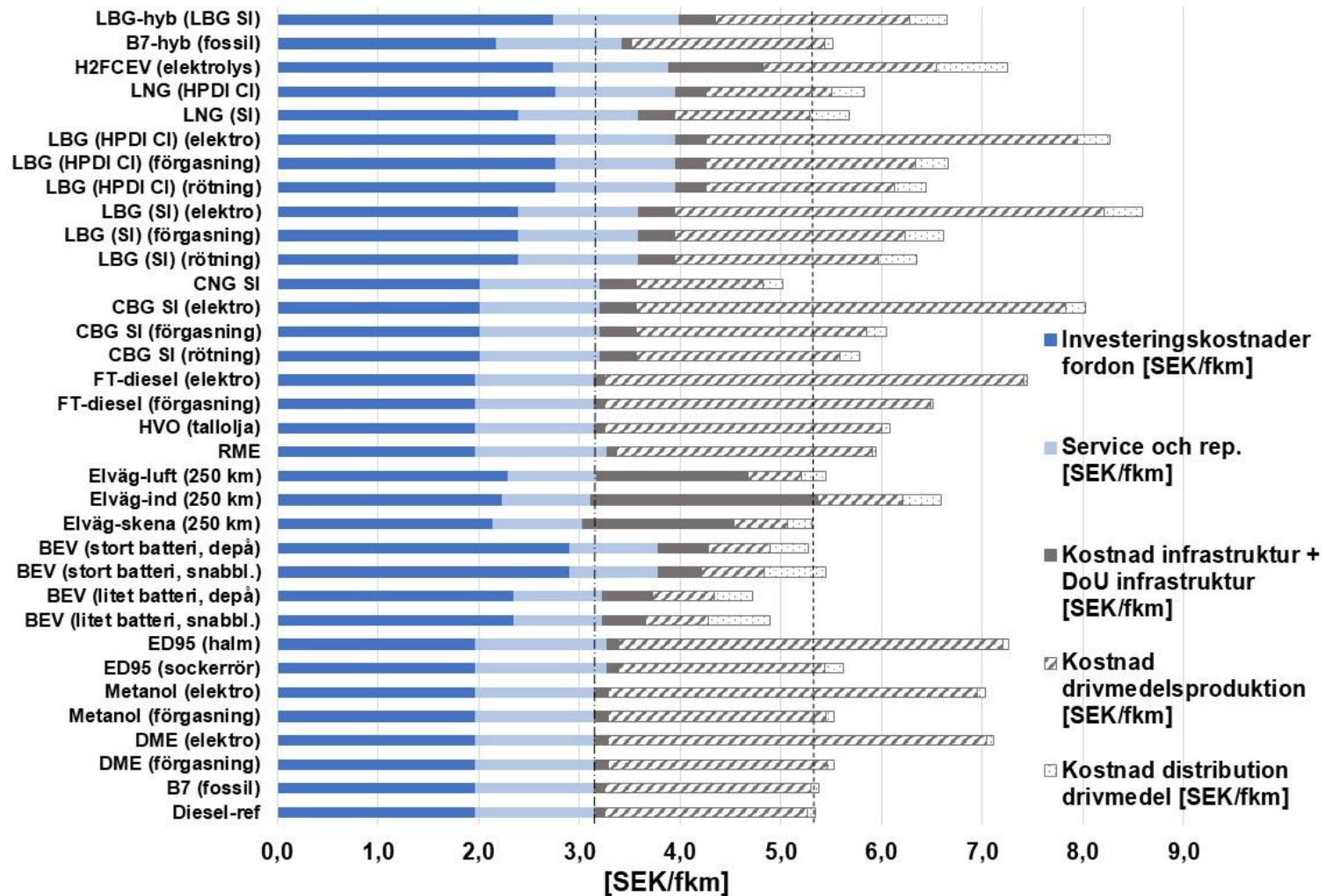


Figur 14. Relativ mobilitetskostnad för HGV40 till 2045 utan skatter och avgifter.

I Figur 15 redovisas den relativa mobilitetskostnaden för HGV60 till 2030. Resultaten är desamma som för HGV40, med undantag för elvägsfordonen där den relativa skillnaden är mindre. Detta beror på att vi har valt att belasta varje fordon med en investeringskostnad som är lika stor per fordonskilometer, och därmed utgör investeringskostnaden en mindre andel av totalkostnaden för HGV60-fordonen jämfört med HGV40-fordonen. Elvägsfordonen i HGV60-fallet står sig därför bättre i förhållande till dieselfordonet. För HGV60-fordon år 2030 får elväg med luftledning en relativ mobilitetskostnad på samma nivå som dieselreferensen och elväg (skena) får en lägre totalkostnad.

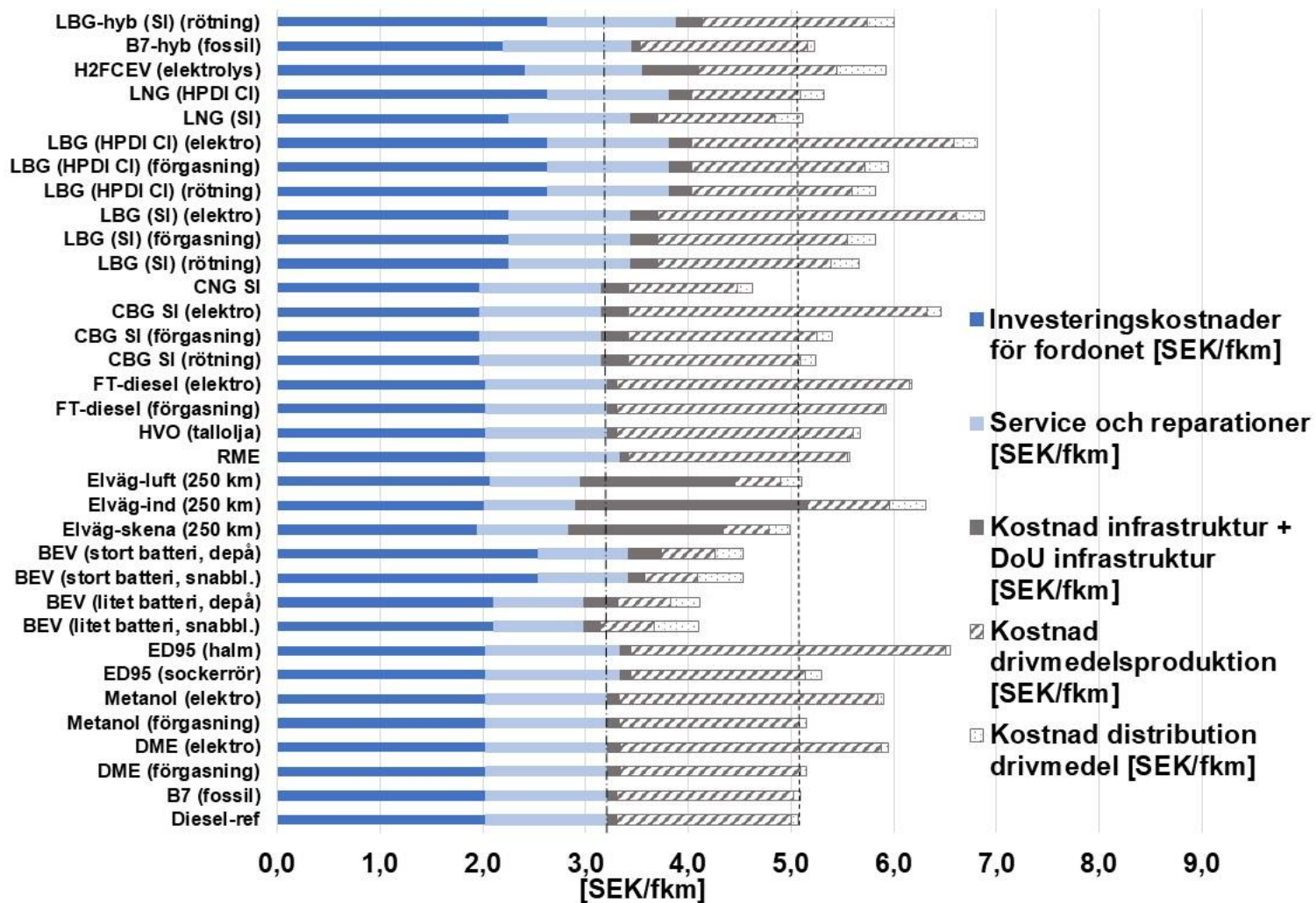
Resultaten i Figur 16 är i stort de samma som för HGV40 till 2045 med undantag för elvägsfordonen. Elvägsalternativen (skena och luft) får en lägre totalkostnad jämfört med dieselreferensen vilket bland annat beror på att investeringskostnaden för elvägen utgör en relativt sett mindre del av totalkostnaden, och bränslekostnaden blir en större del för dieselfordonet.

Relativ mobilitetskostnad HGV60, 2030, exkl. skatter



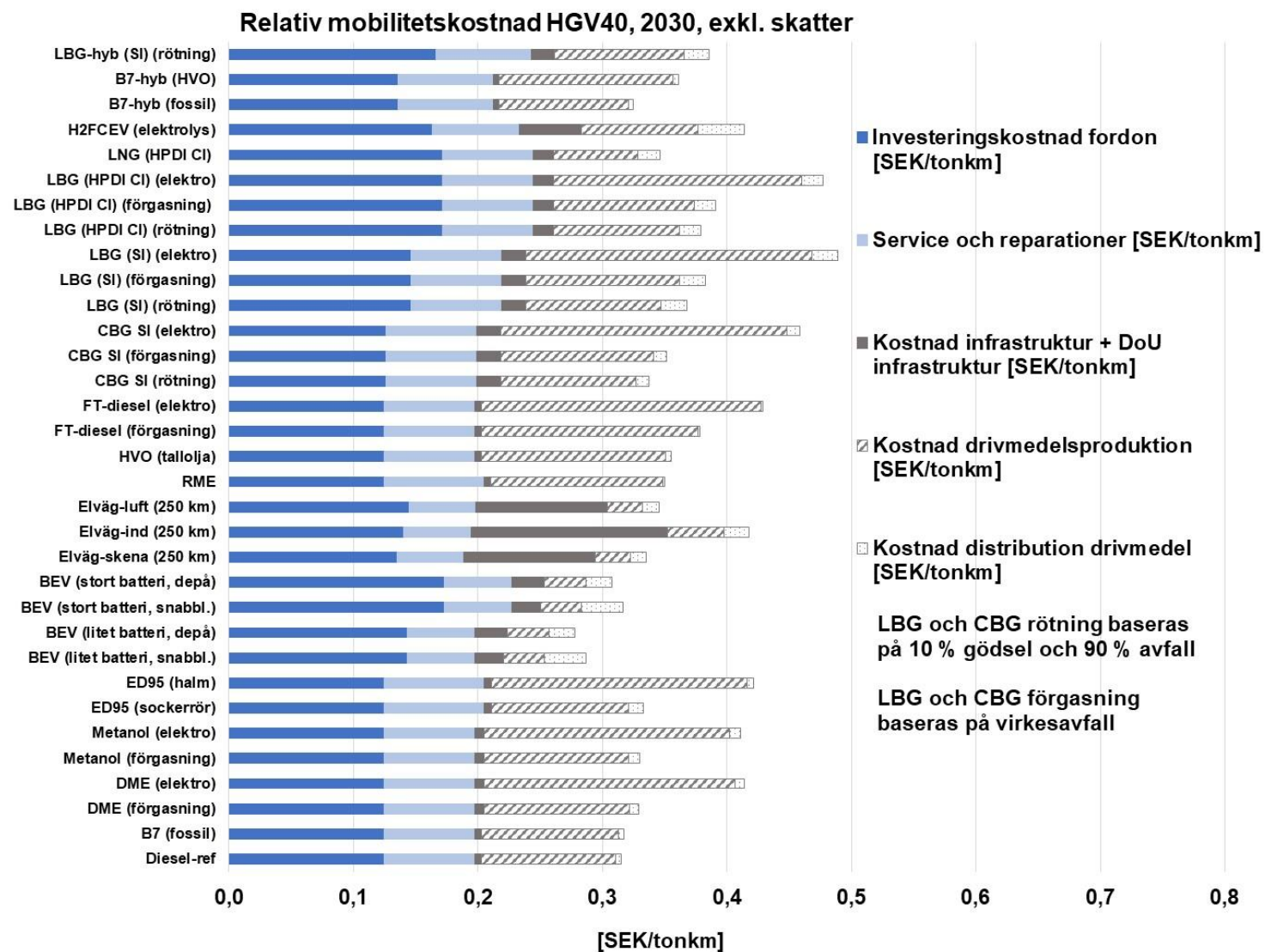
Figur 15. Relativ mobilitetskostnad för HGV60 till 2030 exklusive skatter och avgifter.

Relativ mobilitetskostnad HGV60, 2045, exkl. skatter

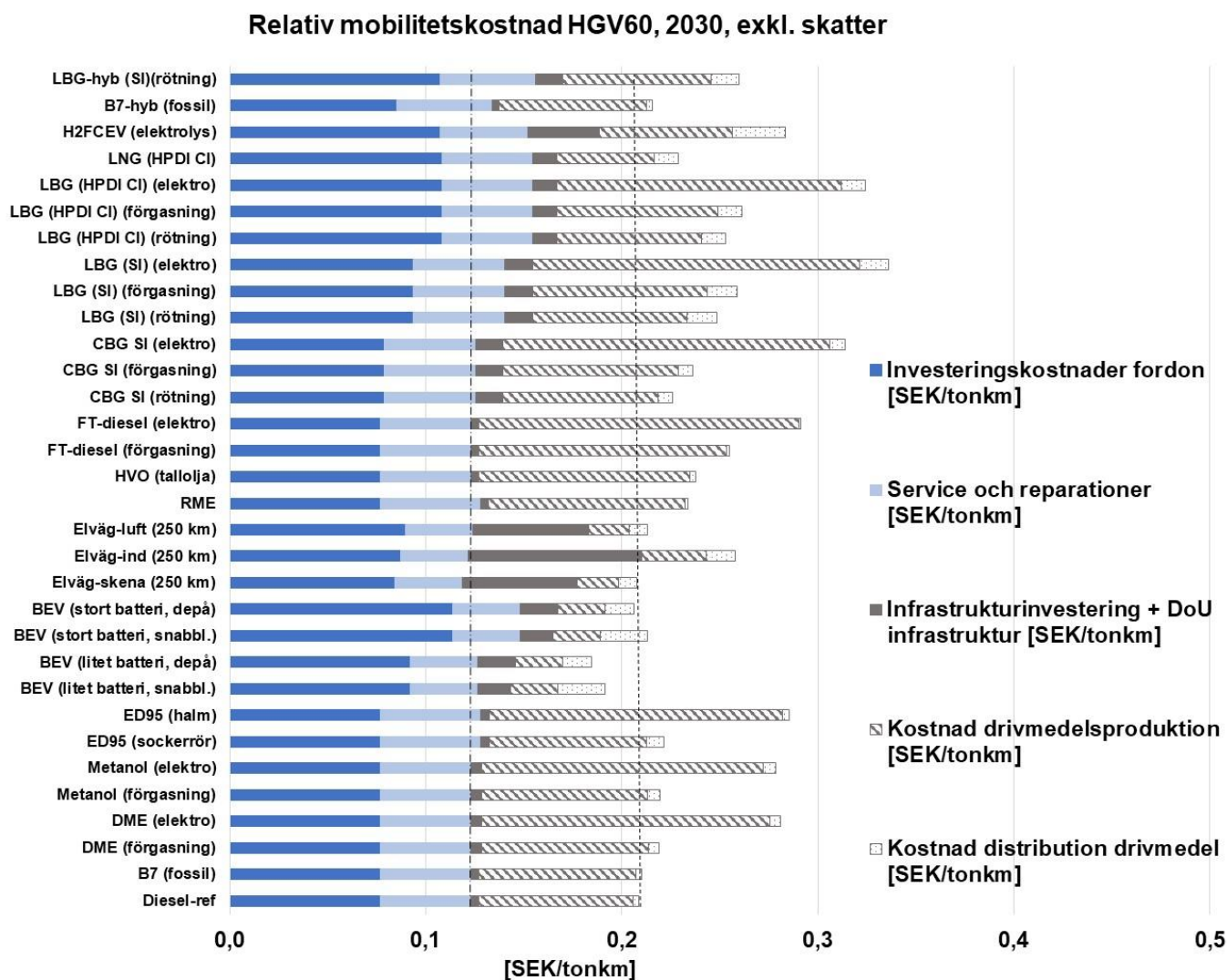


Figur 16. Relativ mobilitetskostnad för HGV60 till 2045 exklusive skatter och avgifter.

I Figur 17 och Figur 18 visas också resultaten för HGV40 och HGV60 i tidsperspektivet till 2030 per tonkm. Det är främst för elvägarna som resultaten skiljer sig åt jämfört med beräkningarna per fordonskilometer. Detta beror på att vi har valt att inkludera investeringskostnaden för elvägen per fordonskilometer. Därmed kommer elvägsalternativen bättre ut för HGV60 då vi räknar per tonkm. Det är dock inte givet att man väljer en modell där man betalar per fordon, utan kanske mer troligt att man väljer en betalningsmodell som relaterar till vilken energimängd man använder. Någon sådan beräkning har vi dock inte gjort i denna studie. I övrigt är resultaten identiska med resultaten som anges per fordonskilometer.



Figur 17. Relativ mobilitetskostnad för HGV40 2030 exklusive skatter och avgifter beräknat i SEK/tonkm.



Figur 18. Relativ mobilitetskostnad för HGV60 2030 exklusive skatter och avgifter beräknat i SEK/tonkm.

I Figur 19 visas resultatet av den relativa mobilitetskostnaden för HGV40 till 2030 men med tillägg av en CO_{2e}-kostnad baserad på CO_{2e}-utsläppen kopplade till drivmedlet. CO_{2e}-kostnaden ligger på samma nivå som dagens svenska CO₂-skatt, d.v.s. 1,17 SEK/kg CO_{2e}. Emissionsfaktorerna för respektive bränsle anges i Tabell 36 i bilaga 5. Notera att vi har räknat emissionsfaktorer för bränslena som inkluderar även uppströms utsläpp kopplade till produktionen av bränslet (WtW, well-to-wheel).

Resultaten som ses i Figur 19 visar att med en CO_{2e}-kostnad motsvarande dagens CO₂-skattenivå blir

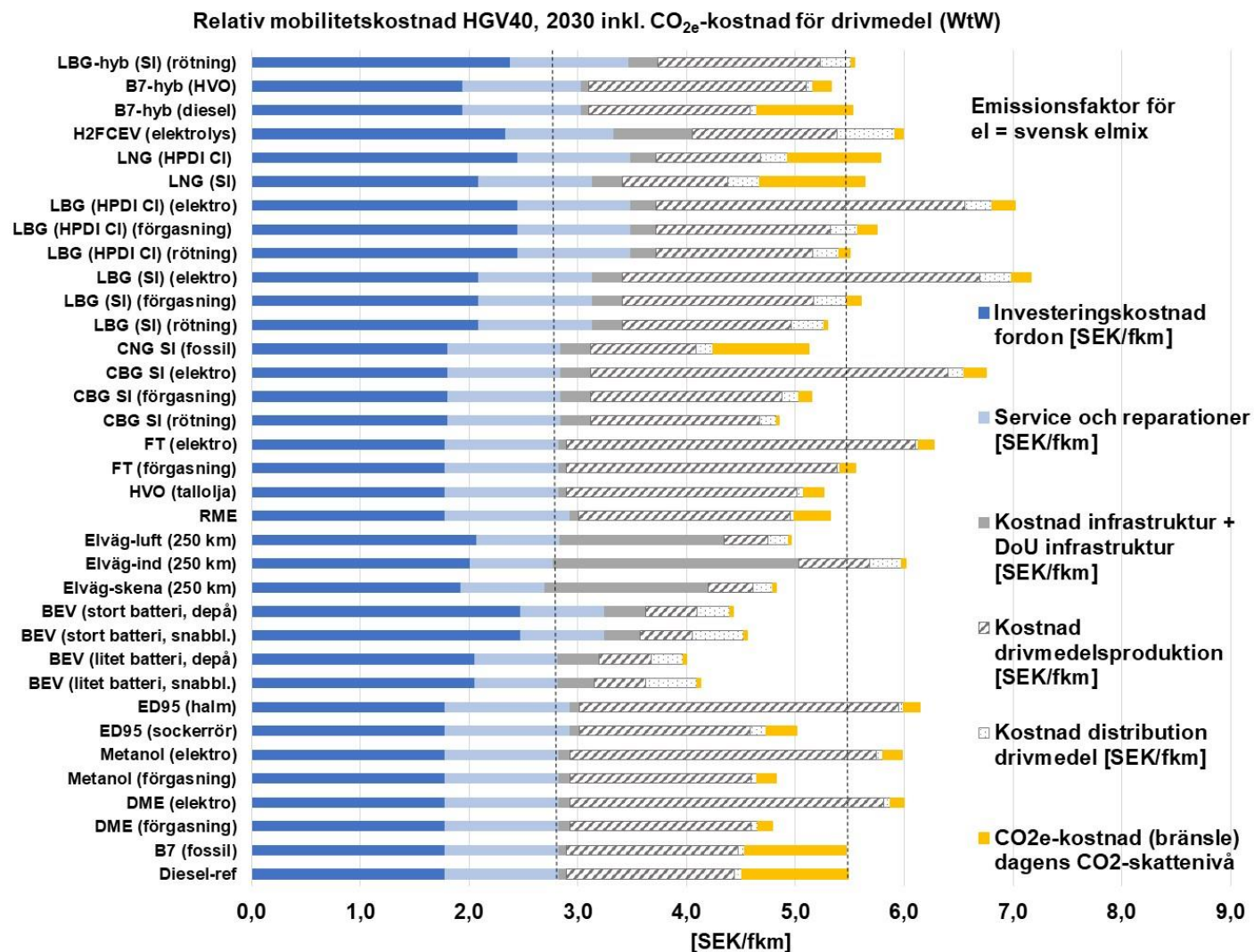
- Kostnaden för BEV betydligt lägre än för diesel.
- Kostnaderna för CBG och LBG (SI) med biogas från rötning blir lägre än kostnaderna för dieselfordonet. För CBG blir totalkostnaden även lägre i det fall gasen är producerad genom förgasning.
- Kostnaden för flera av biobränslefordonen blir lägre än diesel; ED95 (etanol från sockerrör), DME, MeOH, RME, HVO.
- De två elvägsteknikerna med den lägre infrastrukturkostnaden (skena i väg och luftledning) får lägre totalkostnad än diesel.
- Kostnaderna för elektrobränslen och bränsleceller är fortfarande högre än de för diesel.

I Figur 20 redovisas ett exempel där CO_{2e}-kostnaden är lagd på en betydligt högre nivå, nämligen 7 SEK/kg som är den nivå som rekommenderas i ASEK 7.0 för beräkning av t.ex. samhällsekonomisk lönsamhet för nya infrastrukturprojekt. I både Figur 19 och Figur 20 används emissionsfaktorer som svarar mot bränslets emissioner i ett livscykelperspektiv (WTW). Emissionsfaktor för den el som kommer från elnätet motsvarar den för svensk elmix. I Figur 21 visas resultaten i det fall att emissionsfaktorn för den el som kommer från elnätet i stället motsvarar en genomsnittlig EU-mix.

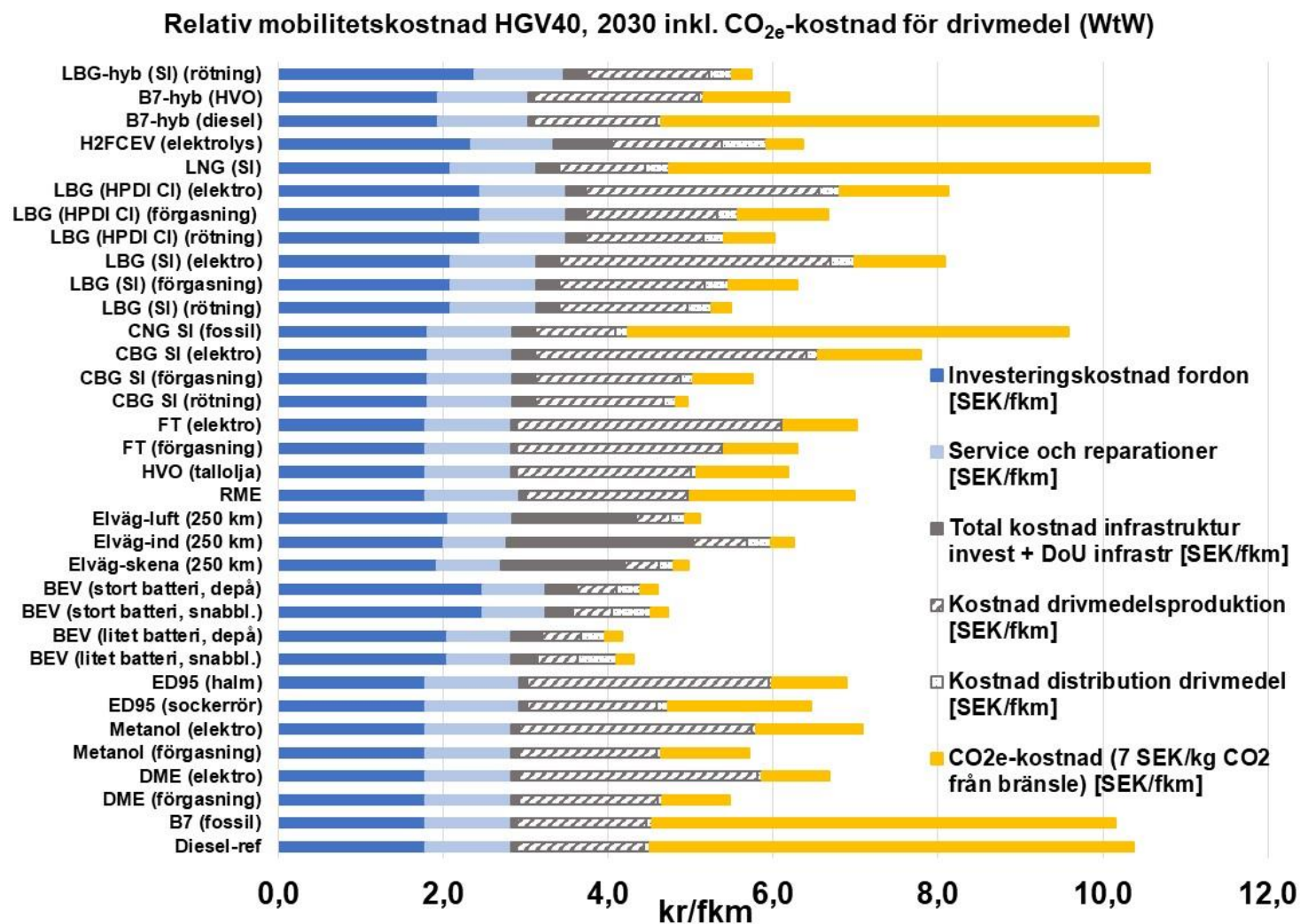
Notera att det i dagsläget inte är möjligt att ta ut en skatt på bränslen på det sätt som visas i Figur 19 och Figur 20.

Resultaten i Figur 19 och Figur 20 visar att:

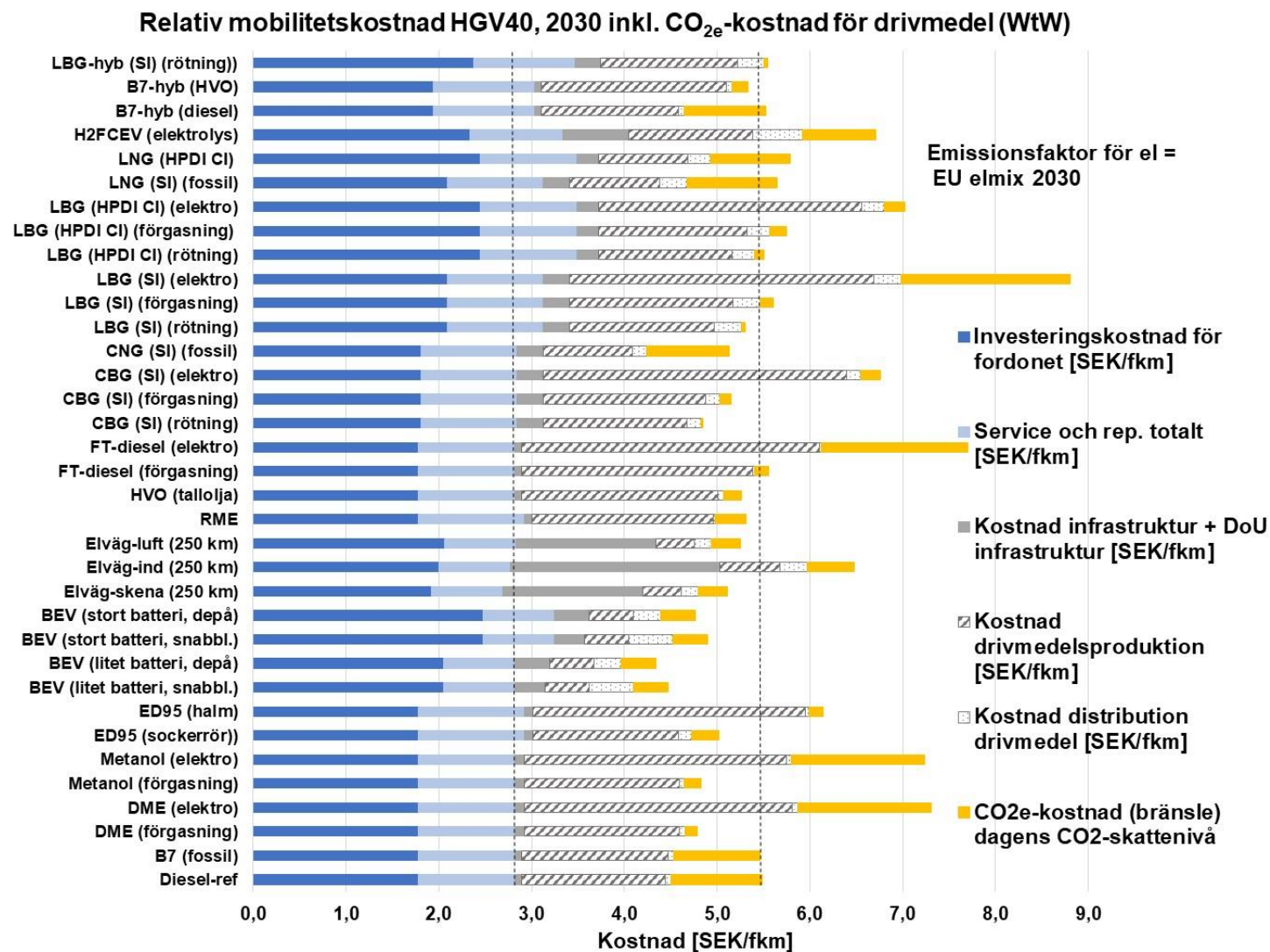
- Adderas en kostnad (7 SEK/kg CO_{2e}) motsvarande den nivå som numera rekommenderas i ASEK för samhällsekonomiska analyser av till exempel nya infrastrukturprojekt, för de utsläpp som relaterar till fordonens drivmedelsförbrukning (här räknas drivmedlens utsläpp i WTW-perspektiv), får samtliga fossilfria alternativ en lägre kostnad än dieselreferensen.
- Sänks den pålagda kostnaden för CO_{2e} till en nivå med dagens CO₂-skatt på 1,17 SEK/kg CO₂, får de konduktiva elvägsteknikerna i likhet med BEV-alternativen en relativ mobilitetskostnad som är betydligt lägre än för dieselfordonet. En lägre relativ mobilitetskostnad än diesel får även DME och metanol (produktion via förgasning) samt CBG (produktion via rötning). Vid denna CO_{2e}-kostnad blir den relativa mobilitetskostnaden för RME; HVO och LBG SI (produktion via förgasning) på samma nivå eller något billigare än dieselfallet.



Figur 19. Relativ mobilitetskostnad för HGV40 år 2030 inklusive CO_{2e}-kostnad om 1,17 SEK/kg som tas ut på CO_{2e}-utsläpp baserat på utsläpp förknippade med drivmedlet.



Figur 20. Relativ mobilitetskostnad för HGV40 år 2030 inklusive CO_{2e}-kostnad om 7 SEK/kg, vilket motsvarar det rekommenderade värdet för samhällsekonomiska beräkningar enligt ASEK 7.0.



Figur 21. Relativ mobilitetskostnad för HGV40 år 2030 inkl. CO_{2e}-kostnad om 1,17 SEK/kg, samt där emissionsfaktorn för el från elnätet motsvarar en EU-mix.

I Tabell 20 ges en sammanfattning av resultaten för kostnadsberäkningarna för HGV40.

Tabell 20. Sammanfattning av kostnadsberäkningarna för HGV40.

Framdrivningsalternativ	I tidsperspektivet till 2030	I tidsperspektivet till 2045
BEV	Lägre relativ mobilitetskostnad än dieselreferensen. Alternativet med stort batteri och snabbladdning hamnar på samma nivå som dieselreferensen. Investeringskostnaden för fordonet är högre än dieselalternativet (för stort och litet batteri).	Samtliga BEV-alternativ har betydligt lägre relativ mobilitetskostnad än dieselreferensen. Batteriernas kostnadsutveckling bidrar starkt till kostnadsreduktionen jämfört med nivån 2030. Investeringskostnaden för fordonet med litet batteri är nu lägre än för dieselreferensen.
	Service och reparationskostnaden är lägre än för dieselreferensen. Distributionskostnaderna för elen är höga i jämförelse med andra alternativ och framför allt vid snabbladdning.	
Biobränslen	DME (förgasning), metanol (förgasning), ED95 (sockerrör) och CBG (rötning) får 4–7 %, högre relativ mobilitetskostnad än dieselreferensen.	DME (förgasning), metanol (förgasning), ED95 (sockerrör) och CBG (rötning) får 1–5 %, högre relativ mobilitetskostnad än diesel.
	Investeringskostnaderna för fordonen med de flytande biodrivmedlen är på samma nivå som för dieselreferensen. För gasfordonen är investeringskostnaden högre än för dieselreferensen år 2030 och år 2045, med undantaget för CBG SI-fordonet i tidsperspektivet till 2045, som har en lägre investeringskostnad än dieselreferensen. Service och reparationskostnaderna för gasfordonen (CBG/LBG) samt för biodrivmedlen, DME, metanol, HVO och FT-diesel är desamma som för diesel, medan de för RME och ED95 är 10 % högre än för dieselreferensen.	
Elvägar	Elväg (skena) har en 6 % högre relativ mobilitetskostnad än diesel. De andra teknikernas kostnader är högre.	Elväg (skena) har en 5 % högre relativ mobilitetskostnad än diesel. De andra teknikernas kostnader är högre.
	För samtliga tre tekniker är: Investeringskostnaden för fordonet högre än för dieselreferensen i tidsperspektivet till 2030, men lägre än för dieselreferensen i tidsperspektivet till 2045. Service och reparationskostnaderna för fordonet lägre än för dieselreferensen. Drivmedelsproduktionskostnaderna (d.v.s. elproduktionskostnaderna) är lägre än kostnaderna för dieselproduktionen. Infrastrukturkostnaderna för elvägsalternativen är mycket höga jämfört med motsvarande kostnader för alla andra alternativ. Den höga osäkerheten av infrastrukturkostnaderna beror på flera faktorer; storleken på det utbyggda elvägsnätet, hur många fordon som kommer att använda elvägsnätet samt vilken teknik som installerats (vilket påverkar vilka fordon som faktiskt kan använda infrastrukturen).	
Bränsleceller med vätgas	~30 % högre relativ mobilitetskostnad än diesel. Investeringskostnaden för fordonet är ca 30 % högre än för dieselreferensen. Infrastrukturkostnaderna för vätgasdistributionen är 9,6 ggr högre än för diesel och distributionskostnaderna för vätgasen är 8,5 ggr högre än för diesel. Drivmedelsproduktionskostnaden är 14 % lägre än för diesel.	~9 % högre relativ mobilitetskostnad än diesel. Investeringskostnaden för fordonet är ca 13 % högre än för dieselreferensen. Infrastrukturkostnaderna för vätgasdistributionen är 5,9 ggr högre än för dieselreferensen och distributionskostnaderna för vätgasen är 6 ggr högre än för diesel. Drivmedelsproduktionskostnaden är 30 % lägre än för dieselreferensen.
	Service och reparationskostnaderna är lägre än för dieselreferensen.	
Elektrobränslen	Dyraste alternativen i bägge tidsperspektiven (särskilt de gasformiga).	

5.2 KÄNSLIGHETSANALYSER FÖR KOSTNADSBERÄKNINGAR

5.2.1 Känslighetsanalys vätgas/elproduktion

Utveckling av kostnader för vätgas beror mycket på framtida utveckling och tillväxt inom sektorn. EU har under sommaren 2020 lanserat sin vätgasstrategi (European Commission, 2020) och flera europeiska länder har nationella strategier på plats eller under utveckling. I EU:s vätgasstrategi vill man främja utvecklingen inom samtliga sektorer för produktion, distribution och användning av vätgas som ett bidrag till målet med koldioxidneutralitet. En massiv satsning på vätgas kan påverka kostnadsutvecklingen framför allt i produktions- och distributionsleden. För att undersöka påverkan av utvecklingen på de relativa mobilitetskostnaderna har ett antal parametrar i kostnadsanalysen varierats.

Ett av målen som nämns i EU:s vätgasstrategi är att uppnå jämförbara produktionskostnader för grön vätgas (från förnyelsebar el) och fossil vätgas. Målen innebär kostnader omkring 1,5 EUR/kg H₂ (15,4 SEK/kg H₂) till 2030. Vissa studier målar upp ännu kraftigare kostnadsminskningar som dessutom spås komma till närmare i tid. Det franska företaget Soladvent presenterar till exempel prognoser för vätgaskostnader hos kund (produktion och distribution) på 1,5 EUR/kg H₂ och 1,0 EUR/kg H₂ (15,4 respektive 10,3 SEK/kg H₂) för år 2025 respektive 2030. För att uppnå dessa nivåer krävs dock både kraftiga minskningar av elektrolysörkostnader och mycket låga elkostnader (15 EUR/MWh (154 SEK/MWh) för att uppnå 1,5 EUR/kg H₂) (Lepercq, 2020).

En lägre vätgaskostnad kommer påverka kostnader för ett antal av de undersökta framdrivningsteknikerna. Elektrobränslen, som också är beroende av vätgas, får också betydligt lägre produktionskostnader vid lägre vätgaskostnader. De låga elkostnader som krävs för att uppnå låga vätgasproduktionskostnader kommer dessutom även att påverka marknadspriset för el. Detta i sin tur leder till lägre kostnader för samtliga fordon med eldrift.

En känslighetsanalys har gjorts avseende vätgaspriset. I den analyseras utfallet för den relativa mobilitetskostnaden vid lägre vätgaspriser än i vårt basfall. De fall som har undersökts är:

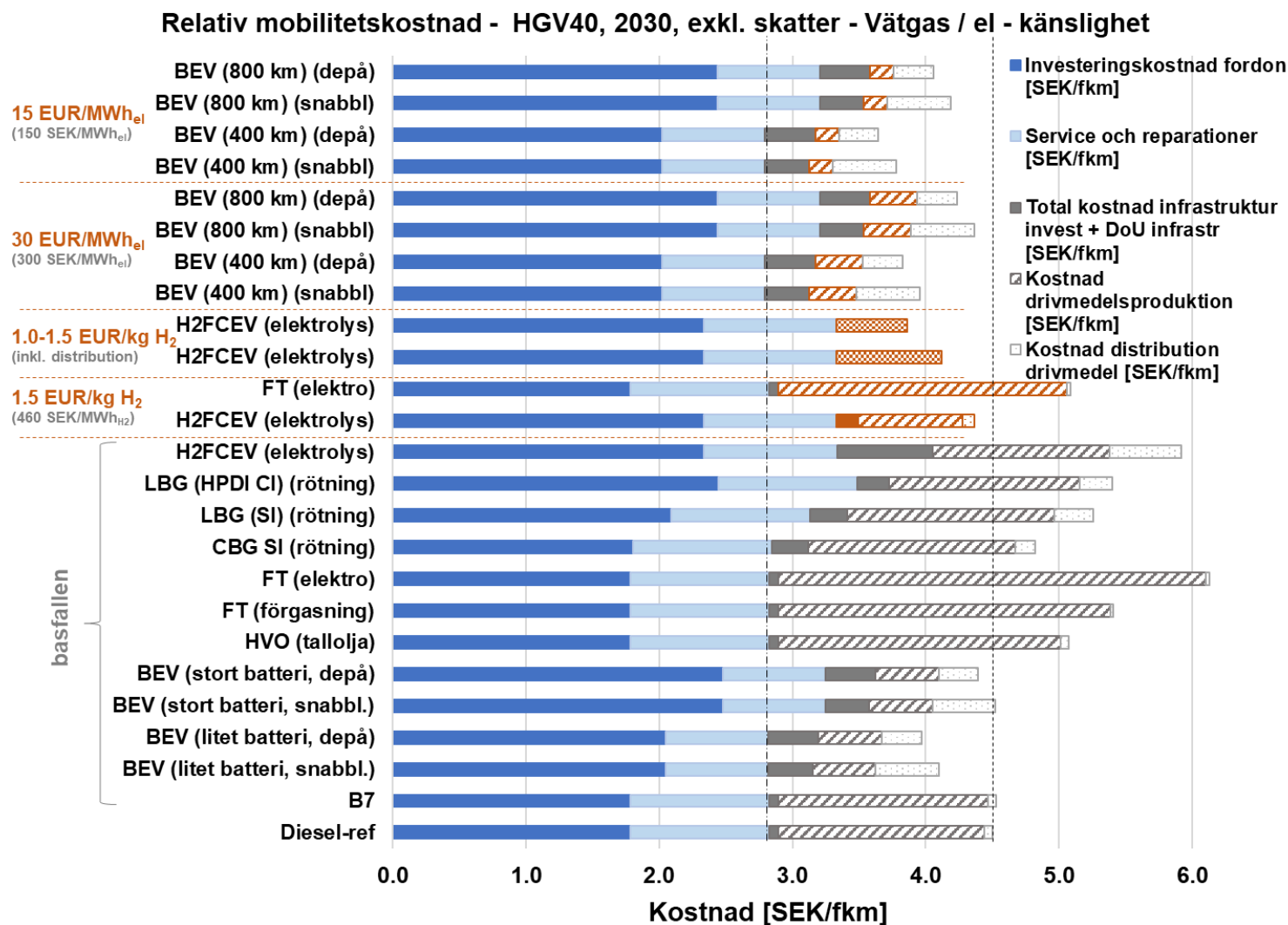
1,5 EUR/kg H ₂ (15,4 SEK/kg H ₂)	Vätgasproduktionskostnad på 1,5 EUR/kg H₂ (460 SEK/MWh) och distributionskostnader för vätgas på samma nivå som CBG (i SEK/MWh)
	Produktionskostnader för elektro-FT-diesel antas minska jämfört med basfallet 2030 med 80% av den relativa kostnadsminskningen för vätgas ¹⁷
1,0 – 1,5 EUR/kg H ₂ (10,3 – 15,4 SEK/kg H ₂)	Två nivåer där den totala kostnaden för produktion och distribution av vätgas ligger på 1,0 respektive. 1,5 EUR/kg H₂ (460 resp. 310 SEK/MWh); dessa nivåer representerar lägsta nivåer år 2030 och bör anses som extremfall
ca. 30 EUR/MWh _{el} (300 SEK/MWh _{el})	Elproduktionskostnader på 300 SEK/MWh (basfall 400 SEK/MWh) för att undersöka kostnader för batteridrivlinor
ca. 15 EUR/MWh _{el} (150 SEK/MWh _{el})	Elproduktionskostnader på 150 SEK/MWh (basfall 400 SEK/MWh) för att undersöka kostnader för batteridrivlinor

Resterande indata har varit oförändrade mot basfallen. Resultaten för de olika fallen samt ett antal basfall referens redovisas i Figur 22.

Känslighetsanalysen visar att bränslecellslastbilar uppnår samma relativa mobilitetskostnad per fordonskilometer som diesellastbilar om man antar produktionskostnader på 1,5 EUR/kg H₂ i kombination med lägre distributionskostnader. Produktionskostnader för vätgas är ca 41 % lägre jämfört med basfallet år 2030 (460 mot 780 SEK/MWh). De lägre produktionskostnaderna för FT-diesel (elektro) leder till att elektrobränslealternativet uppvisar lägre mobilitetskostnader än förgasningsbaserad FT-diesel. FT-diesel som elektrobränsle ligger, vid låga vätgaskostnader, i nivå med HVO från tallolja (där det dock inte tagits hänsyn till en minskning i produktionskostnader som skulle kunna vara relaterad till lägre vätgaskostnader). Om man antar att även elkostnader för batteridrift kommer att vara lägre i samband med låga vätgaskostnader så ger samtliga undersökta batteridrivna lastbilsalternativ lägre kostnader. Man bör dock notera att för basfallet (elkostnader på 400 SEK/MWh) är det enbart BEV med stort batteri med snabbaddning som resulterar i högre mobilitetskostnader än bränslecellslastbilen med låga vätgasproduktionskostnader.

De alternativen med extremt låga vätgasproduktions och -distributionsalternativ på 1,0 resp. 1,5 EUR/kg H₂ (10,3 resp. 15,4 SEK/kg H₂) ligger i på en nivå jämförbar med BEV (litet batteri) i basfall år 2030. Antar man dock att även elpriser kommer att vara på lägre nivå i ett sådant scenario så uppnår BEV (litet batteri) återigen lägre mobilitetskostnader. Kostnadsbilden skulle kunna förändras en del om man även antar att fordonskostnader (genom en massiv introduktion av bränslecellsbilar) kommer att bli lägre för bränslecellslastbilar. Fordonskostnaderna har dock antagits oförändrade mot basfallen (som syns på de blåa staplarna i Figur 22).

¹⁷ Produktionskostnader för vätgas minskar från 780 till 460 kr/MWh (41 % minskning) => produktionskostnader för elektro-FT-diesel antas minska med 33 % (80 % av 41 %), från 1270 till 850 kr/MWh.



Figur 22. Påverkan av vätgasproduktions- och distributionskostnader samt elproduktionskostnader på de relativa mobilitetskostnaderna för utvalda teknikalternativ (HGV40). Orangemarkerade staplar är de kostnadsbidrag som påverkas.

5.2.2 Känslighetsanalys för elvägar

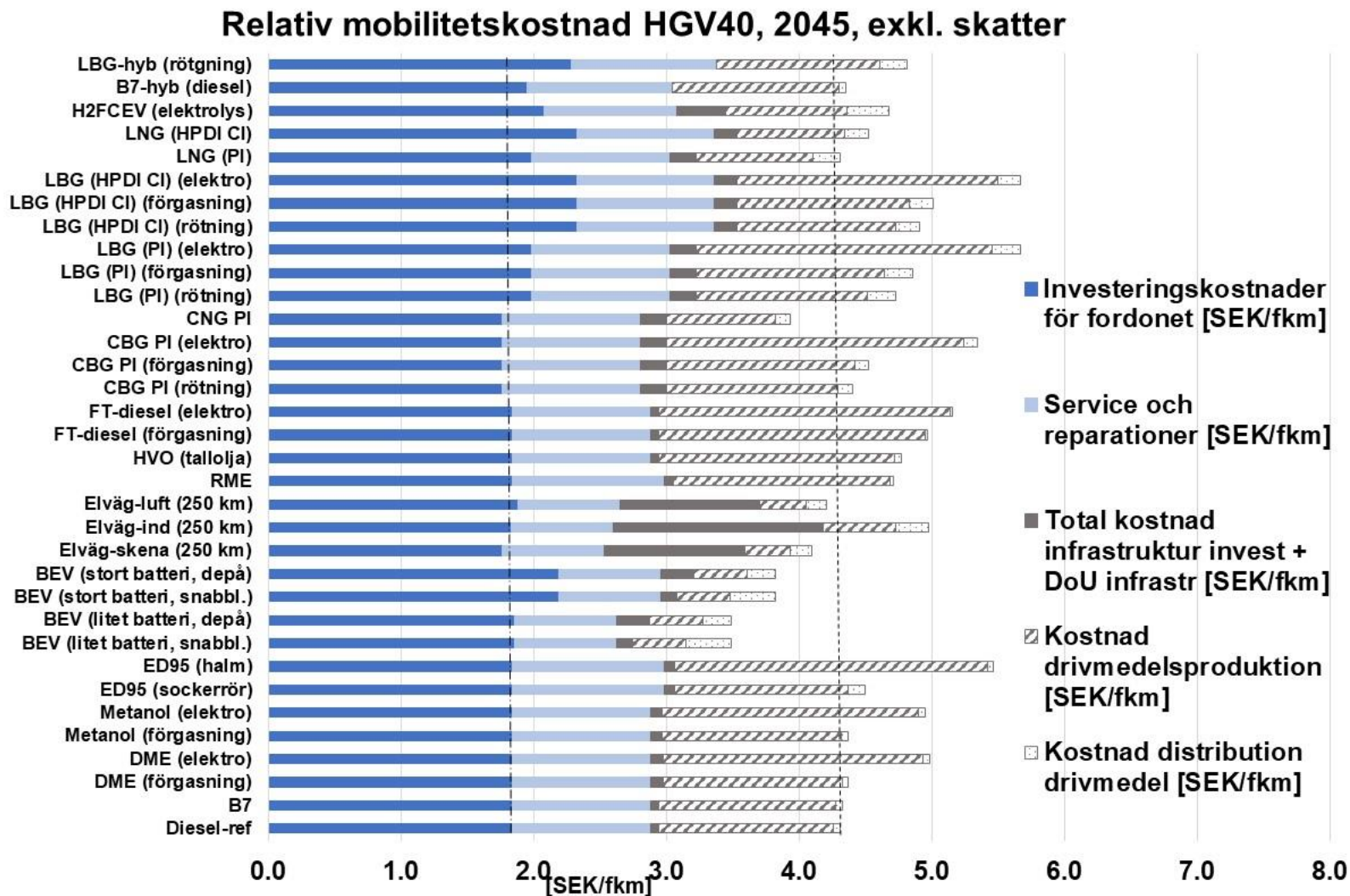
Elvägar är en teknik som inte är implementerad i någon större skala. Detta medför att flera parametrar är osäkra. Vi har identifierat följande parametrar som spelar stor roll för utfallet i kostnadsberäkningarna för elvägarna:

- Antalet fordon som kan dela på kostnaden för infrastrukturen.
- Nivån på investeringskostnaden

Antalet fordon som kan dela på kostnaden för infrastrukturen bestäms av

- Vilken teknik man analyserar; luftledning kan inte utnyttjas av mindre fordon, medan t.ex. induktiv teknik och skena i väg, eller vid sidan av väg potentiellt skulle kunna göra detta.
- Trafikmängd och utbyggnadsgrad
- Genomslag – det vill säga hur stor andel av de fordon som kör på vägen som också utnyttjar elvägsinfrastrukturen.

I de resultat som redovisas i kapitel 5.1.5 för den relativa mobilitetskostnaden för elvägar har vi gjort ett antagande att man bygger ut 1 % av det statliga vägnätet (de mest trafikerade) och därmed når ca 18 % av den tunga trafiken. Potentiellt skulle man kunna nå 25 % av den tunga trafiken, men vi har räknat med ett 70 procentigt genomslag (baserat på beskrivningen i Johansson m.fl. (2020)). I Figur 23 visas resultaten om vi antar ett 100 procentigt genomslag. I detta fall får elvägsfordonen (skena och luftledning) lägre kostnader än det konventionella dieselfordonet. En alternativ tolkning skulle kunna vara att vi slagit ut kostnaden på fler fordon, det skulle alltså också kunna innebära att en del lätta fordon också utnyttjar elvägen. Dock är det inte möjligt för luftledningstekniken.



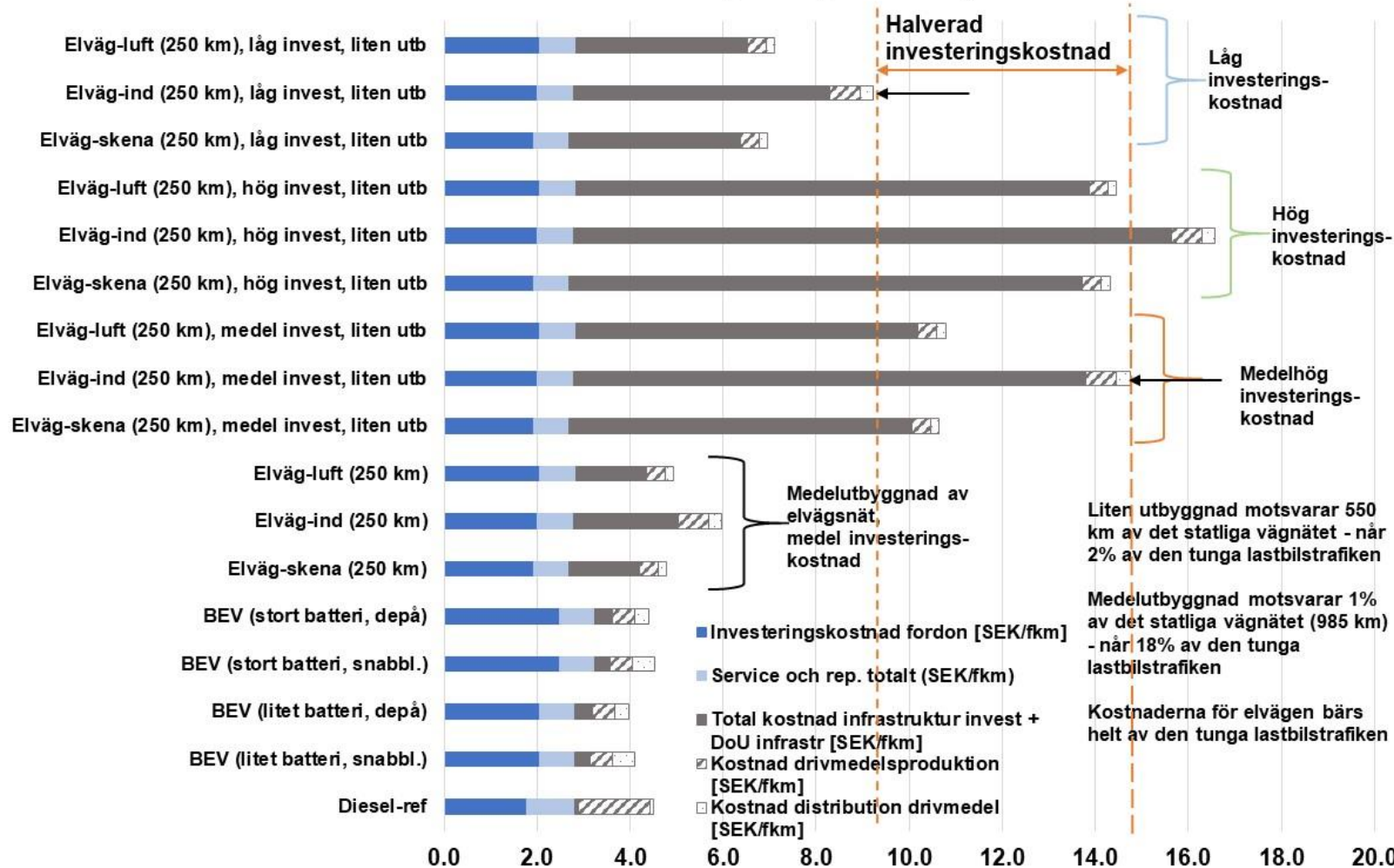
Figur 23. Relativ mobilitetskostnad för HGV40, 2045 med antaget att 100 % av tunga fordon som går på utbyggda elvägar använder tekniken.

Det större genomslaget skulle kunna ses på längre sikt och i Figur 23 visas hur det större genomslaget står sig i jämförelse med andra tekniker år 2045.

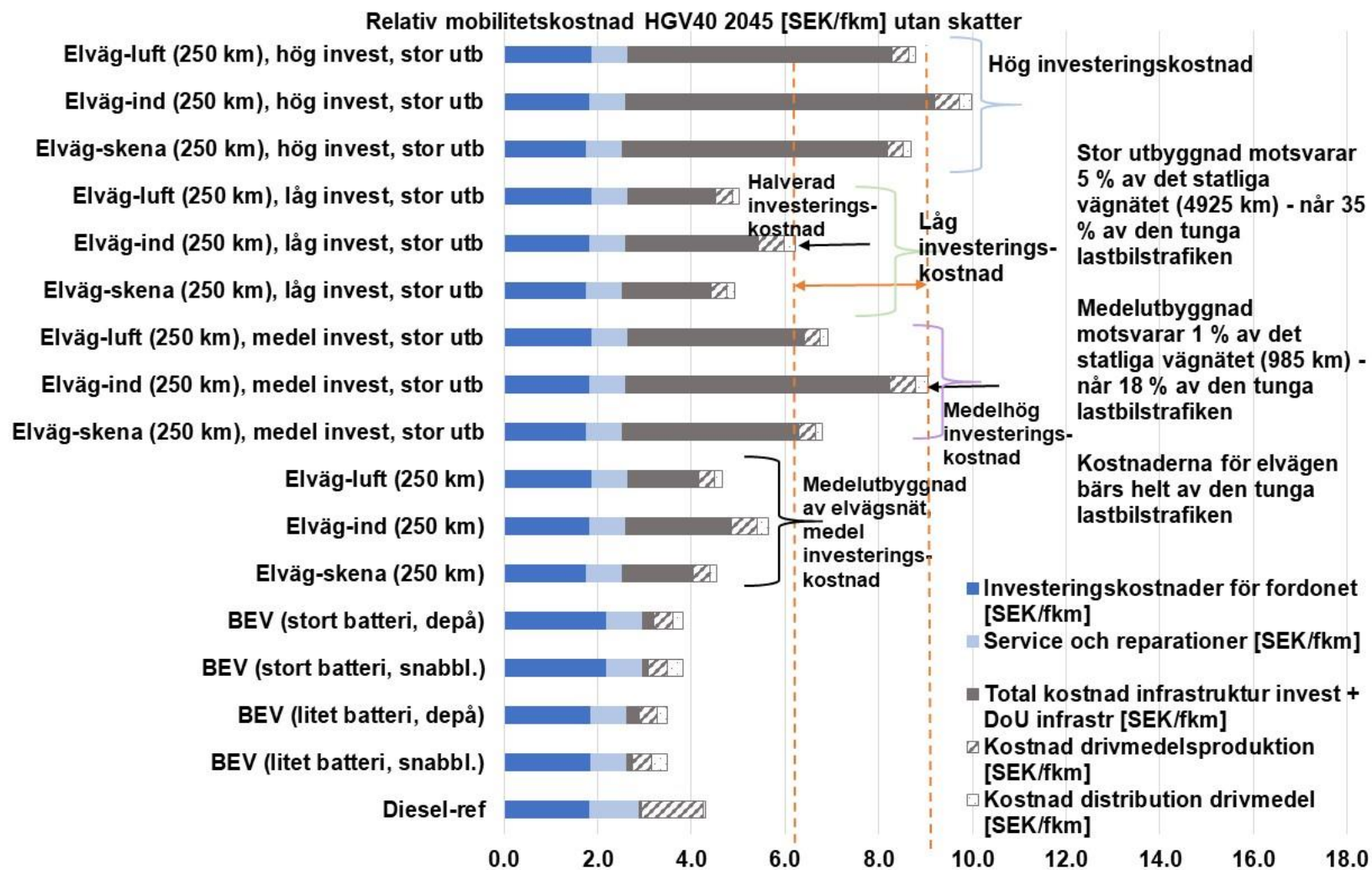
En känslighetsanalys där investeringskostnaden och utbyggnadsgraden varieras är också genomförd och resultaten redovisas i Figur 24 och Figur 25.

Av figurerna kan man se att investeringskostnaden för infrastrukturen har stor påverkan på kostnaden för elvägsfordonen, men att även utbyggnadsgraden och genomslaget (d.v.s. hur stor andel av trafiken som går på vägarna som faktiskt också använder elvägstekniken) har stor betydelse.

Relativ mobilitetskostnad HGV40, 2030 [SEK/fkm] utan skatter



Figur 24. Känslighetsanalys för elvägsfordon där investeringskostnaden för infrastrukturen varieras för ett litet (550 km) utbyggnadsfall av elvägar. Kostnaderna jämförs med BEV, diesel och elvägsfordon i ett elvägsutbyggnadsfall på 985 km.



Figur 25. Känslighetsanalys för elvägsfordon där investeringskostnaden för infrastrukturen varieras för ett utbyggnadsfall av elvägar där 5 % (4925 km) av det statliga vägnätet byggs ut. Kostnaderna jämförs med BEV och elvägsfordon i medelstort utbyggnadsfall.

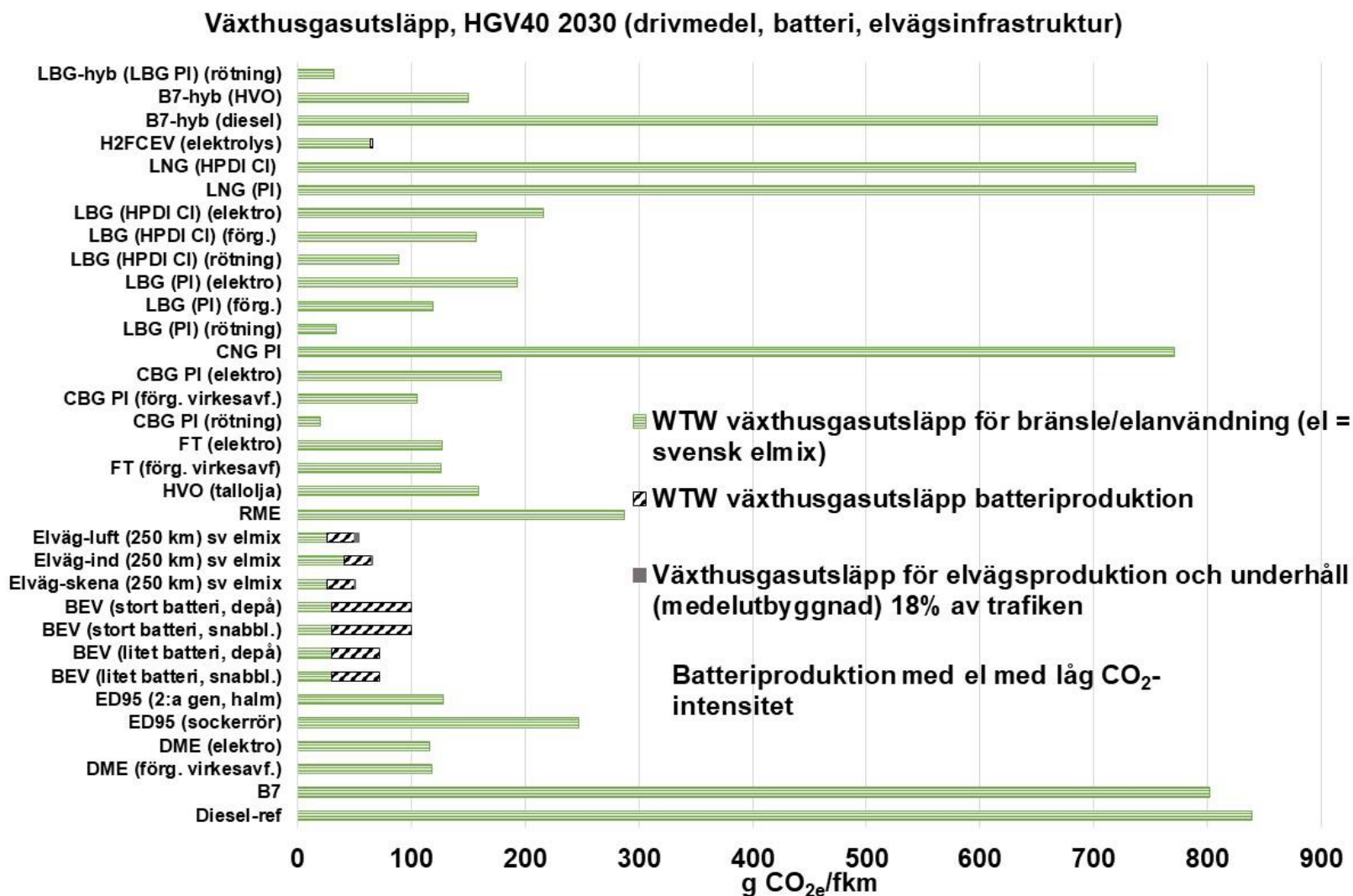
I Tabell 10 anges de investeringskostnader som används i känslighetsanalysen. I Tabell 21 anges de olika utbyggnadsfall som presenteras i känslighetsanalysen.

Tabell 21. Utbyggnadsfall och relaterat genomslag i den tunga lastbilstrafiken.

Scenario	Andel av statliga nätverket som byggs ut % (km)	Andel av tunga lastbilstrafiken som antas nås
Liten utbyggnad	(550 km)	2 %
Medelutbyggnad	1 % (985 km)	18 % (känslighet 25 %)
Storutbyggnad	5 % (4925 km)	35 %

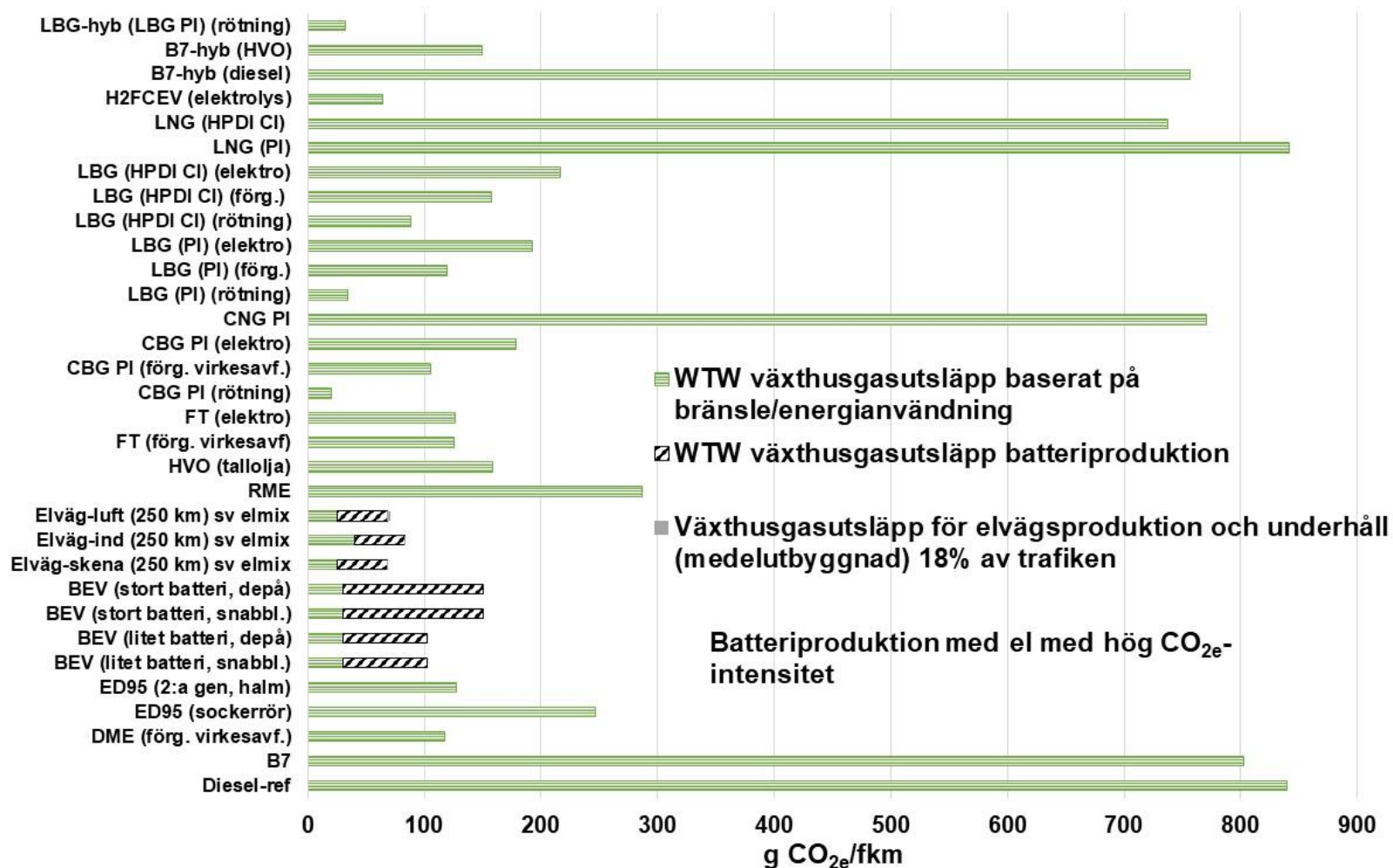
5.3 JÄMFÖRELSE AV VÄSTHUSGASPRESTANDA

I Figur 26 - Figur 29 jämförs växthusgasutsläppen per fordonskilometer för olika drivlinor baserat på utsläpp (WTW) från bränslet som används samt från batteriproduktion och även inkluderat merutsläpp för elvägsanläggningen (merutsläpp för konstruktion jämfört med dem för konstruktion av en vanlig väg). I Figur 26 används det lägre värdet på utsläpp förknippade med batteriproduktion (el- och värmemix med högre andel fossil energi).

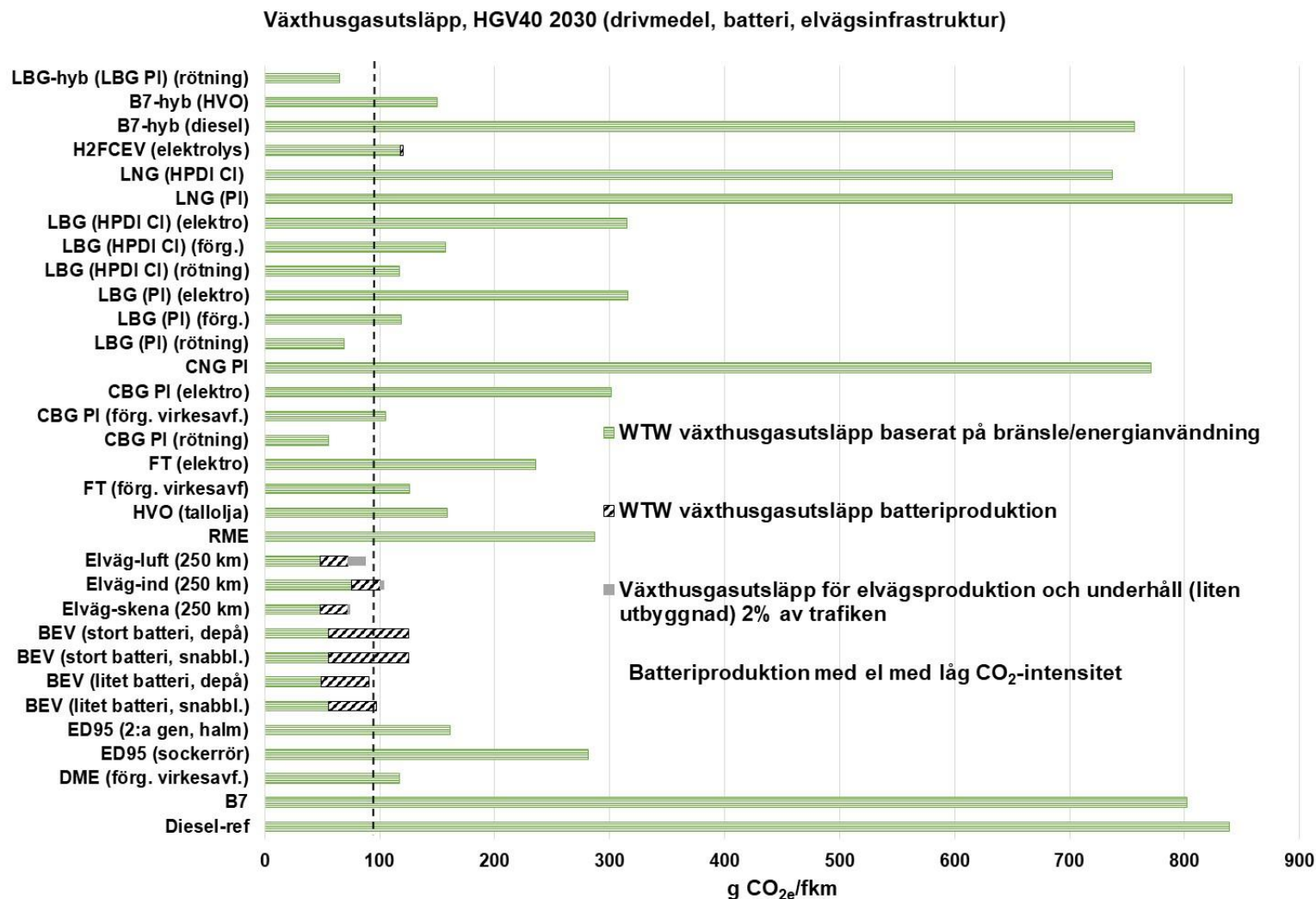


Figur 26. Växthusgasutsläpp för HGV40-fordon år 2030 inklusive utsläpp kopplade till drivmedelsförbrukning, batteriproduktion och elvägsinfrastruktur. Medelutbyggnadsfall för elvägarna (985 km). Batteriproduktionen sker med el- och värmemix med låga CO₂e-utsläpp.

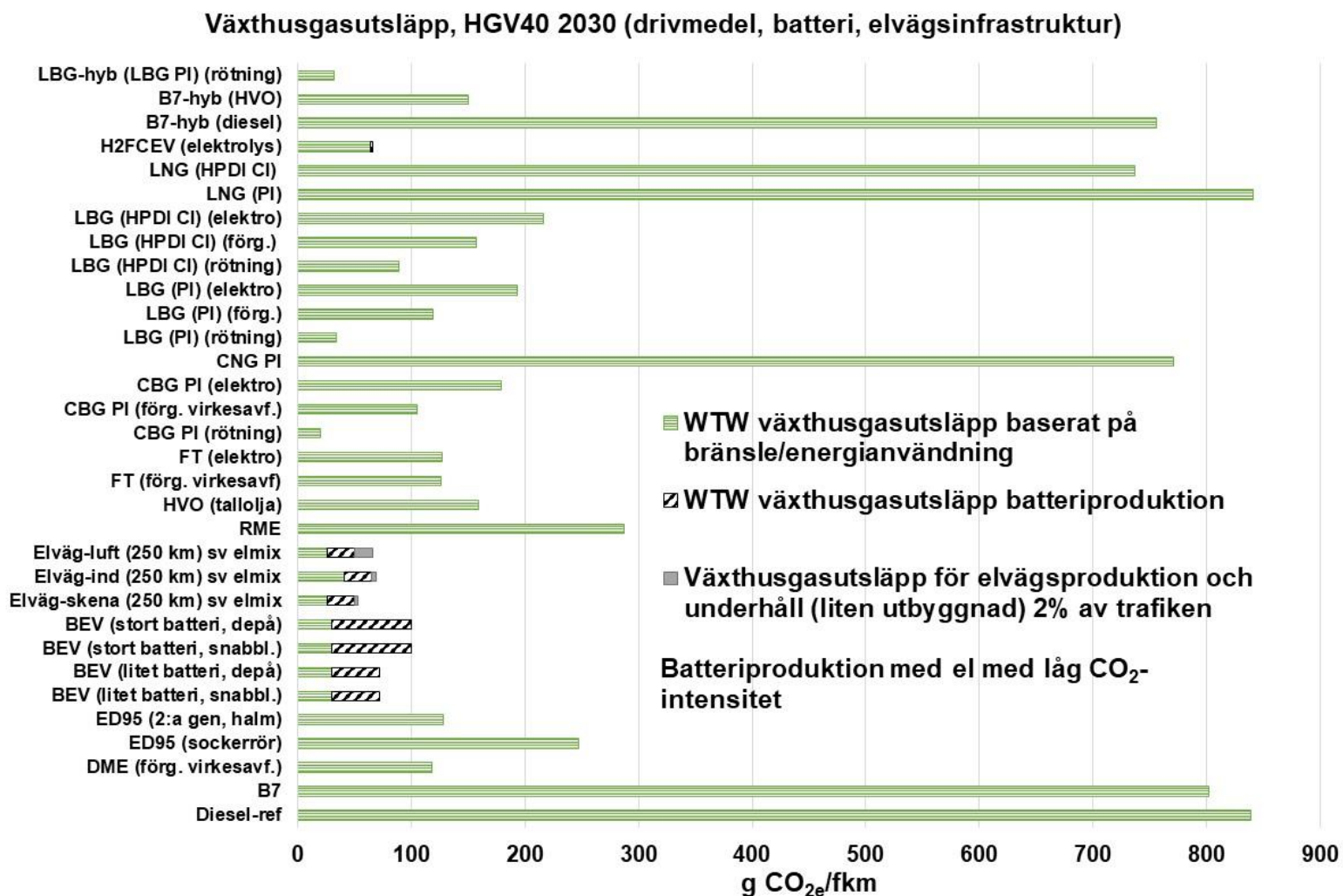
Växthusgasutsläpp, HGV40 2030 (drivmedel, batteri, elvägsinfrastruktur)



Figur 27. Växthusgasutsläpp för HGV40-fordon år 2030 inklusive utsläpp kopplade till drivmedelsförbrukning, batteriproduktion och elvägsinfrastruktur. Medelstort utbyggnadsfall för elvägarna (985 km). Batteriproduktionen antas ske med el och värmemix med höga CO_{2e}-utsläpp.



Figur 28. Växthusgasutsläpp för HGV40-fordon [g CO₂e/fkm] år 2030 inklusive utsläpp kopplade till drivmedelsförbrukning, batteriproduktion och elvägsinfrastruktur. Litet utbyggnadsfall för elvägarna (550 km). Batteriproduktionen antas ske med el- och värmemix med låga CO₂e-utsläpp.

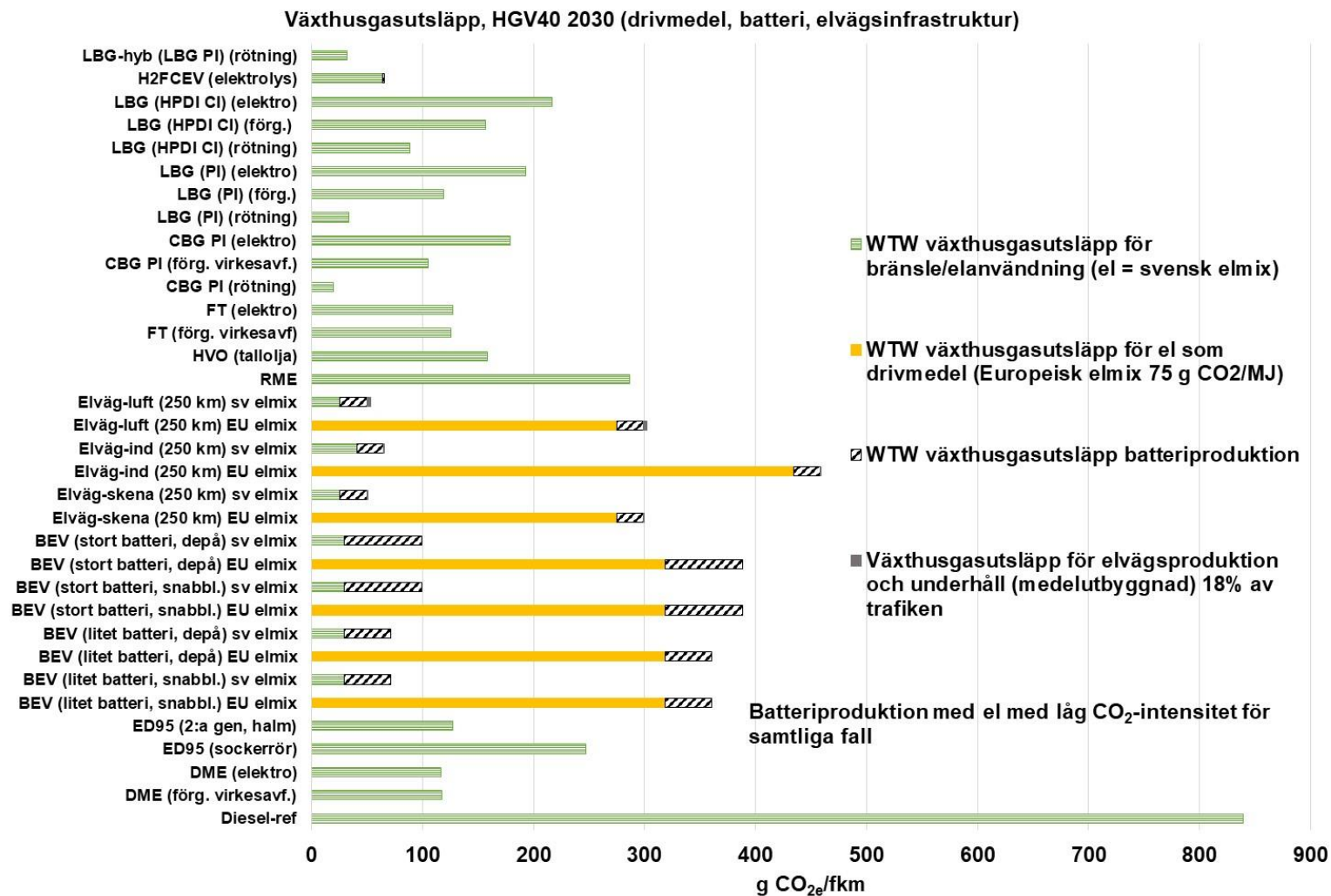


Figur 29. Växthusgasutsläpp för HGV40-fordon år 2030 inklusive utsläpp kopplade till drivmedelsförbrukning, batteriproduktion och elvägsinfrastruktur. Medelutbyggnadsfall för elvägarna (985 km) samt ett högt underhållsbehov för infrastrukturen. Batteriproduktionen antas el- och värmemix med låga CO₂e-utsläpp.

Resultaten visar att CBG-fordonen (och även andra gasfordon, LBG och LBG-hyb) som drivs med gas som producerats genom rötning ha de lägsta växthusgasutsläppen. Därefter följer i elvägsfordonen (skena/luft) och bränslecellsfordonen. Batteridrivna fordon placerar sig lite olika beroende på batteriproduktionens prestanda. Fordon som drivs av biodrivmedel som producerats genom förgasning hamnar i regel relativt lågt. För elvägarna verkar infrastrukturen inte ha så stor påverkan, även om underhållet medför en osäkerhetsfaktor.

Resultaten visar att batteriproduktion för de eldrivna fordonen har en betydande påverkan på de totala växthusgasutsläppen. Det blir tydligt att de biogasdrivna fordonen är de med lägst utsläpp, även om elvägs- och BEV-alternativen också har låga utsläpp så länge driftsel och elen som används för batteriproduktionen har låga växthusgasutsläpp.

I Figur 30 redovisas en känslighetsanalys för utfallet för växthusgasutsläppen för elvägar och batterifordon. Det görs för två olika fall av värden för CO_{2e}-intensiteten för elen som används för att driva fordonen; ett fall med svensk elmix och ett med europeisk elmix. Resultaten visar att BEV och elvägsfordonen får en betydligt högre klimatpåverkan om elen som de använder för framdrift har en högre CO_{2e}-intensitet. Av jämförelsen framgår att de flesta andra drivmedel (biobränslen, inklusive gas och bränsleceller) får en lägre klimatpåverkan än de eldrivna alternativen vid en europeisk elmix. Även produktionen av vätgasen antas i Figur 30 ha låg CO_{2e}-intensitet (svensk elmix antagen vid produktionen).



Figur 30. Växthusgasutsläpp för HGV40-fordon år 2030 inklusive utsläpp kopplade till drivmedelsförbrukning, batteriproduktion och elvägsinfrastruktur. Här antas ett fall med medelutbyggnad för elvägarna (985 km). För batteriproduktionen antas el- och värmemix med låga CO_{2e}-utsläpp. För elen som används för framdrift för BEV och elvägar finns två fall, ett med svensk och ett med europeisk elmix.

5.4 HINDER OCH RISKER

Sammanställningen av hinder och risker som presenteras i detta kapitel baseras på analysen av kostnader och växthusgasprestanda samt på litteraturgenomgången av systemstudier. I jämförelsen av växthusgasprestanda avses att en bra prestanda indikera låga utsläpp av växthusgaser och en dålig eller sämre växthusgasprestanda avses en med höga utsläpp.

Utöver systemstudierna finns det även ett flertal vetenskapliga artiklar som också ligger till grund för analysen av hinder och risker: Banister, (2005) Browne m.fl. (2012) Fenton och Kanda (2017), Lilliestam och Patt (2015), Mignon och Bergek (2016). De hinder och risker som i huvudsak diskuteras i denna studie är: ekonomiska/finansiella, tekniska och infrastrukturrelaterade. Men även hinder och risker relaterade till miljöpåverkan, tillgång på (hållbara) råvaror och styrmedelsrelaterade hinder och risker är inkluderade.

5.4.1 Batterielektriska fordon (BEV)

För de batterielektriska fordonen bedöms hindren och riskerna vara små utifrån kostnads- och växthusgasaspekterna. Fordonen har visserligen högre investeringskostnader men tack vare lägre kostnader för service och reparationer samt sjunkande batteripriser blir den ekonomiska risken liten. Dessa fordon har dessutom hög energieffektivitet vilket tillsammans med jämförelsevis lågt elpris resulterar i låga driftskostnader.

Växthusgasutsläppen från framdriften av BEV-fordonen är låga när beräkningarna baseras på en emissionsfaktor motsvarande svensk elmix. Om beräkningarna i stället baseras på EU:s elmix blir växthusgasutsläppen högre för elfordonen än för samtliga biobränslen (flytande och gasformiga). Dessa beräkningar inkluderar inte växthusgasutsläpp från batteriproduktionen. Det är därför viktigt att belysa att BEV-fordonens växthusgasprestanda försämras avsevärt om inte denna produktion sker med hjälp av energi (el och värme) med låg växthusgasintensitet.

En kortare räckvidd för BEV jämfört med andra fordon är ett hinder för användandet av BEV för vissa typer av transporter. I denna studie har batteristorleken i fordonen begränsats för att inte påverka lastvikten. En genomsnittlig körsträcka per dag för ett långväga transportuppdrag är 640 km, vilket HGV40-fordonet med det stora batteriet klarar av till 2030 med endast en liten påverkan på lastvikten (1200 kg). HGV60-fordonet klarar inte denna sträcka utan påverkan på lastvikten eller utan laddning under dagen till 2030. Till 2045 däremot klarar HGV40-fordonet denna sträcka utan påverkan på lastvikten och HGV60-fordonet får bara en marginell påverkan på vikten (900 kg). Räckvidden för BEV-fordonen kan jämföras med räckvidden för konventionella dieselfordon som med sina 3700 km på en tank för HGV40 år 2025 är avsevärt längre än de 740 km som BEV HGV40 klarar år 2030 med 1200 kg påverkan på lastvikten (Röck m.fl., 2018).

Det finns vissa hinder och risker kopplade till tillgång på material och hållbar el. Tillgången på litium och kobolt för batterier kan komma att bli begränsade resurser på sikt (Kramer m.fl., 2018). Elnäten kommer troligtvis uppleva hård belastning vid vissa tider på dygnet och vid specifika platser när alltmer fordon drivs på el (Gilbert-d'Halluin och Harrison, 2018). Det pågår också en elektrifiering av andra sektorer (t.ex. industrin) som kommer att öka belastningen och krav på utbyggnad av kapaciteten i elnäten. Det är troligt att nya sätt att styra, förbrukning, lagring och produktion

av el kommer att vara en viktig del för att klara omställningen av elsystemet både på produktion- och användarsidan.

Kommentarer relaterade till tidigare studiers resultat

Infrastrukturkostnader för laddinfrastrukturen anses vara höga enligt flertalet studier (Kloo och Larsson, 2019; Kühnel m.fl., 2018; Sartini m.fl., 2017; Zhao m.fl., 2018), men räknat per fordonskilometer i vår studie ser det ändå ut som totala relativa mobilitetskostnaden för BEV kan bli lägre än för diesel trots jämförelsevis höga investeringskostnader för laddinfrastruktur.

5.4.2 Elvägar

Investeringen i infrastruktur är ett stort hinder för elvägsalternativen och involverar en hög ekonomisk risk då möjligheten att få tillbaka investeringen är starkt beroende av vilket genomslag (vilket antal fordon) som vägen kan få. Infrastrukturkostnaden ser ut att bli hög, men om fler fordon kan dela på kostnaden blir fallet mer fördelaktigt. Detta kan åstadkommas genom val av sträckor att elektrifiera och genom teknikval. I ett svenskt perspektiv ses staten som den troliga aktören att ta denna investering och därmed ekonomiska risk.

Hinder och risker som relaterar till batterier är mindre viktiga för elvägarna än för BEV-alternativen, eftersom elvägsfordonen kan ladda under färd och har ett lägre batteribehov. Räckviddsproblematiken för elvägsfordonen handlar i stället om räckvidd utanför själva elvägen, vilken påverkar flexibiliteten i fordonens körmonster. I denna studie antas räckvidden till 250 km utanför elvägen.

Det finns även hinder och risker för elvägsteknikerna som berör ett internationellt perspektiv och satsningar på elväg i andra länder. Om satsningarna på elväg endast blir nationella påverkar detta flexibiliteten i fordonens körmonster och möjligheten till internationella körningar. För internationella körningar krävs satsningar på elvägar i grannländer och att tekniken är kompatibel länderna emellan.

De hinder och risker som nämns för BEV-fordonen gällande tillgång på litium och kobolt till batterier, tillgång på hållbar el, samt utbyggnad av elnäten, berör även elvägsfordonen.

Kommentarer relaterat till tidigare studiers resultat

Flertalet studier tar upp att infrastrukturkostnaderna är höga, dock med undantag av t.ex. Gilbert-d'Halluin och Harrison (2018) samt Hacker m.fl. (2020) som menar att elvägar är det mest kostnadseffektiva ur samhällsekonomiskt perspektiv. Kühnel m.fl. (2018) påpekar att hela infrastrukturkostnaden inte bör läggas enbart på dem som utnyttjar elvägen, utan på en större grupp aktörer i vägtransportsektorn.

5.4.3 Gasfordon

De biogasdrivna alternativen (CBG/LBG) varierar i kostnad beroende på vilken av motorteknikerna och vilket bränsleproduktionsalternativ som beaktas. Exempelvis har CBG från rötning endast marginellt högre relativ mobilitetskostnad än diesel, medan LBG (SI) från elektrobränslen har den högsta relativa mobilitetskostnaden av alla jämförda alternativ i studien. När det gäller växt-husgasutsläpp är biogas från rötning det bästa alternativet av alla studiens jämförda alternativ.

Även biogas från förgasning är ett alternativ som ger låga växthusgasutsläpp. Detta leder till att den relativa mobilitetskostnaden för flera biogasalternativ (både CBG och LBG) står sig bra jämfört med diesel i de fall där en CO_{2e}-kostnad läggs på bränslet.

För gasfordonen är räckvidden inte något stort problem, särskilt inte för LBG-fordonen som har betydligt längre räckvidd än CBG-fordonen. LBG HPDI (CI) har dock betydligt högre relativa mobilitetskostnader än diesel i det kortare tidsperspektivet, vilket till viss del beror på antaganden om en hög tankkapacitet och lång räckvidd. Med en kortare räckvidd (som ändå med marginal klarar ett långväga uppdrag om 640 km, se Tabell 8) blir fordonen billigare och därmed mer konkurrenskraftiga med både diesel och de andra alternativen.

Infrastrukturen för distribution av bränslet bedöms inte heller vara ett större hinder eller risk, då utbyggnaden av infrastrukturen tagit fart under senare år och det numera finns 24 tankstationer för LNG/LBG (främst i södra och mellersta Sverige, men även i Östersund och Umeå) och ca 200 publika tankstationer för fordonsgas (CNG/CBG). Det är snarare tillgången på bränsle med god klimatprestanda som kan vara ett hinder eller risk. De fall för gasfordonen som föll ut bäst i denna studie (både vad gäller kostnader och växthusgasutsläpp) är de där gasen producerats genom rötning av gödsel och bioavfall. Visserligen uppskattar Hjort m.fl. (2019) att råvarubasen inte skulle vara det som begränsar utan snarare konkurrensen om råvaran för andra ändamål. Som en jämförelse kan nämnas att energiförbrukningen i den svenska vägtransportsektorn 2018 var ca 78 TWh och Hjort m.fl. (2019) anger som en övre gräns för potentialen (baserat på råvarutillgång) till produktion av biogas 22 TWh (där ca hälften producerats genom rötning och hälften genom förgasning). Hjort m.fl. landar dock själv på betydligt lägre scenarier om produktion av LBG på ca 1-2 TWh/år till 2030. När det gäller produktion av CBG och LBG via förgasning krävs stora investeringar i produktionsanläggningar (dessa behöver vara storskaliga för att vara lönsamma) och det har visat sig att sådana har svårt att komma till stånd.

Kommentarer relaterat till tidigare studiers resultat

Biogas inkluderas inte i så många studier som analyserar fossilfri framdrift för tunga långväga godstransporter på väg. De fossila alternativen CNG/LNG förekommer däremot i flertalet studier och är i studien av Gnann m.fl. (2017) det alternativ som har lägst kostnader. Enligt Furusjö och Lundgren (2017) har biogas den lägsta kostnaden per minskad mängd CO₂ av samtliga analyserade biobränslen. Även Prussi m.fl. (2020) kommer fram till att CBG-alternativet för tunga fordon är bland de som får bästa växthusgasprestandan.

5.4.4 Flytande biobränslen

För flytande biobränslen visar resultaten att den relativa mobilitetskostnaden endast är något högre än för diesel för många av de inkluderade alternativen, såsom metanol, DME och ED95. Eftersom flertalet av de flytande drivmedlen, exempelvis HVO och FAME, till viss del går att använda i dagens fordon, infrastruktur och distributionssystem, innebär detta låga hinder och risker för dessa alternativ. För bland annat metanol och DME finns det dock hinder och risker kopplade till just fordon, infrastruktur och distribution. Det krävs investeringar i infrastruktur för distribution av drivmedel. Dock är kostnaderna för investeringar i tankstationer låga jämfört med kostnader för både snabbbladdning och gastankstationer. Varken för DME eller metanol finns det idag fordon tillgängliga på den europeiska marknaden. Volvo har tidigare testat tekniken för DME, så teknikmognaden

kan anses hög, men inga fordon finns i produktion idag. För metanol finns tunga M100-fordon på den kinesiska marknaden men här krävs anpassningar för den europeiska marknaden. För ED95 finns både fordon, bränsleproduktion och bränsledistribution idag.

Vad gäller växthusgasutsläpp finns produktionstekniker med god prestanda för flertalet av biodrivmedelsalternativen, t.ex. etanol, men det saknas storskaliga produktionsanläggningar för andra alternativ. Exempelvis finns det idag väldigt lite produktion av grön DME och metanol. Utbyggnad av detta kräver investeringar i storskaliga produktionsanläggningar. Försök att få till sådana (förgasningsanläggningar) har pågått under en längre tid men har inte blivit ekonomiskt hållbara. Bland de biobränslen som används i stor skala idag (RME och HVO) blir kostnaderna något högre och växthusgasprestandan något sämre. Men eftersom dessa direkt går att blanda in i befintliga bränslen och det finns både infrastruktur och fordon, får de ses som en liten risk i ett kort perspektiv.

Kommentarer relaterat till tidigare studiers resultat

En stor risk med biobränslen anses vara risk för konkurrens om hållbar råvara, vilket också blir en ekonomisk risk (Kloo och Larsson, 2019 och Mellquist m.fl., 2017). Likaså nämner en del studier att det finns risk för stor miljö- och klimatpåverkan till följd av direkt och indirekt markanvändningsförändring vid ökad efterfrågan på biomassa och biobränslen (Kastensson och Börjesson, 2017). Enligt f3 (2020) finns det dock betydande biomassaresurser för att kunna producera en stor andel av bränslena för transportsektorn i Sverige, även om man beaktar ekologisk hänsyn, indirekta markanvändningseffekter och utan en stark påverkan på råvarupriser.

5.4.5 Bränslecellsfordon

För bränslecellsfordonen är kostnaderna höga i det korta tidsperspektivet, men blir lägre i det längre tidsperspektivet (2045) till följd av antaganden om kraftigt sjunkande bränslecellspriser. Likaså bygger de lägre kostnaderna till 2045 på att vätgaskostnaden kan minska kraftigt. Det finns visserligen en europeisk plan för att åstadkomma kraftigt lägre produktionskostnader för vätgas men det får ändå ses som en risk då det är förknippat med en del osäkerheter.

Vad gäller växthusgasutsläppen är hindren och riskerna framför allt förknippade med tillgången på grön el, precis som för BEV och elvägsteknikerna.

Bränslecellsfordon har inte samma räckviddsproblem som BEV och elvägsfordon. Bränslecellsfordon har, utan att påverka lastvikten, en betydligt längre räckvidd då de kan bära med sig mer energi. Dessutom är det inte samma problem att fylla på med bränsle, då det går betydligt fortare att tanka vätgas än att ladda ett batteri.

Kommentarer relaterat till tidigare studiers resultat och avgränsning

Kraftiga kostnadsreduktioner förväntas för vätgasfordon, men drivmedelskostnaderna förväntas ändå vara högre för denna teknik än för andra elektrifierade alternativ såsom BEV och elvägar (Zhao m.fl., 2018). I våra resultat är det inte bara själva produktionen utan också infrastruktur för distribution och distributionskostnader som bidrar till höga kostnader för drivmedlet.

För bränslecellsalternativet analyseras endast centraliserad vätgasproduktion. Att analysera ett fall med decentraliserad produktion skulle förmodligen ändra fördelningen av kostnaderna; distributionskostnaderna blir lägre, men troligtvis blir produktionskostnaderna högre. Inte heller analyseras något fall med vätgasdistribution via pipeline. Ett sådant fall skulle kunna påverka kostnaderna för distributionen, mycket dock beroende på lokala förutsättningar.

5.4.6 Elektrobränslen

För elektrobränslena är kostnaderna mycket höga i både det kortare (2030) och längre (2045) tidsperspektivet. Växthusgasprestandan är helt avhängig tillgången på grön el och energiåtgången för att få tillgång till CO₂. En möjlighet för detta teknikalternativ skulle kunna vara ett scenario med fallande elpriser och låg tillgång till hållbara råvaror för biodrivmedel. Med lägre elpriser blir dock elfordonen också billigare.

5.4.7 Generella hinder och risker

För de flesta av teknikerna finns hinder och risker kopplade till att de tillgängliga alternativen är så många. Antaganden om framtida kostnader i denna studie är delvis baserade på uppskalningseffekter och effektiviseringar genom så kallade lärandeeffekter. Om efterfrågan endast kommer upp i små volymer finns en risk att tekniken inte kan skalas upp, vilket blir en återvändsgränd utan möjlighet att åstadkomma tillräckliga kostnadsminskningar. Detta är en risk för alla som investerar i tekniken, både utvecklingsmässigt för motor- och fordonsproduktion, för bränsleproduktion och för infrastruktur. En del av teknikerna kan dock få draghjälp av andra sektorer eller delar av transportsektorn där de också passar in. En del tekniker har också kommit en bra bit på väg i uppskalningen och har till viss del åstadkommit kostnadsreduktioner. Trots det finns en risk att någon teknik överges om andra tekniker visar sig avsevärt bättre, till exempel kostnadsmässigt.

Styrmedel är i huvudsak en möjliggörare för olika fossilfria framdrivningstekniker. Dock kan det finnas hinder och risker kopplade till långsiktighet i styrmedel och osäkerheter gällande framtida styrmedel. För biobränslen och elektrobränslen finns en risk kopplat till pågående diskussioner om att i framtiden förbjuda fordon med förbränningsmotorer på särskilda platser (t.ex. i städer). I Sverige tillåts kommuner att införa olika miljözoner, där den hårdaste zonen (miljözon klass 3) endast tillåter elfordon, bränslecellsfordon och gasfordon (Transportstyrelsen, 2020).

Utöver de hinder och risker som nämns ovan tar tidigare studier även upp hinder och risker gällande bland annat information och kunskap, samt sociala och politiska hinder och risker (Banister, 2005; Browne m.fl., 2012).

5.4.8 Riskfördelning mellan aktörer

I detta avsnitt presenterar vi en kvalitativ sammanställning av riskfördelningen baserat på analysen av kostnader och växthusgaser, tillsammans med identifierade hinder för de inkluderade teknikerna. Fördelningen görs mellan fyra aktörskategorier samt för råvarutillgång. Råvaruproducenterna har lämnats utanför i denna analys då råvaran ju kan tänkas användas även för andra ändamål än för transportsektorn, och därmed skulle en utökad analys som även inkluderar andra sektorer behövas.

Sammanställningen använder en skala med fem steg som visar hur stor risken är för en aktör med en viss teknik. Färgerna är kompletterade med text för att beskriva risken. Risknivåerna ska snarare ses som relativa inom varje drivmedelsalternativ och inte användas som absoluta, eller för jämförelse mellan olika alternativ. Tabell 22 kan därmed ge en bild av i vilket led som de större riskerna med en teknik ligger. Skalan för Tabell 22 ses nedan. Notera att i kolumnen (i Tabell 22) för energibärardistributörer samt aktörer som investerar i distributionsinfrastrukturen ingår både drivmedelsdistributörer och de som investerar i elvägar och laddinfrastruktur.

För **råvaran för bränslena** handlar riskerna i Tabell 22 om tillgången på hållbar råvara, om råvarubasen på något sätt är begränsad av t.ex. styrmedel, samt priset på råvaran. Generellt sett finns en risk att tillgången på råvara för produktion av biodrivmedel i framtiden blir mindre och priset högre p.g.a. ökad efterfrågan i transportsektorn (både i Sverige och i andra länder) och i andra sektorer. Förutsättningarna är olika för skogsråvara (restprodukter från skogsindustrin), avfall samt jordbruksgrödor och jordbruksrester. Enligt RED II finns en begränsning i hur mycket biodrivmedel producerade från jordbruksgrödor som får räknas in i medlemsländernas uppfyllnad av åtaganden att använda förnybar energi (maximalt 7%). Detta begränsar efterfrågan på grödebaserade råvaror för biodrivmedel men förbjuder den inte. Råvaran för elektrobränslen är el och CO₂, där CO₂ kan komma från t.ex. rökgaser från en industri eller från atmosfären. Tillgången till råvara för elektrobränslen (CO₂) från biogena källor är begränsad. "Råvaran" från atmosfären är obegränsad men betydligt dyrare att utvinna. För de teknikalternativ som använder el för framdrivning har råvaran för elproduktion bedömts som *ingen risk* eftersom det inte finns någon begränsning i råvarorna för att producera förnybar el (exempelvis vind och sol). De eldrivna teknikerna kräver också batterier och där bedöms råvarutillgång utefter de råvaror som behövs för batteriproduktionen. I Tabell 22 indikeras vilken typ av råvara som är aktuell för den specifika framdrivningstekniken och den bedömda risknivån.

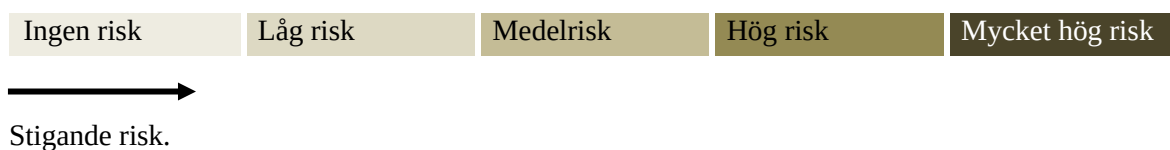
För **energibärrarproducenterna** handlar risken i Tabell 22 om storleken på investeringskostnaden för produktionsanläggningen och marknaden för bränslet. Investeringskostnaden beror bland annat på storskaligheten i produktionen.

För **energibärardistributörer samt aktörer som investerar i distributionsinfrastrukturen** i Tabell 22 handlar risken om investeringskostnaden i distributionsinfrastrukturen.

För **fordonstillverkarna** handlar riskerna i Tabell 22 om hur mycket teknikutvecklings som återstår för att skala upp tekniken till storskalighet. En riskreduktion för fordonstillverkarna handlar om synergier mellan till exempel olika teknikalternativ och andra fordons typer.

För **fordonsägarna** handlar riskerna i Tabell 22 om till exempel räckvidd och kostnader.

Skala för Tabell 22:



Tabell 22. Kvalitativ sammanställning av risker.

Teknik	Råvara (tillgång till råvara)	Energibärande producenter	Energibärande distributörer samt aktörer som investerar i distributionsinfrastrukturen	Fordonstillverkare	Fordonsägare
DME	Restströmmar från skogsindustri kan användas. Risk för konkurrens om råvara och därmed ökat pris. Kan också produceras som elektrobränsle, då högre kostnad för råvara.	Stor investering för produktion (förgasning) – hög risk då marknaden är osäker. Har visat sig svårt att få till lönsamma storskaliga förgasningsanläggningar.	Finns inte mycket infrastruktur idag, men utbyggnadskostnaden är relativt låg.	Medelrisk. Inga fordon på marknaden idag, men tekniken är testad (av t.ex. Volvo) och kan anses mogen.	Finns risk att tekniken förblir en nischteknik (tillämpning i liten skala) och därmed risk för högre kostnader.
Metanol M95	Samma förutsättningar och risker som för DME.	Stor investering hög risk då marknaden osäker (samma som ovan).	Finns inte mycket infrastruktur idag, men utbyggnadskostnaden är relativt låg.	Medelrisk. Det finns inga fordon utvecklade för den europeiska marknaden.	Finns risk att tekniken förblir en nischteknik (tillämpning i liten skala) och därmed risk för högre kostnader.
ED95	Alla olika råvaror för biodrivmedelsproduktion kan användas för etanolproduktion men i olika produktionsprocesser. Risken för råvaran varierar med produktionsprocess och den samlade bedömningen blir medelrisk.	Finns produktion idag (främst 1:a men också 2:gen.). Finns även en marknad (internationellt). Större investering för 2:gen. Produktion och medel till hög risk.	Finns i Sverige och relativt liten kostnad för utökning	Finns fordon på marknaden idag, men risk för liten marknad och därmed dyr tillverkning.	Låg risk. Ungefär samma risker som för DME och metanol, men det finns liten marknad på plats idag. Synergier med marknad för andra fordonssegment.
BEV	Ingen risk för elproduktion. Medelrisk för batteriproduktionen.	Ingen risk för elproducent. Låg risk för batteriproducenter.	Lägre risk för depåladdning och högre risk vid snabbaddning, då utnyttjandegraden är mer osäker för snabbaddning. Finns synergier med lättare fordon.	Tekniken utbredd för lättare fordon, så mycket synergier med tillverkning och utveckling i dessa segment.	Livslängd på batterier kan innebära högre kostnader/lägre restvärde. Brist på tillgång till laddinfrastruktur kan innebära en risk för räckvidden.
Elväg skena, luft, induktiv	Samma bedömning som för BEV, men batteribehovet är mindre och därmed är risken mindre.	Ingen till låg risk.	Mycket stor risk. Infrastrukturinvesteringen är väldigt stor och osäker.	Medelrisk. Kan bli liten nisch om endast fåtal länder satsar. Dock mycket synergier med BEV.	Liten tillgång till laddinfrastruktur utanför elväg kan innebära risk för räckvidden Tillgång på infrastruktur/kompatibilitet i andra länder kan begränsa internationella körningar.

KNOGA. FOSSILFRI FRAMDRIFT FÖR TUNGA LÅNGVÄGA TRANSPORTER PÅ VÄG
- KOSTNADSFÖRDELNING OCH RISKER FÖR OLIKA AKTÖRER

Teknik	Råvara (tillgång till råvara)	Energibärrarproducenter	Energibärrardistributörer samt aktörer som investerar i distributionsinfrastrukturen	Fordonstillverkare	Fordonsägare
RME	Tillgång till hållbar råvara (grödebaserad).	Finns RME-produktion idag. Det krävs inte samma storskalighet för att få lönsamhet som t.ex. förgasningsanläggningar.	Låg risk.	Låg risk, kan blandas med diesel eller mindre justeringar för ren drift.	Liten risk.
HVO	Tillgång till hållbar råvara.	Liten risk.	Ingen risk, kan blandas med diesel	Ingen risk, inga eller mycket små anpassningar jämfört med diesel	Ingen risk, finns backup i fossil form.
Fischer-Tropsch diesel	Samma risker som för DME och metanol).	Hög risk. Stora investeringar i produktionsanläggningar	Ingen risk.	Ingen risk.	Ingen risk, finns backup i fossil form.
CBG SI	I dagsläget finns tillgång till råvara för rötning och annan produktion, men om konkurrensen från andra sektorer ökar kraftigt kan det bli annorlunda.	Finns produktion (rötning) idag. Produktion via förgasning saknas och kräver stora investeringar, likaså elektrobränslen. De nya produktionsmetoderna möjliggör användning av andra råvaror. Efterfrågas också av andra sektorer/segment.	Låg risk. Ganska väl utbyggd distribution i södra/mellersta delen av landet.	Låg risk. Finns många fordon i lättare segment och bussar.	Låg risk för fordonsägare finns backup i fossilform.
LBG (SI)	Samma som för CBG och övriga LBG tekniker.	Samma som för CBG och övriga LBG-tekniker.	Låg risk. Ganska väl utbyggd i södra/mellersta delen av landet	Medelrisk.	Låg risk för fordonsägare finns backup i fossil form.
LBG HPDI (CI)	Samma som för CBG och övriga LBG tekniker.	Samma som för CBG och övriga LBG-tekniker.	Låg risk. Ganska väl utbyggd i södra/mellersta delen av landet	Dyrare än SI men mer bränsle-effektiv.	Låg risk för fordonsägare finns backup i fossil form.
H ₂ +FCEV	Ingen risk.	Medelrisk. Stor investering	Finns endast fåtal (5) vätgastankstationer i Sverige (personbil). Stora investeringar för utbyggnad, men finns EU-strategi.	Mycket utveckling kvar. De första fordonen kommer ut på marknaden nu, både personbil och lastbilssegment.	Medelrisk.
B7-hyb (HVO)	Samma som för HVO.	Liten risk.	Ingen risk, kan blandas med diesel	Inga eller mycket små anpassningar jämfört med diesel	Ingen risk.
LBG-hyb	Låg till medelrisk (samma som för LBG).	Samma som för LBG.	Ganska väl utbyggt i södra/mellersta delen av landet	Medelrisk.	Låg risk för fordonsägare, finns backup i fossil form.

5.4.9 Workshop kring hinder och risker

Inom ramen för studien har en workshop genomförts med målet att bl.a. hämta in åsikter från aktörer från alla delar i värdekedjan, inklusive forskare och politiker/beslutsfattare, kring hinder och risker samt möjliga synergier och drivkrafter för olika spår mot fossilfria långväga tunga transporter. En detaljerad sammanställning av resultaten från workshopen finns i Bilaga 3. De mest frekvent nämnda hindren för olika utvecklingsvägar är sammanställda i Tabell 23.

Tabell 23. Frekventa svar av workshopdeltagarna på frågan kring vilka hinder och risker som finns för biodrivmedel, vätgas och bränsleceller, batterilastbilar respektive elvägar som utvecklingsspår mot fossilfria långväga tunga transporter.

Utvecklingsspår	Frekvent nämnda hinder/risker av workshopdeltagarna
Biodrivmedel	- Begränsad råvarutillgång/drivmedelsproduktion - Begränsad miljövinst/hållbarhet - Osäkra/kortsiktiga styrmedel - Höga drivmedelskostnader - Konkurrens om biomassa (råvara/drivmedel) med andra sektorer
Vätgas och bränslecellslastbilar	- Höga drivmedelskostnader - Infrastruktur - Mindre effektiv/låg systemverkningsgrad - Tillgänglighet av drivmedel - Säkerhetsrisker - Tillgång till förnybar el - Låg energidensitet, begränsad räckvidd
Batterilastbilar	- Räckviddsbegränsningar / minskad nyttolast - Miljöpåverkan batteritillverkning - Infrastruktur - "Hönan & ägget"-problematik - Batterikostnader
Elvägar	- Låg utnyttjandegrad - Stora investeringar i infrastruktur - Inte marknadsmässigt gångbart/stora externa kostnader - Behöver kompletteras med annat (batterier/depålladdning)

På frågan om vilka möjliga synergier med andra sektorer som deltagarna tror kan hjälpa till i utvecklingen fanns klart tydligast svar kopplat till vätgasekonomin. Utökad användning av t.ex. vätgas inom industrin tros ha positiva effekter även på potentialen inom transportsektorn. Även samspel inom energisystemet i stort, där elektrifiering, energilagring i vätgas eller batterier och sektorsövergripande integration av systemen kommer att ske, anses vara positiva drivkrafter för att minska fossilberoendet inom transportsektorn.

Reflektioner från workshop

Många av de risker och hinder som identifierats både i tidigare studier och i denna studie kom upp också på workshopen. Bland risker som inte så tydligt har pekats ut i litteraturen, men som kom upp under workshopen, finns säkerhetsrisker med vätgasfordonen. Det förekommer dock i tidigare litteratur där det t.ex. tas upp att kunskapen om den faktiska explosionsrisken för gasfordon är låg (Browne m.fl., 2012).

Kortsiktigheten i befintliga styrmedel nämndes. Det är något som ofta kommer upp i diskussioner med aktörer på marknaden kring omställning av transporter och industri. I litteraturen tar också flertalet studier upp att det är ett problem att styrmedelslandskapet snabbt förändras och att det krävs en långsiktighet för att olika aktörer ska våga satsa på specifika tekniker (Browne m.fl., 2012; Fenton och Kanda, 2017; Kastensson och Börjesson, 2017; Takman m.fl., 2018). Ett exempel på hur förändrade styrmedel kan innebära en stor risk visas i fallet med etanol (Kastensson och Börjesson, 2017). Författarna menar att det var tack vare politiska incitament och styrmedel som E85 snabbt kunde introduceras och expandera, men när de snabbt togs bort blev signalen att man inte längre tror eller satsar på detta drivmedel. Detta innebar att stora investeringar för flertalet aktörer gick förlorade. Det har lett till osäkerheter i att våga satsa på nya drivmedel eftersom långsiktigheten saknas och de politiska riskerna anses höga.

Några oväntade punkter nämns också som hinder för vissa tekniker. Ett exempel är kort räckvidd som nämns som hinder för H₂-FCEV. Visserligen är räckvidden kortare än för dieselfordonen, men den är längre än för batterifordonen. Framför allt går det betydligt snabbare att fylla på med energi i fallet med vätgas jämfört med BEV, oavsett om det finns snabbbladdare eller ej.

Med hönan och ägget-problematik som workshopdeltagarna nämner för BEV avses att laddinfrastruktur behöver vara på plats innan man kan börja använda sådana fordon. Problematiken är vanlig i kommentarerna för BEV men inte för elvägar, trots att det är minst lika sant där. Kanske är en anledning till att man nämner det för BEV att det är något mindre uppenbart än för elvägen.

6 SLUTSATSER OCH DISKUSSION

6.1 SLUTSATSER

6.1.1 Relativ mobilitetskostnad

Utifrån resultaten i kostnadsanalysen utan skatter och avgifter kan vi inte peka ut ett enskilt alternativ som vinnare, eftersom det finns olika för- och nackdelar med de olika alternativen. Klart är dock att BEV-alternativen har de lägsta relativa mobilitetskostnaderna, både i tidsperspektivet till 2030 och 2045. De är, med undantag för elvägsalternativet med skena för HGV60 (för bägge tidsperspektiven), de enda av de fossilfria alternativen som har lägre (0–12 %) relativa mobilitetskostnader än dieselfallet.

Det finns flera alternativ med biobränslen och elvägar som endast har något högre relativa mobilitetskostnader än dieselreferensen. För HGV40 i tidsperspektivet till 2030 har DME, metanol, ED95, CBG (rötning) samt elväg-skena något högre, (4–7 % högre), relativa mobilitetskostnader än dieselreferensen. I tidsperspektivet till 2045 har samma tekniker, med tillägg av CBG (förgasning), relativa mobilitetskostnader som är 1–5 % högre än dieselreferensen.

Resultaten av de relativa mobilitetskostnaderna för HGV60 liknar dem för HGV40. I bägge tidsperspektiven har för HGV60-fordonen BEV och elväg-skena lägre relativa mobilitetskostnader än dieselreferensen. I tidsperspektivet till 2030 för HGV60 har elväg-luft, DME, metanol, ED95 och CBG (rötning) något (2–8 %) högre relativa mobilitetskostnader än dieselreferensen. I tidsperspektivet till 2045 har elväg-luft, DME, metanol, CBG (rötning), ED95, samt CBG (förgasning) något (2–6 %) högre relativa mobilitetskostnader än dieselreferensen.

Elvägsalternativen har högre relativa mobilitetskostnader än dieselfallet främst beroende på höga infrastrukturkostnader. Analysen visar också att infrastrukturkostnaderna för elvägsalternativen är osäkra eftersom storleken beror på hur stort elvägsnät som byggs, hur stor andel av de fordon som trafikerar vägen som också kommer att använda elvägsinfrastrukturen samt vilken teknik och därmed vilka fordonstyper (lastbilar, personbilar etc.) som kan använda infrastrukturen.

Infrastruktur- och distributionskostnader för vätgas är ansevärd i jämförelse med energikostnaderna. Totalt sett har H₂-FCEV hög relativ mobilitetskostnad i perspektivet till 2030 medan den är betydligt mer konkurrenskraftigt i tidsperspektivet till 2045.

Alternativen med elektrobränslen har väldigt höga relativa mobilitetskostnader i jämförelse med andra alternativ i bägge tidsperspektiven, 2030 och 2045.

Analysen i denna studie visar att kostnaderna och rangordningen mellan de olika alternativen är väldigt känsliga för t.ex. en CO₂-skatt baserad på bränslenas växthusgasutsläpp. Om man lägger till en kostnad för de växthusgasutsläpp som bränsle/energianvändningen ger upphov till (i källa-till-tank-perspektiv) till den relativa mobilitetskostnaden förändras förhållandena mellan de olika alternativen drastiskt. Vid en CO_{2e}-kostnad motsvarande dagens CO₂-skattenivå (1,17 SEK/kg CO₂) får följande alternativ lägre relativa mobilitetskostnader än diesel: BEV, konduktiva elvägstekniker, metanol, DME, etanol, RME, HVO, CBG (där biogas producerats genom rötning eller förgasning), LBG (där biogasen producerats genom rötning). Om nivån på CO_{2e}-kostnaden höjs till 7 SEK/kg

CO₂, som är den nivå som rekommenderas vid beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet för infrastruktursprojekt, får samtliga alternativ lägre relativ mobilitetskostnad än diesel.

6.1.2 Växthusgasprestanda

Med ”god” eller ”bra” växthusgasprestanda för el- eller bränsleproduktion avses produktion med låga växthusgasutsläpp.

Bäst växthusgasprestanda, med hänsyn enbart till bränsleanvändningen, har CBG-alternativet (biogas produceras via rötning) följt av de konduktiva elvägsalternativen, BEV samt andra gasdrivna alternativ LBG (SI) och LBG-hybrid (gas producerad via rötning). De eldrivna alternativens goda växthusgasprestanda gäller under förutsättning att emissionsfaktor för den använda elen är låg (i vårt fall har en faktor motsvarande svensk elmix antagits i basfallet). Om beräkningarna görs med en emissionsfaktor motsvarande den för europeisk elmix får samtliga elvägs- och BEV-alternativ sämre växthusgasprestanda än alla biobränslen, både gasformiga och flytande.

Utsläppen av växthusgaser förknippade med batteriproduktionen har en betydande påverkan på BEV-fordonens och elvägsfordonens totala växthusgasprestanda. Tar man hänsyn till både bränsleanvändning och batteriproduktion blir BEV och elvägar sämre än CBG, LBG (SI) och LBG-hyb (alla med biogas från rötning). För BEV-fordonen är bidraget till de totala växthusgasutsläppen från batteriproduktionen större än bidraget från elen som används för framdriften. För att batteriproduktionens bidrag till den totala växthusgasprestandan ska vara liten krävs tillgång på el och värme med god växthusgasprestanda för produktionen av batterierna.

H₂-FCEV och flera alternativ med biodrivmedel t.ex. DME och metanol (producerade via förgasning) har god växthusgasprestanda. Även H₂-FCEV är beroende av att elen som används för vätgasproduktionen har god växthusgasprestanda.

Utsläppen av växthusgaser som relaterar till elvägskonstruktionen samt reparationer och underhåll av själva elvägen ger ett relativt sett mindre bidrag till den totala växthusgasprestandan än batteriproduktionen för dessa tekniker. Hur stort bidraget av växthusgaser från elvägskonstruktionen och reparationer och underhåll blir, är starkt beroende av hur många fordonskilometer som görs på vägen d.v.s. vilket utbyggnadsfall och genomslag man har.

6.1.3 Slutsatser ur aktörsperspektiv

Utöver de slutsatser vi drar baserat på kostnadsanalysen och analysen av växthusgasprestanda, finns en rad olika hinder och risker som påverkar vilka tekniker som kan komma i fråga för det tunga och långväga vägtransportfordonen. Slutsatsen som kan dras av det är att det kommer att vara olika tekniker som är bäst för olika segment och för fordonsgrupper med specifika förutsättningar.

I följande stycken ges slutsatser ur olika aktörsperspektiv.

Åkerier, speditörer, fordonsägare, utförare av tunga godstransporter på väg

Den som utför tunga godstransporter på väg och äger fordon behöver analysera sin egen verksamhet, körmönster, sträckor etc. för att veta vilken teknik som är mest lämplig vid omställning till fossilfri framdrift. Även betalningsviljan för fossilfria transporter hos kunder är en viktig faktor att ta

hänsyn till då man planerar för omställning. BEV är enligt resultaten i denna studie ett alternativ med låga kostnader och god växthusgasprestanda. Idag är dock laddinfrastrukturen starkt begränsad och räckvidden är betydligt kortare än för andra alternativ. Flytande eller gasformigt biodrivmedel kan vara ett bra alternativ om räckvidden är en begränsande faktor.

Drivmedelsproducenter

Som drivmedelsproducent behöver man beakta sin råvarubas och vad som enligt regelverk och styrmedel betraktas som hållbart. Att producera förnybar el ses som ett alternativ med låg risk då det efterfrågas brett, inte bara från tunga långväga godstransporter på väg utan också av andra delar av transportsektorn, av industrin etc. Produktionsanläggningar för flera av de biodrivmedel som faller bäst ut kostnadsmässigt och med avseende på växthusgasprestanda (DME; metanol, biogas, ED95) innebär stora investeringar. Bränslen som inte kan användas direkt i befintlig fordonsflotta har mer osäker avsättning. Dock kan efterfrågan i andra sektorer än den tunga långväga vägtransportsektorn bidra till bättre förutsättningar (t.ex. efterfrågan inom sjöfarten och/eller industrin).

Att kunna möta efterfrågan på förnybar el i Sverige blir viktigt för att den elektrifiering som sker både inom transportsektorn, och inom andra sektorer, skall få den positiva klimateffekt som man idag räknar med då växthusgasprestandan för svensk elmix är låg. Om importen av el behöver öka kan växthusgasprestandan för den svenska elmixen ändras avsevärt och de positiva klimateffekterna bli mindre. Om elmixen har en växthusgasprestanda motsvarande den för EU:s elmix blir både BEV och elvägar sämre ur klimatsynpunkt än samtliga biobränslealternativ.

Drivmedelsdistributörer

Flera av alternativen kräver mer infrastruktur. De flytande biobränslena har oftast lägre distributionskostnader än de gasformiga. Här finns risker kring hur stor utnyttjande man får för enskilda tekniker. Alternativen som drivs av el, BEV och elvägar, kommer att resultera i behov av att bygga ut kapaciteten i elnäten. I denna studie räknar vi dock med att kostnaderna för detta förs över på slutkunden, d.v.s. de fordon som utnyttjar laddinfrastrukturen och elvägarna.

Offentliga aktörer som investerar i och förvaltar transportinfrastruktur

Kostnaderna för elvägsinfrastrukturen sticker ut i att de är väldigt höga och dessutom osäkra. Dock visar elvägarna på god växthusgasprestanda och kan minska behovet av batterier jämfört med BEV. Om man vill implementera elvägar behöver man hitta modeller för att minska både kostnader och risker genom val av teknik, nätstorlek och hur investeringen skall återbetalas.

Fordonstillverkare

Implikationen av resultaten för fordonstillverkare är att det finns många olika alternativa tekniker som kan komma att spela en viktig roll i framtiden. BEV-alternativet ser lovande ut även för tunga lastbilar med långa dagliga körsträckor. Det finns också tekniker som både visar låga relativa mobilitetskostnader och växthusgasutsläpp som idag inte finns på marknaden (DME, metanol). Flera alternativ som redan finns på marknaden (i olika stor omfattning) får också lägre kostnader än diesel i det fall man tar hänsyn till CO₂-relaterade kostnader för bränslet (HVO, RME, etanol, CBG och LBG).

6.2 DISKUSSION

6.2.1 Elektrifierade fordon, BEV: elvägsfordon, bränslecellsfordon och elhybrider

Denna studie visar att BEV-alternativen är de med de lägsta relativa mobilitetskostnaderna, både i tidsperspektivet till 2030 och till 2045. Tas hänsyn endast till investeringskostnaden samt service och reparationer för fordonet, så är det endast elvägsfordonen som har lägre kostnader än BEV-alternativen. Bägge alternativen (BEV och elvägar) kräver utbyggnad av infrastruktur för elförsörjning till fordonen, men infrastrukturkostnaderna för elvägar är betydligt högre och uppvisar större osäkerhet. För elvägarna är både kostnaderna i sig (investeringen) och hur många fordon den kan komma att fördelas på osäker. Kostnadsmässigt ser elvägsalternativen ut att stå sig bättre i ett kortare tidsperspektiv än i det längre tidsperspektivet – detta eftersom de andra teknikerna utvecklas och kostnader sjunker, medan investeringen för elvägar görs vid ett tillfälle och sedan avräknas under lång tid. Man kan dessutom påpeka att i vår jämförelse har vi ansatt en lång livslängd för investeringen i elvägarna och en låg ränta. Om man t.ex. halverar livslängden för elvägsinfrastrukturinvesteringen, från 40 till 20 år, så blir infrastrukturinvesteringskostnaden i den relativa mobilitetskostnaden ca 50 % högre.

För BEV-alternativen är det framför allt kostnadsutvecklingen för batterier som påverkar utfallet.

Skillnaden i risk mellan BEV och elvägar ligger i förutsättningar för introduktion och uppskalning. För BEV behövs laddstationer för elförsörjning av fordonen, men där är en succesiv uppbyggnad tänkbar. Det är tänkbart att de första aktörerna som investerar i BEV fordon för tunga långväga transporter kör mellan terminaler och därmed kan klara laddningen med endast ett fåtal utbyggda stationer/depåer. Allt eftersom laddinfrastruktur byggs ut ökar möjligheten för BEV att kunna färdas längre och nya sträckor. För elvägsfordon krävs däremot en ganska omfattande infrastrukturutbyggnad (till stor kostnad) innan det blir intressant för ett större antal aktörer att investera i fordonstekniken. Dessutom behövs dubbel infrastruktur för elvägstekniken då man kommer att behöva både själva elvägen, men sannolikt även laddning utanför elvägsnätet. För att bygga ut ett elvägsnät motsvarande medelutbyggnadsfallet i denna studie, strax under 1000 km, krävs en investering på 20–30 miljarder SEK (som exempel är sträckan mellan Stockholm-Malmö, Malmö-Göteborg och Göteborg-Jönköping totalt strax över 1000 km dubbelriktad väg).

Baserat på resultaten i denna studie ser vi att de fordonskilometerspecifika investeringskostnaderna för laddinfrastruktur för BEV år 2030 är mellan 18 och 31 % av elvägsinfrastrukturkostnaden, beroende på förhållandet mellan snabb- och depåladdning i infrastrukturen samt vilken elvägsteknik man jämför med. För vätgasinfrastrukturen ligger samma siffra mellan 27 och 41 %. Grovt kan kostnaden för laddinfrastruktur för BEV som försörjer samma antal fordonskilometrar som det medelstora elvägsnätet (ovan) kan uppskattas till ca 4–9 miljarder SEK. Motsvarande uppskattning av investeringskostnaden för vätgastankinfrastruktur blir ca 5–12 miljarder SEK. För vätgastankstationerna är detta troligtvis en överskattning av kostnaderna då vi har utgått från tankstationer med relativt sett låg kapacitet (vi har antagit 1000 kg H₂/dag per station) jämfört med andra studier för tung trafik¹⁸. Denna uppskattning visar att även om siffrorna är högst osäkra, så kräver elvägar en

¹⁸ (Kühnel m.fl., 2018) antar t.ex. ca 5 500 kg vätgas/dag för en tankstation

avsevärt större infrastrukturinvestering jämfört med laddinfrastruktur för BEV och vätgastankstationer. Skillnaden är också antalet aktörer som kan dela på investeringen och därmed risken. I fallet med laddinfrastruktur för BEV kan det delas på många aktörer då enskilda åkeriföretag eller företagsterminaler oftast investerar i sin egen depåladdning och sedan kan det finnas flera aktörer som investerar i snabbladdning utefter de stora transportstråken. När det gäller infrastrukturinvesteringen i elvägar antar vi att det är staten som är den aktör som tar investeringen. Det finns visserligen inget som säger att det måste vara staten och i andra länder diskuteras också privata lösningar. Dock är det en stor investering i direkt anslutning till statligt ägda vägar (i Sverige finns idag inga privatägda motorvägar). Därmed är det i elvägsfallet en aktör som tar hela investeringen och hela risken. För laddinfrastrukturen för BEV är det viktigt att beakta att det finns ytterligare investeringar i eldistributionsinfrastrukturen som i nuvarande studie utgör en del av distributionskostnader (som elnätsavgift). Dessa kostnader utgör indirekt investeringskostnader för elnätsägaren som tar en risk och har krav på avkastningen. En ökad elanvändning i alla sektorer (transporter, industri, byggnader) kommer dock att driva på nya investeringar i distributionsinfrastrukturen och riskerna för elnätsägare att göra investeringar i elnät med större kapacitet för att kunna leverera mer el är små.

I växthusgasjämförelsen faller BEV och elvägsalternativen ut väl. CBG SI-fallet där biogasen producerats via rötning faller bäst ut och följs av elvägsalternativen. Tas ingen hänsyn till batteriproduktionen blir växthusgasutsläppen för de helt eldrivna fordonen (BEV, elväg) lägst. För dessa resultat är dock elproduktionens (elmixens) CO_{2e}-intensitet avgörande för utfallet. I växthusgasjämförelsen har vi främst gjort beräkningar där elmixen antas ha en låg CO_{2e}-intensitet motsvarande en svensk elmix om (7 g CO_{2e}/MJ_{el}). Argumenten för att välja ett lågt värde är många; dels har vi i denna studie främst ett svenskt perspektiv, dels är ju målsättningen också att elsektorn behöver ställa om så CO_{2e}-intensiteten behöver gå ner. Det senare argumentet skulle kunna rättfärdiga ett ännu lägre värde på elen. Dock är det viktigt att komma ihåg att elproduktionen i många andra länder, också i vårt närområde, är betydligt mer CO_{2e}-intensiv än den svenska och därmed ser förutsättningarna för eldrift där annorlunda ut. I beräkningarna där vi använder en CO_{2e}-intensitet för driftselen för elvägar motsvarande en europeisk elmix ser man att de eldrivna fordonen (elväg och BEV) får högre växthusgasutsläpp än de olika biobränslealternativen. Detta innebär att utvecklingen för eldrivna fordon kanske inte självklart kommer att ske lika i alla delar av världen (eftersom nyttan kanske ser mindre ut i det fall man har en elproduktion med hög CO_{2e}-intensitet). Detta kommer att påverka fordonstillverkningen och även åkare som kör internationellt. Fordonstillverkning blir alltid mer lönsam och lättare i större serier så större och enhetliga marknader är att föredra.

Växthusgasjämförelsen görs i ett WtW-perspektiv. I ett TtW-perspektiv skulle BEV och elvägsfordonen få noll i utsläpp, eftersom utsläppen inte sker från själva fordonet utan kommer från elproduktion för den el som driver dem. Detsamma skulle gälla för bränslecellsfordonen som använder vätgas som bränsle och där utsläppen från fordonet endast är vattenånga. Alla dessa tre alternativ är dock starkt beroende av tillgång till grön el, el producerad utan eller med låga utsläpp av växthusgaser. Bränslecellsfordonen kräver dessutom vätgasproduktion där konkurrens med t.ex. industrin kan ses som en risk.

En av fördelarna med bränslecellsfordonen jämfört med BEV och elvägsfordon är att de har längre räckvidd (åtminstone i det kortare tidsperspektivet) och att de har en betydligt större flexibilitet i

vart de kan köra då de kan bära med sig mer energi samt att det går snabbare att fylla på med ny energi.

De två hybridfordon som inkluderats i vår analys visar inte på lägre relativa mobilitetskostnader än de fossila alternativen (LNG respektive diesel) trots att de är mer energieffektiva. Det krävs att man lägger på en kostnad för CO_{2e}-utsläppen för energi/bränsleanvändningen för att de skall få lägre relativa mobilitetskostnader. En anledning är att själva fordonskostnaderna för hybriderna är högre än för de konventionella fordonen. Även i det längre tidsperspektivet (2045) är fordonskostnaderna och de relativa mobilitetskostnaderna högre för hybridfordonen. Vår analys av växthusgasprestandan visar dock att hybridfordonen står sig mycket bra jämfört med samtliga andra alternativ. En fördel med hybridfordonen är att de inte är beroende av utbyggnad av ny infrastruktur, annat än LBG för just LBG-hybriden och de har därmed inga nackdelar avseende vart man kan köra eller räckvidden. För dieselhybriden krävs tillgång till grönt dieselbränsle (HVO eller FT-diesel).

6.2.2 Alternativ som använder CBG och LBG

LBG HPDI (CI) fordonen är betydligt dyrare än dieselfordonen i det korta tidsperspektivet medan LBG SI fordonen är något dyrare. CBG fordonen är obetydligt dyrare än dieselfordonet i både 2030 och 2045 perspektivet. Kostnadsbilden för gasfordonen skulle kunna ändras genom att man anpassar tankstorleken (och därmed får en kortare räckvidd), detta gäller särskilt LBG-fordonen.

För gasfordonen har infrastrukturutbyggnaden för distribution tagit fart de senaste åren och numera finns en hyfsad täckning för både CNG/CBG och LNG/LBG i södra och delvis mellersta delen av landet. I norra Sverige är det fortfarande ganska sparsamt åtminstone för LNG/LBG.

6.2.3 Biobränslen och elektrobränslen

Dessa alternativ kan användas redan idag, särskilt de som inte kräver någon större anpassning av fordonen; t.ex. HVO och FT-diesel. RME kräver en mindre anpassning av bränslesystemen medan DME och metanol kräver särskilt anpassade motorer. I vår kostnadsanalys i tidsperspektivet till 2030 kom DME, metanol och ED95 bäst ut av biodrivmedlen, något bättre än elvägarna (i basfallet), medan RME och HVO kommer ut något sämre än elvägarna (basfallet). Trenden står sig också i tidsperspektivet till 2045. I det längre tidsperspektivet faller dock bränslecellsfordonet ut med lägre relativa mobilitetskostnader än RME och HVO.

Det krävs utbyggnad av distributionsinfrastruktur för flera av biodrivmedlen, främst DME och metanol, men merkostnaderna har skattats som små jämfört med diesel. Kopplat till dessa bränslen ligger riskerna snarare hos fordonstillverkare som får en bred palett med olika motorer och fordon, samt drivmedelsdistributörer som behöver erbjuda flera olika drivmedel. För ED95 finns idag fordon på marknaden med det saknas fordon för den europeiska marknaden för DME och metanol. Även produktionen av förnybar DME och metanol är väldigt begränsad idag.

När det gäller tillgång på drivmedel och hållbarhet finns en risk då hållbart producerad bioråvara är en begränsad resurs. Elektrobränslen kan vara ett svar på denna risk, men vår kostnadsanalys visar att dessa är väldigt dyra i bägge tidsperspektiv. Dock visar analysen med den höga CO_{2e}-kostnaden för bränslerelaterade utsläpp (7 SEK/kg CO_{2e}) att det skulle vara lönsamt i ett samhällsperspektiv att använda även dessa bränslen (jämfört med diesel).

REFERENSER

- ACEA, 2020. ACEA Position Paper - Review of Alternative Fuels Infrastructure Directive.
https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Position_Paper-Review_of_Alternative_Fuels_Infrastructure_Directive.pdf
- Albrecht, U., Bünger, U., Michalski, J., Weindorf, W., Zerhusen, J., Borggreffe, F., Gils, H.C., Pregger, T., Kleiner, F., Pagenkopf, J., Schmid, S., 2016. Kommerzialisierung der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg - Rahmenbedingungen und Perspektiven.
<https://elib.dlr.de/103522/>
- Alvfors, P., Arnell, J., Berglin, N., Björnsson, L., Börjesson, P., Grahn, M., Harvey, S., Hoffstedt, L., Holmgren, K., Jelse, C., Klintbom, P., Kusar, H., Lidén, M., Magnusson, M., Pettersson, K., Rydberg, T., Sjöström, G., Stålbrand, H., Wallberg, O., Wetterlund, E., Sacchi, G., Öhrman, O., 2010. Research and development challenges for Swedish biofuel actors – three illustrative examples – Improvement potential discussed in the context of well-to-tank analyses. f3, The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation fuels.
- Balieu, R., Chen, F., Kringos, N., 2019. Life Cycle sustainability assessment of electrified road systems. Road Materials and Pavement Design 20, 19–33.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1588771>
- Banister, D., 2005. Overcoming barriers to the implementation of sustainable transport., in: Rietveld, P., Stough, R.R. (Eds.), Barriers to Sustainable Transport: Institutions, Regulation and Sustainability.
- Benjaminsson, J., Nilsson, R., 2009. Distributionsformer för biogas och naturgas i Sverige. Grontmij. <http://gasefuels.se/documents/2/distributionsformer-for-biogas-och-naturgas-i-sverige.pdf>
- Bil Sweden, 2021. 2020 ett coronapräglad fordonsår med rekordstark utveckling för laddbara bilar [WWW Document]. BilSweden. URL https://www.bilsweden.se/statistik/Nyregistreringar_per_manad_1/nyregistreringar-2020/2020-ett-coronapraglat-fordonsar-med-rekordstark-utveckling-for-laddbara-bilar (hämtad 2021-02-26).
- Bokinge, P., Heyne, S., Nyström, I., Hentschel, J., Magnus, E., Skaret-Thoresen, L., Zafosching, L.A., Behm, K., Fabritius, T., Koponen, K., Kärki, J., 2020. Nordix P2X for Sustainable Road Transport (Nordic Energy Research). Oslo, Norway.
- Börjesson, M., Johansson, M., Kågeson, P., 2020. Samhällsekonomiska kalkyler för elvägar (Working paper in Transport Economics 2020:2). VTI Swedish National Road and transport Research Institute, Stockholm, Sweden.
- Börjesson, P., Lantz, M., 2016. Methane as vehicle fuel – A well-to-wheel analysis (MetDrive) (No. 2016:06). f3 The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels.
- Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S., Nyström, I., 2013. Dagens och framtidens hållbara bio-drivmedel. The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels. Report 2013:13.

Brown, A., Waldheim, L., Landälv, I., Saddler, J., Ebadian, M., McMillan, J.D., Bonomi, A., Klein, B., 2020. Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction (No. 2020:01), IEA Bioenergy Technology Cooperation Programme Task 41. IEA Bioenergy, Paris, Cedex.

Browne, D., O'Mahony, M., Caulfield, B., 2012. How should barriers to alternative fuels and vehicles be classified and potential policies to promote innovative technologies be evaluated? Journal of Cleaner Production 35, 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.019>

Brynolf, S., 2014. Environmental Assessment of Present and Future Marine Fuels (Doctoral Thesis). Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Brynolf, S., Taljegard, M., Grahm, M., Hansson, J., 2018. Electrofuels for the transport sector: A review of production costs. Renewable and Sustainable Energy Reviews 81, 1887–1905. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.288>

Carbon recycling International, 2021. CRI - Carbon Recycling International [WWW Document]. CRI - Carbon Recycling International. URL <https://www.carbonrecycling.is> (hämtad 2021-02-26).

Carlsson, H., Sandin, M., Swahn, J., 2019. Emissionsfaktorer - För sjöfart och inlandssjöfart - Version1.0 Slutversion. M4Traffic.

Danebergs, J., 2019. Techno-economic Study of Hydrogen as a Heavy-duty Truck Fuel. <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1372698/FULLTEXT01.pdf>

Domnik, T., Wendeberg, E., Poncette, D., Kälber, S., Leible, L., Kretschmann, L., Aippersbach, C., Jahn, C., 2017. Techno-economic and environmental analysis of global biomass supply chains for Germany - exemplified by a case study for ethanol from Brazil. Presented at the 25th European Biomass Conference & Exhibition, Stockholm, Sweden.

Drivkraft Sverige, 2021. Skatter drivmedel och bränslen. Drivkraft Sverige. URL <https://drivkraftsverige.se/statistik/skatter/skatter-fossila-drivmedel-och-branslen/> (hämtad 2021-02-12).

Drivkraft Sverige, 2020. HVO- Hydrogenated Vegetable Oil. Drivkraft Sverige. URL <https://drivkraftsverige.se/uppslagsverk/fakta/drivmedel/fornybara-drivmedel/hvo-hydrogenated-vegetable-oil/> (hämtad 2021-02-26).

Drivkraft Sverige, 2018a. Råvaror i biodrivmedel [WWW Document]. Drivkraft Sverige. URL <https://drivkraftsverige.se/uppslagsverk/fakta/drivmedel/fornybara-drivmedel/ravaror-i-biodrivmedel/> (hämtad 2021-03-24).

Drivkraft Sverige, 2018b. Förnybara dieselbränslen [WWW Document]. Drivkraft Sverige. URL <https://drivkraftsverige.se/uppslagsverk/fakta/drivmedel/dieselbransle/biodiesel-fornybara-dieselbranslen/> (hämtad 2021-02-24).

EEA, 2020. Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe (Webpublication No. ENER 038). European Environmental Agency.

Elforsk, 2014. El från nya och framtida anläggningar 2014 (No. 14:40). Elforsk, Stockholm, Sverige.

Emilsson, E., Dahllöf, L., 2019. Lithium-Ion Vehicle Battery Production - Status 2019 on Energy Use, CO2 emissions, use of metals, products environmental footprint, and recycling (No. C444). IVL Swedish Environmental Research Institute.

Energimyndigheten, 2020a. Energiindikatorer i siffror 2020. Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2020b. Produktion och användning av biogas och rötresten år 2019 (No. ER 2020:25). Energimyndigheten, Eskilstuna.

Energimyndigheten, 2020c. Reduktionsplikt [WWW Document]. Energimyndigheten. URL <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/reduktionsplikt/> (hämtad 2021-02-26).

Energimyndigheten, 2019a. Kontrollstation 2019 för reduktionsplikten - Reduktionspliktens utveckling 2021–2030 (No. ER 2019:27).

Energimyndigheten, 2019b. Korttidsprognos sommaren 2019 - Energianvändning och energitillförsel år 2018–2022 (Energimyndigheten rapport No. ER 2019:16). Energimyndigheten, Eskilstuna, Sweden.

Energimyndigheten, 2019c. Drivmedel 2018 - Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten (No. ER 2019:14). Energimyndigheten, Eskilstuna, Sweden.

Energimyndigheten, 2019d. Energiläget 2019 - en översikt (No. ET 2019:2). Energimyndigheten, Eskilstuna, Sweden.

EU COM reg. 2019/1242, 2019. Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2019/1242 av den 20 juni 2019 om fastställande av normer för koldioxidutsläpp från nya tunga fordon och om ändring av Europaparlamentets och rådets förordningar EG nr 595/2009 och (EU) 2018/956 och rådets direktiv 96/53/EG.

EU Direktiv, 2019. Europaparlamentets och rådets direktiv 2019/1161 av den 20 juni 2019 om ändring av direktiv 2009/33/EG om främjande av rena och energieffektiva vägtransportfordon.

EU Direktiv, 2018. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources.

EU Parlamentet, 2014. Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/94/EU av den 22 oktober 2014 om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen.

Europaparlamentets och rådets direktiv 2018/2001/EU, 2018. Europaparlamentets och rådets direktiv 2018/2001/EU, EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2018/2001 av den 11 december 2018 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor (omarbetning).

European Commission, 2020. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, COM(2020) 301 final.

European Commission. Joint Research Centre., 2020. JEC well-to-tank report V5: JEC well to wheels analysis: well to wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Publications Office, LU.

Europeiska Kommissionen, 2021. En europeisk grön giv [WWW Document]. Europeiska kommissionen - European Commission. URL https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sv (hämtad 2021-02-21).

Eurostat, 2019. Energy – Data – Shares (Renewables). [WWW Document]. URL <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares> (hämtad 2019-08-09)).

Eurostat, 2020. Gas prices for non-household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards) online data code NRG_PC_203. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/5e595fa6-6bea-4983-ba9f-04c5a4bcf6db?lang=en> (hämtad 2020-09-15).

f3, 2020. Forskningsbaserade slutsatser om förnybara drivmedel (f3 budskap). f3 svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel, Göteborg, Sweden.

f3 centre, 2017a. Dimetyleter, DME - Faktablad [WWW Document]. f3 centre. URL <https://f3centre.se/sv/faktablad/dimetyleter-dme/> (hämtad 2021-02-25).

f3 centre, 2017b. Metanol - Faktablad [WWW Document]. f3 centre. URL <https://f3centre.se/sv/faktablad/metanol/> (hämtad 2021-02-21).

f3 centre, 2015. Bioetanol [WWW Document]. f3 centre. URL <https://f3centre.se/sv/faktablad/bioetanol/> (hämtad 2021-02-25).

Fenton, P., Kanda, W., 2017. Barriers to the diffusion of renewable energy: studies of biogas for transport in two european cities. Journal of environmental planning and management 60, 725–742. <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1176557>

FEV Consulting, 2019. Low carbon pathways until 2050 - deep dive on heavy-duty transportation. [https://www.fev-consulting.com/fileadmin/user_upload/Consulting/Downloads/Publikationen/Low_Carbon_Pathways_Until_2050 - Deep Dive Heavy Duty Transportation Final Report.pdf](https://www.fev-consulting.com/fileadmin/user_upload/Consulting/Downloads/Publikationen/Low_Carbon_Pathways_Until_2050_-_Deep_Dive_Heavy_Duty_Transportation_Final_Report.pdf)

Furusjö, E., Lundgren, J., 2017. Utvärdering av produktionskostnader för biodrivmedel med hänsyn till reduktionsplikten (No. f3 2017:17). f3, The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation fuels, Gothenburg, Sweden.

Gilbert-d'Halluin, A., Harrison, P., 2018. Trucking into a greener future. European Climate Foundation, Brussels, Belgium. <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2019/11/6-09-2019-trucking-into-a-greener-future-summary-report.pdf>

Gnann, T., Plötz, P., Wietschel, M., Kühn, A., 2017. What is the best alternative drive train for heavy road transport?, in: EVS - Int. Electr. Veh. Symp. Exhib. Landesmesse Stuttgart GmbH.

- Goldie-Scot, L., 2019. A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices. BloombergNEF. URL <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/> (hämtad 2020-10-26).
- Gonzales, E.J., Miller, L.M., Cohn, A., 2010. A Logistics Model for Production and Distribution of Sugarcane Ethanol in Brazil. Presented at the 12th World Conference on Transport Research, Lisbon, Portugal.
- Hacker, F., Blanck, R., Görz, W., Bernecker, T., Speiser, J., Röckle, F., Schubert, M., Nebauer, G., 2020. StratON Bewertung und Einführungsstrategien für Oberleitungsgebundene Schwere Nutzfahrzeuge - Endbericht. Öko-Institut e.V., Berlin, Germany.
- Hagos, D.A., Ahlgren, E.O., 2018. Well-to-wheel assessment of natural gas vehicles and their fuel supply infrastructures – Perspectives on gas in transport in Denmark. Transportation Research Part D: Transport and Environment 65, 14–35. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.07.018>
- Hammarlund, S., Isacson, G., Lindblom, H., Eliasson, J., Hunhammar, S., 2020. Scenarier för att nå klimatmålet för inrikes transporter - Ett regeringsuppdrag (Trafikverket No. 2020:080). Trafikverket, Borlänge, Sverige.
- Hecht, E.S., Pratt, J., 2017. Comparison of conventional vs. modular hydrogen refueling stations, and on-site production vs. delivery (No. SAND2017-2832). Sandia National Laboratories.
- Heyne, S., Bokinge, P., Nyström, I., 2019. Global production of bio-methane and synthetic fuels - overview. CIT Industriell Energi AB. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1421/m1421.pdf>
- Hjort, A., Hansson, J., Lönnqvist, T., Nilsson, J., 2019. Utsikter för förnybar flytande metan i Sverige till 2030 (f3 report no 2019:05). IVL Swedish Environmental Research Institute, Göteborg, Sweden.
- Hydrogen Europe, 2020. Hydrogen Europe's position paper on the AFID.
- IVA, 2016. Sveriges framtida elproduktion: en delrapport : IVA-projektet Vägval el. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), Stockholm. <https://www.iva.se/globalassets/info-trycksaker/vagval-el/vagvalel-sveriges-framtida-elproduktion.pdf>
- Johansson, H., Eklöf, H., Lindblom, H., 2020. Kunskapsunderlag om energieffektivisering och begränsad klimatpåverkan (Trafikverket No. 2020:084, version 1.0). Trafikverket.
- Jordbruksverket, 2020. Investeringsstöd för biogas [WWW Document]. Jordbruksverket. URL <https://jordbruksverket.se/stod/fornybar-energi/investeringsstod-for-biogas> (hämtad 2021-02-24).
- Jussila Hammes, J, 2020. Potential för utsläppsminskningar från elektrifiering av godstransporter på Europavägar (VTI Working Paper No. 2020:2). VTI, Linköping, Sweden. <https://www.transportportal.se/VTISWoPEC/VTI%202020%202.pdf>
- Karlsson, R., 2019. KVAL Validering av Samgods mot lastbilsstatistik. Trafikverket. https://www.trafikverket.se/contentassets/773857bcf506430a880a79f76195a080/forskningsresultat/2019/validering-av-samgods-mot-lastbilsstatistik_2019-07-05.pdf

Karlström, M., Pohl, H., Grauers, A., Holmberg, E., 2019. Fuel Cells for Heavy Duty Trucks 2030+? (Energiforsk No. 2019:604). Energiforsk, Stockholm, Sverige.

Kastensson, Å., Börjesson, P., 2017. Hinder för ökad användning av höginblandade biodrivmedel i den svenska fordonsflottan (f3-rapport No. f3 2017:02).

Kloo, H., Larsson, M.-O., 2019. Jämförelse av tekniker för klimatsmarta tunga godstransporter (No. C 384). IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm.

Kluschke, P., Gnann, T., Plötz, P., Wietschel, M., 2019. Market diffusion of alternative fuels and powertrains in heavy-duty vehicles: A literature review. Energy Reports 5, 1010–1024.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.07.017>

Kramer, U., Ortloff, F., Stollenwerk, S., Thee, R., 2018. Defossilizing the transportation sector - Options and requirements for Germany. Research Association for Combustion Engines, Frankfurt, Germany. https://www.fvv-net.de/fileadmin/user_upload/medien/materialien/FVV_Future_Fuels_Study_report_Defossilizing_the_transportation_sector_R586_final_v.3_2019-06-14_EN.pdf

Kühnel, S., Hacker, F., Görz, W., 2018. Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr - Ein Technologie- und Wirtschaftlichkeitsvergleich. Öko-Institut, Institute for Applied Ecology, Berlin, Germany.

Larsson, G., Persson, P.-O., 2020. Hur kan alkoholer bidra till en fossiloberoende arbetsfordonsflotta? (No. FDOS 03:2020). f3 The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels.

LBST, 2016. Kommerzialisierung der Wasserstoff-Technologie in Baden-Württemberg - Rahmenbedingungen und Perspektiven. URL https://elib.dlr.de/103522/1/Studie_H2-Kommerzialisierung_Neu_RZ_WebPDF.pdf (hämtad 2021-03-28)

Lepercq, T., 2020. The view on hydrogen in Europe. Presentation på Chalmers webinar “Hydrogen – A silver bullet in the energy system?”, 4 november 2020.
<https://www.chalmers.se/sv/styrkeomraden/energi/nyheter/Sidor/Watch-the-webinar-Hydrogen-A-Silver-Bullet-in-the-Energy-System.aspx>

Lilliestam, J., Patt, A., 2015. Barriers, Risks and Policies for Renewables in the Gulf States. Energies 8, 8263–8285. <https://doi.org/10.3390/en8088263>

Lindblom, H., 2020a. Beskrivning av Scenarioverktyget - Verktygets uppbyggnad, antaganden och effektsamband. Underlag till Scenarier för att nå klimatmålet för inrikes transporter - ett regeringsuppdrag (No. 2020:085). Trafikverket. URL https://www.trafikverket.se/contentassets/8a378cdce4f24e6cb2e2592e89e04632/beskrivning-av-scenarioverktyget_version-1.0.pdf (hämtad 2020-10-14)

Lindblom, H., 2020b. PM Förutsättningar för fordon, drivmedel och körkostnader i Basprognos 2020 (Trafikverket PM). Trafikverket. URL <https://www.trafikverket.se/contentassets/19d85cfc691b4df3bff6c851d4097623/2020/pm-förutsattningar-fordon-drivmedel-och-körkostnader-basprognos-2020.pdf> (hämtad 2020-09-14)

Lindgren, M., Asp, T., Grudemo, S., Hasselgren, B., Mörtzell, H., Natanaelsson, K., Näsström, E., Palo, K., 2021. Behov av laddinfrastruktur för snabbbladdning av tunga fordon längs större vägar (Trafikverket rapport No. Trafikverket 2021:012). Trafikverket.

Mareev, I., Becker, J., Sauer, D.U., 2018. Battery Dimensioning and Life cycle costs Analysis for a heavy-Duty Truck Considering the requirements of Long-Haul Transportation. *Energies* 11, 55. <https://doi.org/10.3390/en11010055>

Mareev, I., Sauer, U.D., 2018. Energy Consumption and Life Cycle Costs of Overhead Catenary Heavy-Duty Trucks for Long-Haul Transportation. *Energies* 11, 3446-. <https://doi.org/10.3390/en11123446>

Mellquist, A.-C., Pirie, J., Smith, A., Stenning, J., Vanacore, E., Villiander, M., 2017. Decarbonising the Swedish road transport sector. *International Journal of Energy Production and Management* vol 2, 2017, 251–262. <https://doi.org/10.2495/EQ-V2-N3-251-262>

Mignon, I., Bergek, A., 2016. System- and actor-level challenges for diffusion of renewable. *Journal of Cleaner Production* 128, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.048>

Moro, A., Lonza, L., 2018. Electricity carbon intensity in European Member States: impacts on GHG emissions of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 64, 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012>

Moultak, M., Lutsey, N., Hall, D., 2017. Transitioning to zero-emission heavy duty freight vehicles (White paper). ICCT. URL https://theicct.org/sites/default/files/publications/Zero-emission-freight-trucks_ICCT-white-paper_26092017_vF.pdf (hämtad 2019-10-08)

Naturvårdsverket, 2018. Klimatklivet stödjer teknikskifte för tunga transporter. Press release.

Nordin, L., McGarvey, T., Gahfoori, E., 2020. Electric Road Systems (No. VTI rapport1052A). Statens väg och transportforskningsinstitut, Gothenburg, Sweden.

OKQ8, 2020. Listpriser på bensin, diesel, villaolja och övriga produkter. OKQ8. <https://www.okq8.se/foretag/priser/#/> (hämtad 2021-03-23)

Pettersson, K., Gåverud, H., Görling, M., 2019. Well-to-wheel cost for forest-based biofuels (No. Report No 2019:03). f3 The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels.

PIARC, 2018. Electric Road Systema: A Solution for the Future? (PIARC special report No. 2018SP04EN). PIARC, Cedex, France. URL https://www.trafikverket.se/contentassets/2d8f4da1602a497b82ab6368e93baa6a/piarc_elvag.pdf (hämtad 2021-03-15)

Pohl, H., Karlström, M., Lindgren, M., Lundgren, S., Vågstedt, N.-G., Öhlund, P., 2019a. Lastbilar med bränsleceller - FCHDV2 (No. 2019:603). Energiforsk, Stockholm, Sverige.

Pohl, H., Karlström, M., Lindgren, M., Lundgren, S., Vågstedt, N.-G., Öhlund, P., 2019b. Lastbilar med bränsleceller (No. 2019:603). Energiforsk / Swedish Electromobility Centre.

Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M., Edwards, R., 2020. JEC Well-To-Wheels report v5. (No. EUR 30284).

Regeringen, 2020. Nytt miljöstyrande system för godstransporter på väg, Direktiv. 2020:38 <https://www.regeringen.se/4a6c5c/contentassets/6e76b569e98645dab9b1a075aa478c93/nytt-miljostyrande-system-for-godstransporter-pa-vag-dir.-202038.pdf>

Regeringskansliet, 2020a. Fortsatt skattebefrielse för rena och höginblandade biodrivmedel. Regeringen. URL <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/10/fortsatt-skattebefrielse-for-rena-och-hoginblandade-biodrivmedel/> (hämtad 2021-03-24).

Regeringskansliet, 2020b. Skattebefrielse möjlig för biogas och biogasol [WWW Document]. Regeringen. URL <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/06/skattebefrielse-mojlig-for-biogas-och-biogasol/> (hämtad 2021-03-24).

Regeringskansliet, 2020c. Premie ska ge fler miljölastbilar och eldrivna arbetsmaskiner [WWW Document]. Regeringskansliet. URL <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/08/premie-ska-ge-fler-miljolastbilar-och-eldrivna-arbetsmaskiner/> (hämtad 2020-08-18).

Robinius, M., Linßen, J., Grube, T., Reuß, M., Stenzel, P., Syranidis, K., Kuckertz, P., Stolten, D., 2018. Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles. Forschungszentrum Jülich. <http://hdl.handle.net/2128/16709>

Röck, M., Rexeis, M., Hausberger, S., 2018. Tank to wheels report - Heavy duty vehicles (No. FVT128/18/Rö EM-I2017/29 from 31.10.2018). JEC JRC. <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec> (hämtad 2020-10-08)

SÅcalc, 2019. Exempelsiffror för referensfordon som fått genom mailkontakt med Sveriges Åkeriföretag.

Sartini, F., Grönkvist, S., Fröberg, M., 2017. Infrastructure and vehicles for heavy long-haul transports fuelled by electricity and hydrogen - an overview. (No. 2018:02). f3, The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation fuels.

Schröder, J., Müller-Langer, F., Aakko-Saksa, P., Winther, K., Wibeke, B., Lindgren, M., 2020. Methanol as a Motor Fuel - Summary Report (IEA Technology Collaboration Programme No. Annex 56). Methanol as motor fuel under the Technology Collaboration Programme of Advanced Motor Fuels of the International Energy Agency.

Skatteverket, 2020. Företag och organisationer - Skatter - Punktskatter - Energiskatter [WWW Document]. Skatteverket. URL <https://skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/punktskatter/energiskatter.4.18e1b10334ebe8bc8000843.html>

SPBI, 2020. Diesel - Prisstatistik. Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet. URL <https://spbi.se/statistik/priser/diesel/> (hämtad 2020-06-30).

Sternberger, A., Hebling, C.M., Hank, C., 2019. Greenhouse gas emissions for battery electric and fuel cell electric vehicles with ranges over 300 kilometers.

https://www.researchgate.net/publication/335189470_Greenhouse_gas_emissions_for_battery_electric_and_fuel_cell_electric_vehicles_with_ranges_over_300_kilometers (hämtad 2021-02-12)

SWECO, 2020. Lösningar för det svenska kraftsystemets utveckling. SWECO.

<https://www.skekraft.se/wp-content/uploads/2020/12/Sweco-Det-svenska-kraftsystemets-utveckling.pdf>

Takman, J., Andersson-Sköld, Y., Johansson, J., Johansson, M., Johansson, H., Uhlin, L., Kantelius, Å., 2018. Biogas för tunga lastbilstransporter - Barriärer och möjligheter (VTI Rapport No. 981). VTI. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1248656/FULLTEXT01.pdf>

Takman, J., Sedehi Zadeh, N., Trosvik, L., Vierth, I., 2020. Triple F Systemövergripande uppföljning 2020 – Uppföljning av hur godstransporter närmar sig det svenska klimatmålet 2030. Triple F. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1510562/FULLTEXT01.pdf>

Taljegard, M., Thorson, L., Odenberger, M., Johnsson, F., 2019. Large-scale implementation of electric road systems: Associated costs and the impact on CO₂ emissions. International Journal of Sustainable Transportation 1–14. <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1595227>

Taljegard, M., Thorson, M., Odenberger, M., Johnsson, F., 2017. Electric road systems in Norway and Sweden-impact on CO₂ emissions and infrastructure cost, in: 2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific). Presented at the 2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ITEC-AP.2017.8080779>

Timmers, V., R.J.H., Achten, P., A.J., 2016. Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. Atmospheric Environment 134, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>

Trafikanalys, 2020. Körsträckor 2019- Statistik (No. 2020:11). Trafikanalys.

Trafikanalys, 2019a. Lastbilstrafik 2018. Trafikanalys. Statistik 2019:13, publiceringsdatum 2019-05-15 <https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/lastbilstrafik/2018/lastbilstrafik-2018.pdf?>

Trafikanalys, 2019b. Styrmedel för tunga miljövänliga lastbilar (No. 2019:2). Trafikanalys, Stockholm, Sweden.

Trafikanalys, 2018a. Fordon i framtiden - elektrifiering, automatisering och digitalisering (No. PM 2018:3). Trafikanalys, Stockholm, Sweden.

Trafikanalys, 2018b. Utländska lastbilstransporter i Sverige 2015–2016 (No. 2018:22). Trafikanalys.

Trafikanalys, 2017. Prognoser för fordonsflottans utveckling i Sverige (No. 2017:8). Trafikanalys.

Trafikverket, 2020a. Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärde för transportsektorn: ASEK 7.0 (Trafikverket No. ASEK 7.0, version 2020-06-15). Trafikverket, Borlänge, Sverige.

Trafikverket, 2020b. Elprisrapport januari 2020. Trafikverket, Borlänge, Sverige.
<https://www.trafikverket.se/contentassets/c594c43ebafd424f8be007e44deed05f/2020-01-elprisrapport.pdf>

Transportstyrelsen, 2020. Miljözoner [WWW Document]. Transportstyrelsen. URL
<https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Miljo/Miljozoner/> (hämtad 2021-02-26).

Transportstyrelsen, 2018. Kör- och vilotider - Regler och vägledning.
<https://www.transportstyrelsen.se/4a782b/globalassets/global/publikationer/vag/yrkestrafik/produkt/er/kor-och-vilotider-webb-sept-2018.pdf>

Vattenfall, 2020. Elnätspriser.

Westlund, Å., 2019. Mer biogas! För ett hållbart Sverige (No. SOU 2019:63).
https://www.sou.gov.se/wp-content/uploads/2019/12/SOU_2019_63_webb.pdf

Zhao, H., Wang, Q., Fulton, L., Jaller, M., Burke, A., 2018. A Comparison of Zero-Emission Highway Trucking Technologies (UC Office of the President ITS reports).
<https://doi.org/DOI:10.7922/G2FQ9TS7>

BILAGA 1. KOMPONENTKOSTNADER FÖR FORDON

I denna bilaga presenteras antaganden och beräkningar av komponentkostnader för HGV40 år 2030.

DIESEL HGV40 ÅR 2030

De totala fordonskostnaderna för en diesel HGV40 år 2030 baseras på uppgifter om fordonskostnader år 2019 från SÅcalc för en HGV40, samt ett antagande baserat på Sartini m.fl. (2017) om att fordonskostnaderna för ett dieselfordon kommer öka med 26 555 SEK till 2030 till följd av ökade krav på utsläppsminskningar.

Komponentkostnaderna för dieselfordonet är baserade på uppgifter om komponentkostnadernas andel av totalkostnaden från Karlström m.fl. (2019). Vi har med hjälp av dessa andelar räknat ut nya komponentkostnader för en diesel HGV40 baserat på den totalkostnad som vi använder baserat på SÅcalc och Sartini m.fl. (2017).

Karlström m.fl. (2019) anger en motorstyrka på 335kW, jämfört med den motorstyrka på 350 kW som anges för övriga fordon av de andra inkluderade referenserna för fordonskostnader. Vi har därför räknat upp kostnaderna för motorn och för efterbehandlingssystemet så att de ska motsvara en motor på 350kW.

Dieseltanken rymmer 800 liter enligt Karlström m.fl. (2019), men studien saknar information om fordonets räckvidd. I Röck m.fl. (2018) uppges dock att dieselfordonen har en räckvidd på över 350 mil.

ELVÄGSTEKNIKERNÄ

Batterikostnader för de olika elvägsteknikerna har beräknats genom att multiplicera en kostnad på 540 SEK/kWh som antas i Goldie-Scot (2019) med en kapacitet på 350 kWh som anges i Röck m.fl. (2018), samt antaganden om en uppräkningsfaktor på 1,3 som anges i Kühnel m.fl. (2018). Dessa fordon antas då ha en räckvidd på 250 km utanför elvägen.

Kostnaden för växellådan är baserad på Karlström m.fl. (2019) och antas vara en tredjedel jämfört med dieselreferensen för elfordon och bränsleceller.

Elektrisk motor, ARS (additional required system) och strömvtagare för **elväg-luft** baseras på komponentkostnaderna i (Kühnel m.fl., 2018) och utgår från en motorstyrka på 350 KW. Vad gäller motor, ARS och strömvtagare för **elväg-ind** och **elväg-skena** har vi utgått från proportionerna mellan de tre elvägsteknikerna i (Sartini m.fl., 2017) för dessa komponentkostnader och använt samma proportioner för att räkna fram en ny kostnad med utgångspunkt i (Kühnel m.fl., 2018) kostnader för **elväg-luft**.

BEV (LITET BATTERI) OCH BEV (STORT BATTERI)

Batterikostnader för BEV (litet batteri) och BEV (stort batteri) har beräknats genom att multiplicera en kostnad på 540 SEK/kWh som antas i (Goldie-Scot, 2019) med en kapacitet på 600 kWh för

BEV (litet batteri) och 1000kWh för BEV (stort batteri) som anges i (Röck m.fl., 2018) samt antaganden om en uppräkningsfaktor på 1,26 för BEV (litet batteri) och 1,24 för BEV (stort batteri). Växellådan är baserad på (Karlström m.fl., 2019) där kostnaden är en tredjedel av den för dieseln. Elektrisk motor (350kW) och ARS är baserad på komponentkostnaderna i (Kühnel m.fl., 2018).

FCEV

Batterikostnader för FCEV har beräknats genom att multiplicera en kostnad på 540 SEK/kWh som antas i Goldie-Scot (2019) med en kapacitet på 20 kWh som anges i (Röck m.fl., 2018) samt antaganden om en uppräkningsfaktor på 1,4. Räckvidden antas vara 800 km. Växellådan är baserad på (Karlström m.fl., 2019) där kostnaden är en tredjedel av den för dieseln. Elektrisk motor (350kW) och ARS är baserade på (Kühnel m.fl., 2018). Bränslecellsystemet är baserat på uppgifter från (Sartini m.fl., 2017) då den kostnad som fanns i Kühnel m.fl., (2018) ansågs lite väl optimistisk enligt fordonsindustrin. Vätgastanken är baserad på (Kühnel m.fl. (2018).

GASFORDONEN

Kostnader för efterbehandling har efter samtal med industripartners till detta projekt antagits vara samma för LNG HPDI (CI) som för diesel. För LNG SI och CNG SI har dock kostnaderna för efterbehandling antagits vara lägre (totalt 50 000 SEK). Växellåda har vi antagit vara samma för gasfordonen som för diesel efter samtal med industrin.

Motorn för en LBG HPDI (CI) har vi antagit kosta 150 000 SEK mer än dieselmotorn år 2030, medan motorn för LBG (SI) och CBG (SI) antas vara samma som motorkostnaden för ett dieselfordon baserat på samtal med fordonsindustrin.

För gastankarna har vi antagit en kostnad på 66,5 SEK/kWh för LNG HPDI (CI) och LNG (SI), medan en kostnad på 45,5 SEK/kWh har antagits för CNG (SI) baserat på samtal med fordonsindustrin. Tankstorleken har antagits till 4211 kWh för de båda LNG-fordonen och till 2198 kWh för CNG-fordonet.

HEV – B7 (DIESELHYBRID)

För dieselhybriden har vi räknat ut kostnaderna baserat på redan beskrivna komponentkostnader för dieselfordon och batterifordon, men har räknat om kostnaderna utifrån följande antaganden gällande exempelvis motorstyrka, kapacitet etc.: ICE motor 350 kW; elektrisk motor 140 kW, batteri 10 kWh; bränsletankkapacitet: 400 l (att jämföra med det rena diesellastbilen som har en kapacitet på 800 l).

HEV – LNG (LNG-HYBRID)

För LNG-hybriden har vi räknat ut kostnaderna baserat på redan beskrivna komponentkostnader för LNG (SI) och batterifordon, men har räknat om kostnaderna utifrån följande antaganden gällande exempelvis motorstyrka, kapacitet etc.: ICE SI motor 350 kW; elektrisk motor 140 kW; batteri 10 kWh; bränsletankkapacitet 4211 kWh (samma kapacitet som den rena LNG-lastbilen).

BILAGA 2. TRAFIKARBETE FÖR LASTBILAR I SVERIGE

Tabell 24. Trafikarbete för svenska och utlandsregistrerade tunga lastbilar till, från och inom Sverige. Värden baserade på statistik och egna beräkningar.

Trafikarbete [miljoner fordonskilometer/år]	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Svenska tunga lastbilar på svenska vägar (baserat på enkät)	2 818	2 889 ^a	2 889 ^a	2 841 ^a	2 957 ^a	2 944 ^a
Svenska tunga lastbilar på svenska vägar (baserat på mätarinställningar och antagande om andel för utrikes transporter) ^g	3 776	3 790	3 842	3 922	3 960	3 925
Svenska tunga lastbilar total körsträcka (inrikes och utrikes) ^d	4 016	4 032	4 087	4 172	4 213	4 176 ^d
Utländska lastbilar på svenska vägar, exkl. transit ^e	627 ^b	601 ^b	693 ^b			
Utländska lastbilar på svenska vägar, (inkl. transit)	700 ^f	700	700 ^f	700 ^f	700 ^f	700 ^f
Totalt trafikarbete tunga lastbilar på svenska vägar (baserat på intervjustudie)	3 518	3 589	3 589	3 541	3 657	3 644
Totalt trafikarbete tunga lastbilar på svenska vägar (baserat på mätarställning)	4 475	4 490	4 542	4 622	4 660	4 625
Transporterad godsmängd, svenska lastbilar på svenska vägar [Mton/år]	380,6 ^c	422,5 ^c	432,8 ^c			
Transporterad godsmängd, utländska lastbilar på svenska vägar (exkl. transit) [Mton/år]	27,4 ^c	27,3	32,3 ^c			
Utländska lastbilar, transit på svenska vägar [Mton/år]		4,5	~4,0 ^c			

^a Baserat på Lastbilstrafik (Trafikanalys, 2019a) som baseras på enkäter riktad till ca 12 000 svenskregistrerade lastbilar varje år som transporterar varor på väg och som har en maximilast på minst 3,5 ton. Man skriver själv här att man genom detta når ca 89% av de tunga lastbilarna. Den totala siffran (inrikes + utrikes transporter uppges för 2018 till 3 140 miljoner fordonskilometer/år varav 182 miljoner fordonskilometer/år skulle ske utomlands.

^b Baserat på "Utländska lastbilstransporter i Sverige 2015–2016" (Trafikanalys, 2018b). Notera att dessa siffror inte inkluderar transitresor i Sverige.

^c Baserat på "Utländska lastbilstransporter i Sverige 2015–2016" (Trafikanalys, 2018b).

^d Baserat på Körsträckor (Trafikanalys, 2020). Här baseras uppskattningen med hjälp av mätarinställningar på svenskregistrerade tunga lastbilar. Den totala siffran för lastbilarna är 4 176 miljoner fordonskm/år, men inkluderar då både sträckor som körts i Sverige och utomlands.

^e Utländska lastbilars trafikarbete (fordonskilometer/år) på svenska vägar i transit har uppskattats genom att anta att det är samma förhållande mellan godsmängd och fordonskilometer för transitresorna (för 2015) som för övriga resor.

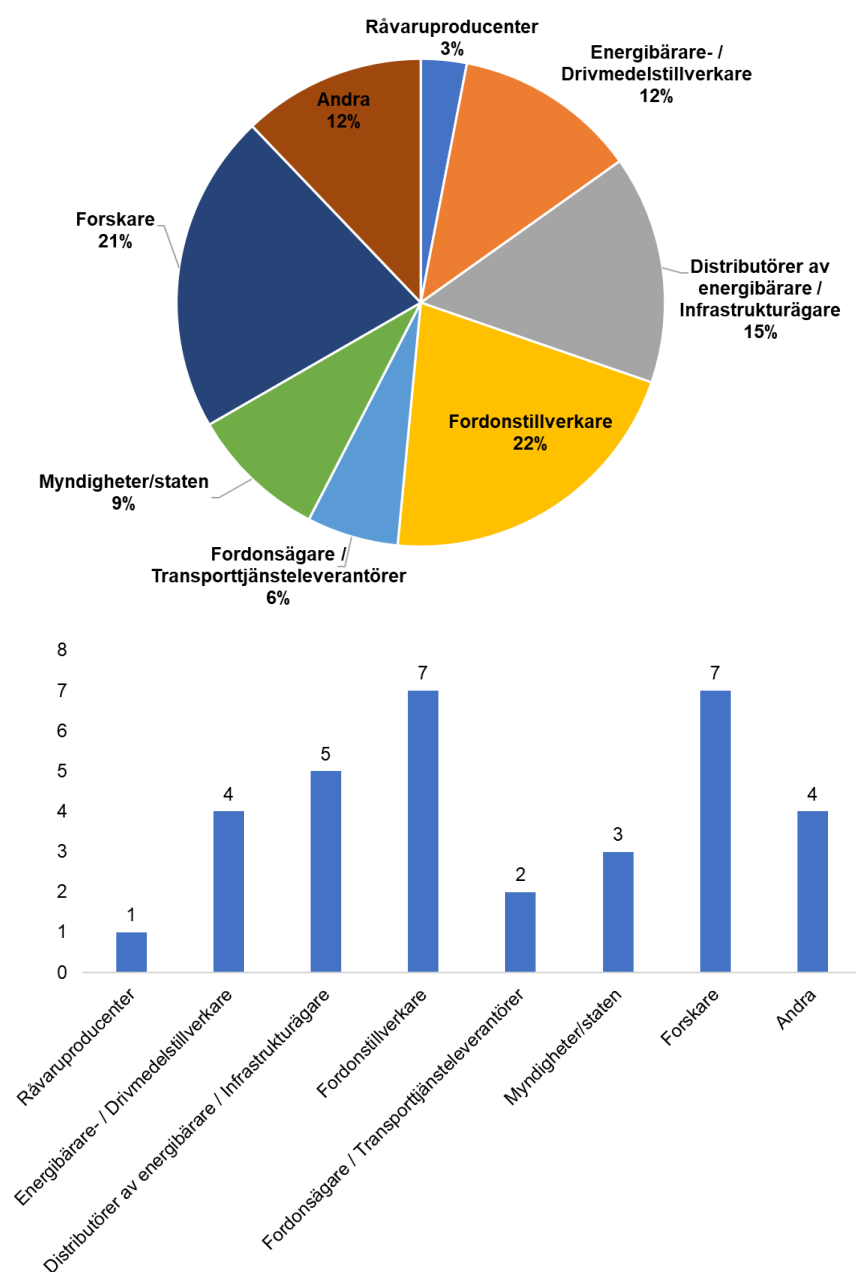
^f Värdet för 2015 är baserat på data från Trafikanalys och antagandet om att de transporterade tonnen av utländska fordon på transit har samma genomsnittliga fordonskilometer som den godsmängd som transporteras av svenska lastbilar i Sverige. För åren 2016–2019 har vi antagit att fordonskilometer per år från utländska lastbilar på transit i Sverige är oförändrat jämfört med 2015.

^g Dessa siffror är uträknade baserat på antagandet om att andelen fordonskilometrar körda utomlands är lika stor som den är enligt undersökningen av Lastbilstrafiken baserat på enkäter, d.v.s. 94 % av resorna sker inrikes.

BILAGA 3. WORKSHOP

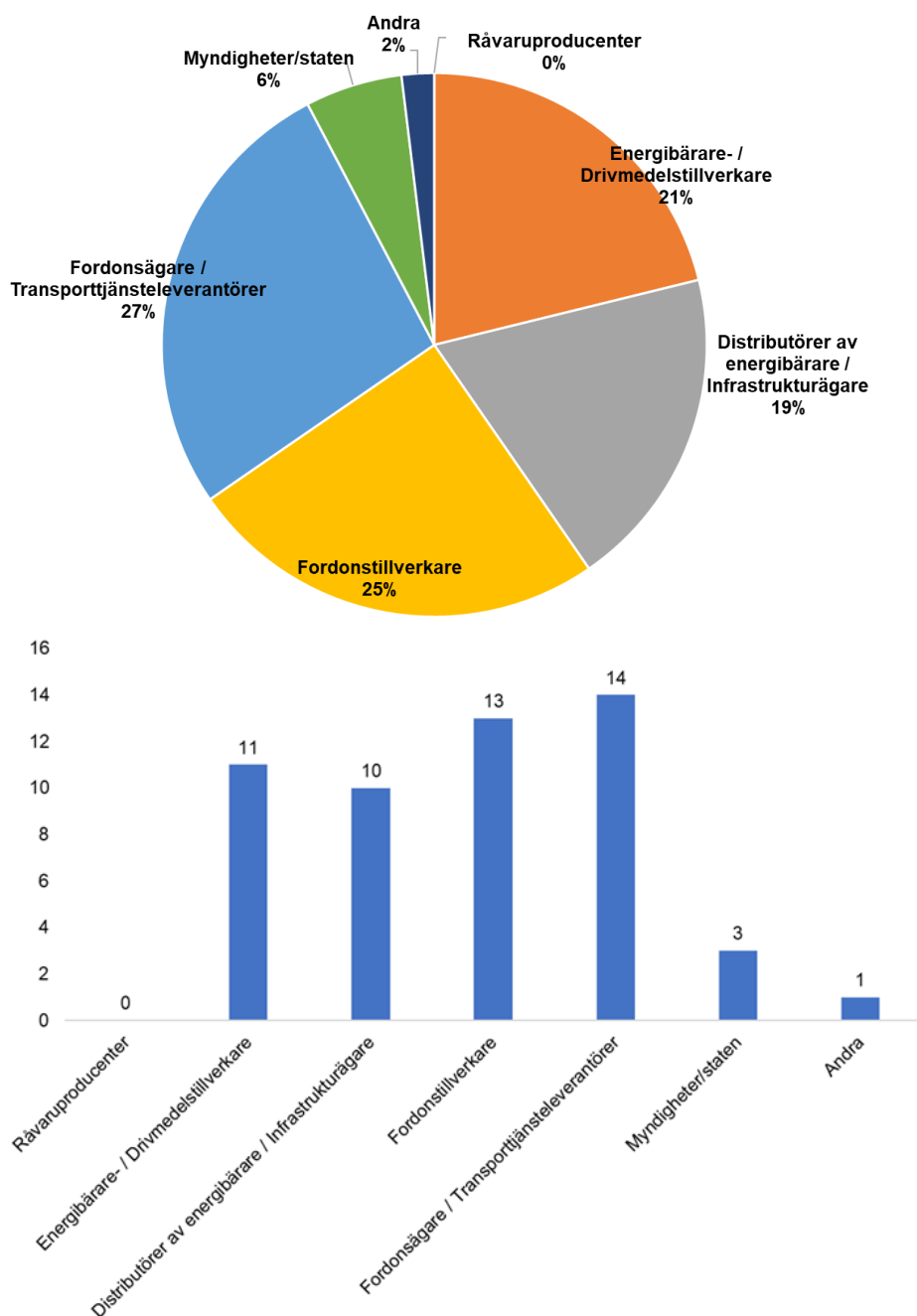
Inom ramen för projektet genomfördes en digital workshop den 20 oktober 2020 där preliminära projektresultat om kostnader, kostnadsfördelning, risker och möjligheter presenterades. Inbjudna experter från industrin och institut inom de olika områden för fossilfria tunga transporter för väg presenterade sina vyer på teknikutveckling och implementering. Inbjudan spreds via f3:s nätverk och olika andra kanaler med målet att bjuda in deltagare från hela värdekedjan samt forskare, myndighetspersoner och politiker. Inom ramen för workshopen ställdes även ett antal frågor till deltagarna kring hinder/risker och möjligheter med implementeringen av de olika alternativen. I följande avsnitt sammanfattas de inhämtade svaren och kommentarerna från workshopen.

Det var 62 anmälda deltagare i workshopen och i Figur 31 visas fördelningen av deltagarnas tillhörighet till sektor/bransch, baserad på de 33 inkomna svaren (från 28 individuella respondenter – möjlighet till upp till två svarsalternativ fanns).



Figur 31. Sektors-/branschtillhörighet av workshopdeltagarna (totalt 33 svar från 28 respondenter). Stapeldiagrammet visar antalet deltagare som tycker sig tillhöra respektive aktörsgrupp

På frågan kring vilka aktörer i värdekedjan som tar de största riskerna i omställningen för långväga tunga transporter på väg var svaren nästan jämnt fördelade mellan drivmedelstillverkarna, -distributörerna, fordonstillverkarna och fordonsägare/transporttjänstleverantörerna (se Figur 32). Råvaruproducenter (t.ex. skogsindustrin) nämndes inte alls bland aktörerna som tar risker i omställningen, medan några nämnde myndigheter/staten som en aktör som tar risker.



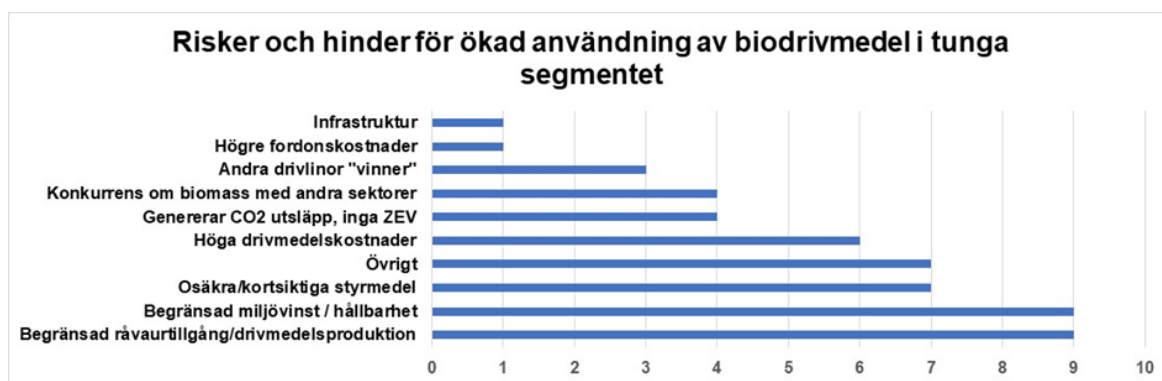
Figur 32. Sammanställning av svaren på frågan "Vilka aktörer tar de största riskerna i omställningen för långväga tunga transporter på väg?" (totalt 52 svar från 30 respondenter).

För att fånga upp synpunkter kring vilka risker och hinder – både ekonomiska, miljömässiga, resursmässiga, politiska/styrmedelsrelaterade samt andra tänkbara – som workshopdeltagarna anser vara relevanta, ställdes fritextfrågor för följande fem områden:

- Biodrivmedel
- Vätgas och bränslecellslastbilar
- Batterilastbilar
- Elvägar
- Elektrobränsle (frågan hoppades över pga. tidsbrist)

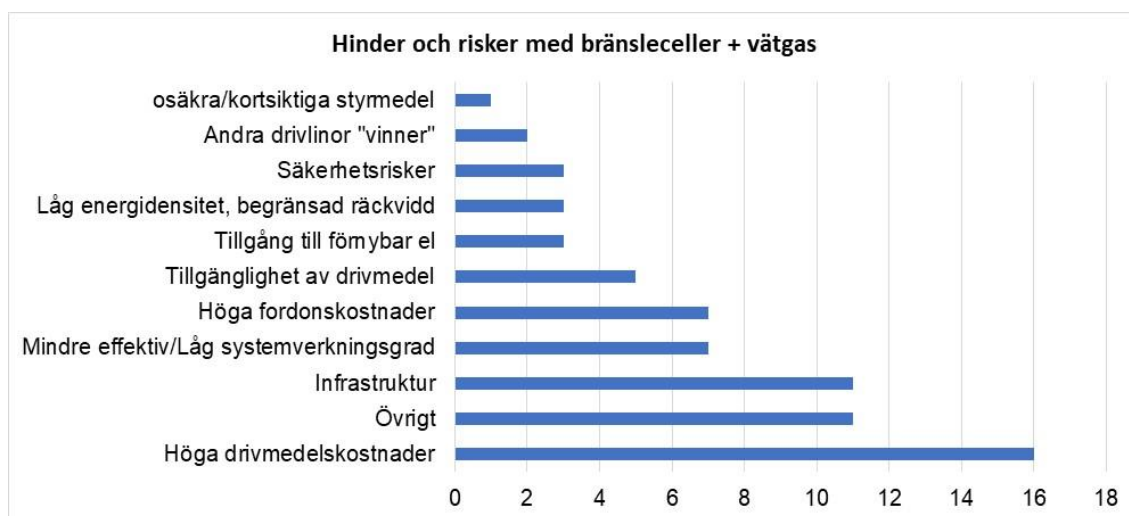
Svaren lämnades in som fritext. Det var svar som lämnades in med kort betänketid, men det var också personer som är väl insatta i frågeställningarna som svarade. Nedan följer en grafisk sammanställning av svaren, där en kategorisering av svaren har gjorts av projektgruppen för att lyfta fram de mest frekvent nämnda riskerna och hindren, samt en kort sammanställning i textform.

För biodrivmedel (se Figur 33) nämns begränsad råvarutillgång samt risker för en begränsad miljövinst respektive risker för en icke-hållbar produktionskedja vid ökade produktionsvolymerna. Dessutom anses produktionskostnader vara för höga och faktumet att det sker utsläpp från fordonen vara en risk för biodrivmedelsspåret. Bland övriga risker nämns t.ex. konkurrens från andra sektorer (biomassa till material), importberoende och avsaknad av en långsiktigt och global strategi, respektive egna nationella lösningar som inte är förenligt med EU och resten av världen.



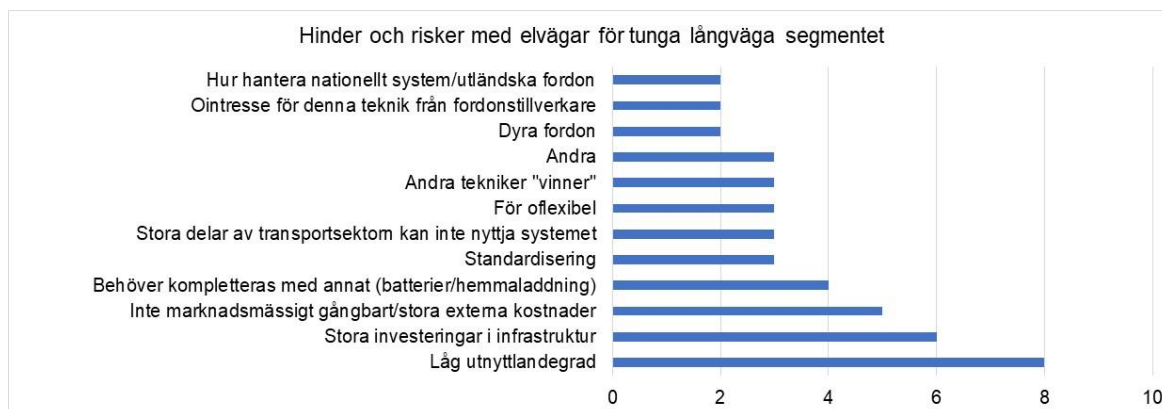
Figur 33. Kategorisering av fritextsvaren på frågan "Vilka är de största riskerna och hindren för ökad användning av BIODRIVMEDEL i det tunga långväga segmentet?" (28 respondenter).

För **vätgas och bränslecellslastbilar** (se Figur 34) relaterar en stor andel av svaren kring hinder och risker till höga produktionskostnader för vätgas, avsaknad av en (distributions-)infrastruktur, höga fordonskostnader, samt en låg energieffektivitet för hela kedjan (WtW). Bland övriga hinder och risker som nämns återfinns bland annat tekniska hinder, ekonomiska hinder, samt en avsaknad av samordning mellan sektorerna för att utnyttja de potentiella synergier vätgas skulle kunna frigöra.



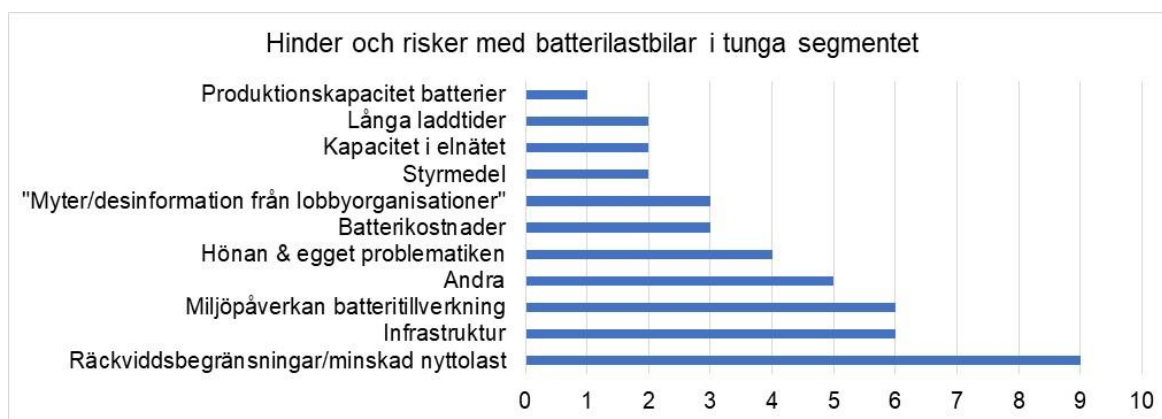
Figur 34. Kategorisering av fritextsvaren på frågan "Vilka är de största riskerna och hindren för ökad användning av VÄTGAS & BRÄNSLECELLER i det tunga långväga segmentet?" (22 respondenter).

För hinder och risker i relation till **elvägar** för tunga lastbilar nämns främst de stora investeringar som krävs, som – i kombination med en risk för en låg utnyttjandegrad – försvårar en etablering på marknadsmässiga villkor (se Figur 35). Dessutom nämns att elvägslastbilar förväntas behöva kompletteras med annan teknik (batterier, förbränningsmotor) för att köra utanför elvägsnätet. Utöver dessa ser man även standardisering, avsaknad av flexibilitet, samt faktumet att stora delar av transportsektorn inte kan nyttja systemet (kopplar delvis till låg utnyttjandegrad) som risker och hinder för elvägar. Även höga fordonskostnader, problem med hantering av utländska fordon samt ett ointresse från fordonstillverkarna för elvägstekniken nämns bland riskerna.



Figur 35. Kategorisering av fritextsvaren på frågan "Vilka är de största riskerna och hindren för ökad användning av ELVÄGAR i det tunga långväga segmentet?" (16 respondenter).

För **batterilastbilar** nämns begränsningar i räckvidd respektive en minskad nyttolast mest frekvent som hinder för en ökad användning av tekniken för tunga lastbilar (se Figur 36).



Figur 36. Kategorisering av fritextsvaren på frågan "Vilka är de största riskerna och hindren för ökad användning av BATTERILASTBILAR i det tunga långväga segmentet?" (20 respondenter).

Även batteritillverkningens miljöpåverkan samt en avsaknad av infrastruktur för laddning (kopplar till "hönan & ägget-problematiken"), nämns av flera workshopdeltagare. Även batterikostnader, långa laddtider, avsaknad av tydliga styrmedel samt begränsningar i elnätet (överföringskapacitet) tas upp som potentiella hinder/risker. Dessutom anser några deltagare att en ökad användning av batteridrift i tunga lastbilar hämmas av "desinformation" eller "myter" som missgynnar just denna teknik.

Med hänsyn till vilka **synergier** med andra sektorer som kan finnas, och som gynnar utvecklingen inom tunga transporter, nämns mest frekvent vätgas respektive vätgasekonomi (se Figur 37). En ökad användning/efterfråga på vätgas inom andra transportslag, processindustrin osv och den koppelade utbyggnaden av infrastrukturen, anser många vara en ”möjliggörare” för vätgas inom tunga transporter. Det gäller även ökad elektrifiering, som kommer att ske inom andra sektorer, och som kommer även att underlätta elektrifiering av tunga lastbilstransporter. Som andra potentiella synergieffekter nämns utnyttjandet av befintlig infrastruktur samt synergier med andra trafikslag/kollektivtrafiken.



Figur 37. Kategorisering av fritextsvaren på frågan ” Finns det viktiga synergier med andra sektorer/segment som gynnar vissa tekniker?” (12 respondenter).

BILAGA 4. INDATA FORDONSKOSTNADER

De olika typer av fossilfria alternativ för tunga lastbilar som jämförs i denna studie visas i Tabell 2 i metodavsnittet. Vissa av dessa bränslen går att använda i samma typer av fordon, vilket gör att fordonens anskaffningskostnader inte behöver tas fram för varje enskilt bränsle. Tabell 25 visar samma information som Tabell 2, men är uppdelad utifrån vilka fordonstyper som inkluderas i studien, i stället för vilka drivmedel. Följande avsnitt presenterar kostnadsdata för fordonstyperna i Tabell 25.

Tabell 25. Studiens inkluderade fordonstyper.

Fordonstyper	Bränsle
Kompressionstænd förbränningsmotor (ICE CI)	Diesel (fossil), Diesel B7 (uppfyller standard EN590 med inblandning av max 7 % FAME), DME, Metanol, ED95, RME, HVO och FT-diesel (BTL)
Kompressionstænd förbränningsmotor dual fuel (ICE CI)	ED95, metanol (MeOH95)
Batterielektriskt fordon (BEV)	El
Elväg-luft (luftledning, konduktiv)	El
Elväg-ind (induktion)	El
Elväg-skena (skena i väg, konduktiv)	El
Bränslecellsfordon (FCEV)	H2
Förbränningsmotor med gnisttändning (ICE SI)	CBG och CNG
Förbränningsmotor med gnisttändning (ICE SI)	LBG och LNG
Kompressionstænd förbränningsmotor HPDI (CI) dual fuel	LBG och LNG
Kompressionstænd förbränningsmotor (ICE CI) kombinerat med el (hybrid)	B7 och el
Förbränningsmotor med gnisttænd motor (ICE SI) kombinerat med el (hybrid)	LBG och el

REFERENSFORDON

Anskaffningskostnaderna för de olika fossilfria fordonsteknikernas jämförs med fossila referensalternativ år 2030 och 2045 för både HGV40- och HGV60-fordon. Sveriges Åkeriföretag har ett kalkylverktyg, SÅcalc, från vilken fordonskostnaderna för referensfordonen har hämtats. I detta kalkylverktyg finns det bland annat uppgifter om en fjärrlastbil på ca 40 ton och en fjärrlastbil på ca 60 ton år 2019. För en 40-tons treaxlig dragbil utan släp hamnar anskaffningskostnaderna på 1 100 000 SEK enligt SÅcalc år 2019. Ett treaxligt fjärrbilschassi utan släp för en HGV60 kostar enligt SÅcalc 1 200 000 SEK, vilket är den siffra vi utgår från i denna studie för HGV60. För HGV60-fordonet finns det också information om kostnader för ett lättgodsskåp på 540 000 SEK och för ett släp på 800 000 SEK. Dessa kostnader har vi valt att exkludera då de troligtvis är samma för de olika drivlinorna. Priserna är exklusive skatter. Den årliga körsträckan för ett fordon är uppskattad till 125 000 km.

I ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020a) antas det att anskaffningskostnaderna för fordonen är reellt konstanta till 2030 och 2060 för en kompressionstænd förbränningsmotor. Av de studier i litteraturen som har jämfört fordonskostnader i nutid jämfört med 2030 har det dock antagits att kostnaderna för en lastbil med kompressionstænd förbränningsmotor kommer att öka något över tid till följd av

striktare krav på fordonens utsläpp. Sartini m.fl. (2017) antar en kostnadsökning mellan 2020 och 2030 för en långväga 40-tons lastbil med kompressionstænd förbränningsmotor på ca 26 200 SEK. Vi utgår från samma kostnadsökning i denna studie och antar att kostnaderna fortsätter öka i samma takt till 2045.

Eftersom kostnaderna för bl.a. fordonens släp, däck och förarkostnader troligtvis inte kommer skilja sig åt mellan olika tekniker, har vi valt att exkludera dessa kostnadsposter från fordonskostnaderna. Inte heller försäkringar inkluderas då litteraturen om hur det skulle skilja sig åt mellan fordonen är begränsad. Fordonskostnaderna är beräknade utan skatter.

De fossila referensalternativen presenteras i Tabell 26. I tabellen anges ett flertal antaganden gällande livslängd, restvärde, årlig distans och kalkylränta. Antaganden gällande restvärde kommer från SÅcalc, medan övriga antaganden är hämtade från ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020a). Vi utgår från att alla jämförda fordonsalternativ har samma livslängd som referensfordonet. Vad gäller restvärdet utgår vi från att alla fordon har ett restvärde motsvarande samma andel som referensfordonet, exklusive kostnaden för batterier. Restvärdet beräknas därmed genom följande ekvation för ett HGV40-fordon:

$$\text{Restvärde HGV40} = (\text{Anskaffningskostnad} - \text{Batterikostnad}) * 0,0727$$

Tabell 26. Uppgifter om fossilt referensfordon (kostnaderna är avrundade till närmsta hundratal).

Antagande för referensfordon	HGV40	HGV60	Referens
Anskaffningskostnad dragbil (SEK) 2020	1 100 000	1 200 000	SÅcalc (2019)
Anskaffningskostnad dragbil (SEK) 2030	1 126 200	1 226 200	SÅcalc (2019) och kostnadsökning baserad på Sartini m.fl. (2017)
Anskaffningskostnad dragbil (SEK) 2045	1 165 800	1 265 800	SÅcalc (2019) och kostnadsökning baserad på Sartini m.fl. (2017)
Restvärde (SEK)	80 000	60 000	SÅcalc (2019)
Restvärde (%)	7,27 %	5,00 %	SÅcalc (2019)
Livslängd (år)	7	7	ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020a)
Kalkylränta (%)	10	10	ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020a)
Körsträcka (km/år)	125 000	125 000	ASEK 7.0 (Trafikverket, 2020a)

FORDONSKOSTNADER FÖR HGV40-FORDON ÅR 2030

De totala anskaffningskostnaderna och komponentkostnaderna (se Tabell 27) för de jämförda HGV40-fordonen år 2030 är baserade på uppgifter från ett flertal studier: Goldie-Scot (2019); Karlström m.fl. (2019); Kühnel m.fl. (2018); Moultaq m.fl. (2017); Röck m.fl. (2018); Sartini m.fl. (2017). Ingen av dessa studier jämför alla tekniker som inkluderas i denna rapport utan bara ett urval av dessa. De totala fordonskostnaderna varierar dessutom en del mellan olika studier.

För att de relativa kostnaderna ska bli så korrekta som möjligt har vi i högsta möjliga utsträckning utgått från komponentkostnader som presenteras i en och samma studie: Kühnel m.fl. (2018). För de tekniker och komponentkostnader som inte finns med i Kühnel m.fl. (2018) har kostnader hämtats från Karlström m.fl. (2019), Moultaq m.fl. (2017) och Sartini m.fl. (2017). När kostnader häm-

tats från dessa studier är det framför allt kostnaderna relativt diesel som använts för att proportionerna mellan de förnybara teknikerna ska vara så korrekta som möjligt. Batterikostnaderna har räknats ned till en kostnad på 540 SEK/kWh baserat på antaganden om batteriers kostnadsutveckling från BloombergNEF (Goldie-Scot, 2019). Alla komponentkostnader har sedan stämts av med industripartners i detta projekt och har vid behov justerats enligt kommentarer från dessa. Detaljer gällande fordonens specifikationer och kostnader presenteras i Tabell 28. Detaljer om hur de olika komponentkostnaderna är framräknade beskrivs i Bilaga 1.

Tabell 27. Fordonskostnader, HGV40 år 2030.

Kostnad (SEK avrundat till hundratal)	Diesel	Elväg – luft	Elväg – induktiv	Elväg – skena	BEV (litet batteri)	BEV (stort batteri)	FCEV	LBG (CI)	LBG (SI)	CBG (SI)	HEV-B7	HEV-LNG
Batteri ^a		245 700	245 700	245 700	407 700	666 900	15 100				7 600	7 600
Motor (ICE)	250 900										250 900	
Efterbehandling	125 400							125 400	50 000	50 000	125 400	125 400
Växellåda	71 700	23 900	23 900	23 900	23 900	23 900	23 900	71 700	71 700	71 700	71 700	71 700
Dieseltank	9 600										4 800	
Elektrisk motor		46 900	46 900	46 900	46 900	46 900	46 900				18 800	18 800
ARS ^b		132 000	132 700	132 000	132 000	132 000	178 200				79 200	79 200
Strömvtagare		179 500	140 800	89 700								
Bränslecellsystem							249 500					
Vätgastank							292 900					
CI/SI motor								400 900	250 900	250 900		250 900
CI/SI tank								280 000	280 000	100 000		280 000
Grundpris	669 000	669 000	669 000	669 000	669 000	669 000	669 000	669 000	669 000	669 000	669 000	669 000
Totalkostnad	1 126 600	1 297 100	1 259 000	1 207 300	1 279 600	1 538 800	1 475 500	1 547 000	1 321 600	1 141 600	1 227 300	1 502 600
Kostnad relativt diesel (%)	100 %	115 %	112 %	107 %	114 %	137 %	131 %	137 %	117 %	101 %	109 %	133 %
Kostnad relativt diesel (SEK)	0	170 500	132 500	80 800	153 000	412 200	349 000	420 400	195 000	15 000	100 800	376 000

^a Batterikostnaden ligger på 540 SEK/kWh och har sedan räknats upp med en mark-up på 1,4 för de första 175 kWh och med 1,2 för alla kWh över 175.

^b ARS är additional required system och inkluderar power electronic (kraftelektronik), battery management system (batteriövervakningssystem) etc.

Tabell 28. Detaljer gällande fordonsspecifikationer och kostnader.

	Enhet	Diesel	Elväg – luft	Elväg – induktiv	Elväg – skena	BEV (litet batteri)	BEV (stort batteri)	FCEV	LBG HPDI (CI)	LBG (SI)	CBG (SI)	HEV-B7	HEV-LNG
Räckvidd HGV40 2030	km	3782	251	251	251	430	720	808	1770	1438	750	2120	1501
Räckvidd HGV40 2045	km	3782	296	296	296	508	845	956	2088	1697	886	2500	1771
Batteri HGV40	kWh		350	350	350	600	1000	20				10	10
Batteri HGV60	kWh		455	455	455	780	1300	26				13	13
Batterikostnad 2030	SEK/kWh		540	540	540	540	540	540				540	540
Batterikostnad 2045	SEK/kWh		420	420	420	420	420	420				420	420
Mark-up batterier HGV40	Faktor		1,30	1,30	1,30	1,26	1,24	1,40				1,40	1,40
Mark-up batterier HGV60	Faktor				1,28	1,24	1,23	1,40				1,40	1,40
Motorstyrka ^a	kW	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	Diesel: 350 El: 140	LNG: 350 El: 140
Bränslecellsystem	kW							300					
Tankkapacitet	liter	400										200	
Tankkapacitet	kg							55					
Tankkapacitet	kWh								4211	4211	2198		4211
Tankkostnad	SEK/kWh								66,5	66,5	45,5		66,5

^a För kostnadsberäkningarna har vi antagit en motorstyrka om 350 kW. Men Röck m.fl. (2018), på vilken vi har baserat bränsleförbrukningen, har använt en motorstyrka om 325 kW då drivmedelsförbrukningen beräknats.

OMRÄKNING FRÅN HGV40 TILL HGV60 ÅR 2030

Litteraturen gällande fordonskostnader för olika typer av HGV60-fordon är bristfällig. Endast fordonskostnader för dieselreferensen har kunnat hittas. För att ta fram kostnader för HGV60-fordon har därför i stället komponentkostnaderna för HGV40-fordonen skalats upp med olika faktorer. Uppskalningsfaktorerna baseras framför allt på skillnaden i bränsleförbrukning mellan de olika fordonen (se kapitel 4.4). De omräkningsfaktorer som använts presenteras i Tabell 29.

Eftersom fordonskostnader för diesel HGV60 redan fanns har uppräkningsfaktorerna för grundpriset, efterbehandling och växellåda räknats fram ”baklänges” baserat på den kostnadsskillnad som fanns kvar mellan HGV40- och HGV60-referensfordonen efter att motorn och dieseltanken skalats upp. Notera att den låga uppräkningsfaktorn för grundfordonet beror på att vi för HGV40 använder kostnader för en treaxlig dragbil och för HGV60 använder kostnader för ett treaxligt fjärrbilschassi vilket är exklusive lättgodsskåp och släp (enligt industripartners till detta projekt är det vanligaste att HGV60-fordonet är en lastbil medan HGV40-fordonet är en dragbil). Kostnaderna för strömavtagare antas vara samma för HGV40-fordon och HGV60-fordon.

Tabell 29. Omräkningsfaktorer HGV40 till HGV60.

Kostnader för olika fordonsdelar	Drivlinor	Faktor för kostnadsuppräkning
Batteri	Elvägar, BEV, FCEV	1,3
Motor (ICE)	Diesel	1,3
Efterbehandling	Diesel, LBG/LNG, CBG/CNG	1,1
Växellåda	Alla	1,1
Diesel tank	Diesel	1,3
Elektrisk motor	Elvägar, BEV, FCEV	1,3
ARS	Elvägar, BEV, FCEV	1,3
Strömavtagare	Elvägsteknikerna	1
Bränslecellsystem	FCEV	1,3
Vätgastank	FCEV	1,3
CI/SI motor	LBG/LNG, CBG/CNG	1,3
CI/SI tank	LBG/LNG, CBG/CNG	1,3
Grundpris	Alla	1,01

OMRÄKNING AV HGV40 OCH HGV60 ÅR 2030 TILL ÅR 2045

Fordonskostnader för år 2045 har inte hittats i litteratursökningen. Fordonskostnaderna för år 2030 har använts för att uppskatta fordonskostnader för år 2045 baserat på ett flertal antaganden gällande kostnadsutveckling. Antagandena har baserats på kostnadsutvecklingen mellan 2020 och 2030 i tidigare litteratur. Vissa kostnader är oförändrade mellan 2020 och 2030 och förväntas därför vara det även mellan 2030 och 2045. Andra kostnader förväntas minska kraftigt mellan 2020 och 2030 då detta är kostnader för relativt nya tekniker där kostnaderna har möjlighet att minska mycket framöver till följd av teknikutveckling, skalfördelar och lärandeeffekter. I dessa fall har kostnadsminskningen inte antagits fortsätta i lika hög takt till och med 2045 då dessa effekter förväntas avta över tid. I stället har det antagits att dessa kostnader kommer minska med hälften av takten mellan

2030 och 2045 som mellan 2020 och 2030. De omräkningsfaktorer som använts för att räkna om fordonskostnader mellan 2030 och 2045 presenteras i Tabell 30.

Tabell 30. Omräkningsfaktorer för fordonskostnader från 2030 till 2045.

Fordonskomponent	Drivlinor	Uppräkningsfaktor
Batterikostnad	Elvägar, BEV, FCEV	0,78
Motor (ICE)	Diesel	1
Efterbehandling	Diesel	1,19
Växellåda	Alla	1
Dieseltank	Diesel	1
Elektrisk motor	Elvägar, BEV, FCEV	0,91
ARS	Elvägar, BEV, FCEV	0,84
Strömuttagare	Elvägsteknikerna	0,80
Bränslecellsystem	FCEV	0,78
Vätgastank	FCEV	0,76
HPDI (CI) motor	LBG/LNG	0,92
SI motor	LBG/LNG, CBG/CNG	1
SI tank	CBG/CNG	0,76
SI/HPDI (CI) tank	LBG/LNG	0,76
Grundpris	Alla	1

FORDONSKOSTNADER FÖR HGV40 OCH HGV60 ÅR 2030 OCH 2045

Tabell 31 visar en jämförelse av de olika fordonskostnaderna för HGV40 och HGV60 år 2030 och 2045. Kostnaderna är baserade på de kostnader som räknats fram för HGV40-fordonen år 2030, omräkningsfaktorerna för HGV60-fordon och antagandena om kostnadsutvecklingen mellan år 2030 och 2045.

Tabell 31. Totala fordonskostnader HGV40 & HGV60 år 2030 och 2045.

Kostnad (SEK avrundat till hundratal)	Totalkostnad HGV40 år 2030	Totalkostnad HGV60 år 2030	Totalkostnad HGV40 år 2045	Totalkostnad HGV60 år 2045
Diesel	1 126 600	1 226 600	1 165 800	1 265 800
Elväg – luft	1 297 100	1 423 300	1 181 200	1 284 700
Elväg – ind	1 259 000	1 385 500	1 150 700	1 254 400
Elväg – skena	1 207 300	1 333 600	1 109 400	1 212 900
BEV (400)	1 279 600	1 454 500	1 163 600	1 304 900
BEV (800)	1 538 800	1 791 400	1 365 200	1 567 000
FCEV	1 475 500	1 714 800	1 313 800	1 504 700
LBG (CI)	1 547 000	1 72 8100	1 470 500	1 640 300
LBG (SI)	1 321 600	1 495 100	1 254 600	1 408 100
CBG (SI)	1 141 600	1 261 100	1 117 600	1 230 100
HEV-B7	1 227 300	1 357 600	1 235 400	1 375 900
HEV-LNG	1 502 600	1 715 400	1 443 700	1 646 600

UNDERHÅLLSKOSTNADER (KOSTNADER FÖR SERVICE OCH REPARATIONER)

Tabell 32 presenterar kostnader för reparation och service för de olika fordonsteknikerna. I ASEK 7.0 (2020) anges kostnader för reparation och service till 1,19 SEK/fordonskilometer för en HGV40 (diesel) och till 1,04 SEK/fordonskilometer för en HGV60 (diesel). Vi utgår från att det är det motsatta som gäller efter kommentarer från industripartners till detta projekt, d.v.s. att kostnaderna för reparation och service är 1,04 SEK/fkm för en HGV40 och 1,19 SEK/fkm för en HGV60. Flertalet källor har uppgett kostnader för reparation och service av andra bränslen än diesel. För att kostnaderna ska vara så jämförbara som möjligt och stå i proportion till varandra utgår vi i så hög utsträckning som möjligt från samma studie, vilket i det här fallet är Kühnel m.fl. (2018). De kostnader som saknas i Kühnel m.fl. (2018) är elväg-ind, elväg-skena och CBG/CNG.

Tabell 32. Kostnader för service och reparationer år 2030 och 2045.

Drivlina	Jämförelse referensfordon (%)	HGV40 (SEK/fkm)	HGV60 (SEK/fkm)
Diesel	100%	1,04	1,19
HVO, DME/MeOH, FT	100%	1,04	1,19
RME/FAME, ED95	110%	1,14	1,31
BEV/HBEV, Elväg-luft, Elväg-ind, Elväg-skena	74%	0,77	0,88
Bränslecell	96%	1,00	1,14
LBG/LNG, CBG/CNG	100%	1,04	1,19

Vi utgår från att kostnaderna för reparation och service är samma för de tre olika elvägsteknikerna baserat på Moultaq m.fl. (2017) och Zhao m.fl. (2018). De antar att kostnaderna för elväg-luft och elväg-ind är samma (dock inkluderar dessa studier inte elväg-skena). Vi antar även att kostnaderna för CBG/CNG är samma som kostnaderna för LBG/LNG, baserat på Moultaq m.fl. (2017). I

Kühnel m.fl. (2018) saknas även kostnader för reparation och service för olika typer av bränslen som används i ICE-fordon. Tyvärr saknas litteratur med uppgifter om hur kostnaderna skulle skilja sig mellan dessa alternativ. Efter samtal med representanter från fordonsindustriparter som medverkat i detta projekt (Volvo, Scania, E.ON och St1) har vi valt att utgå från att kostnaden för RME/FAME samt ED95 är 10 % högre än för referensalternativet, medan HVO, DME/MeOH och FT antas ligga på ungefär samma nivå som referensalternativet. Vi antar att kostnaderna är reellt konstanta över hela tidsperioden 2020–2030.

DISTRIBUTIONSSTEG OCH KOSTNADSANTAGANDEN FÖR TANK- OCH LADD-STATIONER

Tabell 33. Distributionssteg och -kostnadsantaganden för tank-/laddstationer för 2030 (i parentes värden för 2045 där förändringar kring kostnader och/eller utnyttjandegrad antas).

Bränsle	Distribution		Investering & Kapacitet/försäljningsvolym Tankstation/Laddning		Drift Tankstation/Laddning	
	Inkluderade steg	Kostnad (SEK/KWh)	Investering	Kapacitet/försäljningsvolym		
Diesel (B0, B7, HVO)	Transport: raffinaderi – > depå ^a Transport: depå -> tankstation ^b	0,025	6 MSEK ^j	40 GWh/år ^j	DoU (inkl. el)	0,1 SEK/liter ^j
Diesel B100 (FAME)	Transport depå -> tankstation ^b	0,012				
ED95	Transport: (båttransport Brasilien -> EU) ^c produktionsanläggning -> tankstation ^{b,c}	0,03/0,07 ^c				
Metanol	Transport Produktionsanläggning -> tankstation ^b	0,052				
DME	Transport Produktionsanläggning -> tankstation ^b	0,043				
FT-Diesel	Transport Produktionsanläggning -> tankstation ^b	0,01				
CBG/CNG	Kompression ^d Transport: produktionsanläggning -> tankstation ^e	0,05 (0,043)	7,5 MSEK ^k	25 GWh/år ^k	DoU El	50 SEK/MWh ^k 0,07 kWh/Nm ³
LBG/LNG	Förvätskning ^f Transport: Produktionsanläggning -> tankstation ^g	0,101 (0,086)	13,2 MSEK ^l	40 GWh/år ^l	DoU El	50 SEK/MWh ^k 0,04 kWh/Nm ³
H₂	Kompression Transport Produktionsanläggning -> tankstation ^h	0,314 (0,22)	16,4 MSEK ^m (11,5 MSEK)	12,2 GWh/år ^m , 65% (80%) ^m utnyttjandegrad	DoU El	435 000 SEK/år ^m 0,091 kWh/kWh _{H2} ^m
El – Snabb-laddning (1,2 MW)	Eldistribution (nätavgift) ⁱ	0,4 (0,338)	4,3 (3,6) MSEK ⁿ	2,19 (4,38) GWh/år ⁿ	Drift	1 % av investering/år ⁿ
El – Nattladdning (150 kW)	Eldistribution (nätavgift) ⁱ	0,25 (0,212)	0,82 (0,69) MSEK ⁿ	0,365 (0,398) GWh/år ⁿ	Drift	1 % av investering/år ⁿ

^a Sjöfrakt från raffinaderi till depå baserad på Pettersson m.fl. (2019): 0,15 SEK/l.

^b Transport från depå/produktionsanläggning till tankstation(er) med lastbil baserad på Pettersson m.fl. (2019): 0,1 SEK/l Diesel (200 km körsträcka för distribution som försörjer 2-4 tankstationer), kostnader omräknade för andra flytande bränslen baserad på energiinnehåll.

^c För ED95 från sockerrörsetanol har ett påslag med 0,04 SEK/MWh gjorts för transportkostnader från Brasilien (medelvärde baserad på Domnik m.fl. (2017); Gonzales m.fl. (2010)).

^d Kompression: 0,18 kWh_{el}/Nm³ (Benjaminsson och Nilsson, 2009).

^e 0,38 SEK/Nm³ (200 km utkörningssträcka med 15 000 Nm³ (3 st gasflak) på distributionsbil (Pettersson m.fl., 2019).

^f Förvätskningsanläggning: 87,15 SEK/MWh (2,4 TWh/y kapacitet, 1 500 MSEK investering, 20 år ekonomisk livslängd, 3 % underhållskostnad och 0,5 kWh/kg LBG elförbrukning (Pettersson m.fl., 2019).

^g 0,197 SEK/kg (0,014 SEK/kWh; 25,5 ton lastbil, 200 km utkörningssträcka (Pettersson m.fl., 2019).

^h Kompression: 0,157 SEK/kWh H₂ (0,51 EUR/kg H₂), Distribution: 0,157 SEK/kWh H₂ (0,51 EUR/kg H₂) (Albrecht m.fl., 2016).

ⁱ 0,25 SEK/kWh för nattladdning; 0,4 SEK/kWh för snabbbladdning.

^j (Pettersson m.fl., 2019) med en förhöjd försäljningsvolym på 40 GWh/år (i stället för 30 GWh/år) och samma investeringskostnad och antaganden för drift- och underhåll (inkl. el).

^k (Börjesson och Lantz, 2016) – MetDrive-projektet, försäljningsvolym för CB- tankstationer uppdaterad till 25 GWh/år baserad på personlig kommunikation med Olov Petrén 2020-11-27.

^l Genomsnittliga kostnader för Gasums ansökningar för finansiering via Klimatklivet samt personlig kommunikation med Mikael Antonsson 2020-06-22.

^m Tankstation med kapacitet på 1000 kg H₂/dag, investeringskostnad representerar medelvärde mellan Albrecht m.fl. (2016) och Sartini m.fl. (2017); underhåll baseras på uppgifter från Hecht and Pratt (2017) – 50 000 USD per år.

ⁿ (Kühnel m.fl., 2018) – 1,2 MW snabbbladdare bedöms ha en investeringskostnad på 420 kEUR; 150 kW nattladdare bedöms ha en investeringskostnad på 80 kEUR.

BRÄNSLEFÖRBRUKNINGSDATA

Tabell 34. Bränsleförbrukningsdata använda i denna studie för HGV40.

År	2018	2018	2030	2030	2045	2045
Drivlina/bränsle	l/fkm	kWh/fkm	l/fkm	kWh/fkm	l/fkm	kWh/fkm
Diesel B0	0,284	2,831	0,249	2,48	0,211	2,102
Diesel B7	0,286	2,832	0,250	2,481	0,212	2,103
B100 (FAME) här RME	0,308	2,833	0,270	2,482	0,229	2,104
Paraffinisk diesel, här HVO	0,300	2,831	0,262	2,480	0,222	2,102
ED95	0,489	2,831	0,429	2,481	0,363	2,103
DME	0,535	2,831	0,469	2,481	0,397	2,103
FT-diesel		2,831		2,481		2,102
B7-hyb	0,670	2,647	0,573		0,470	
	MJ/tonkm	kWh/fkm	MJ/tonkm	kWh/fkm	MJ/tonkm	kWh/fkm
LNG HPDI (CI) (LNG)	0,684	2,715	0,600	2,238	0,508	2,016
LNG HPDI (CI) (B7)	0,055	0,217	0,0479	0,190	0,041	0,161
LNG SI	0,842	3,342	0,737	2,928	0,625	2,482
CNG SI	0,842	3,342	0,737	2,928	0,625	2,482
BEV (inkl. laddförluster)	0,409	1,483	0,299	1,187	0,253	1,006
BEV (exkl. laddförluster)	0,360	1,305	0,263	1,044	0,223	0,885
Elväg luft samt skena (inkl. laddförluster)	0,330	1,311	0,258	1,025	0,219	0,868
Elväg luft samt skena exkl. laddförluster)	0,329	1,305	0,257	1,020	0,218	0,864
Elväg induktiv (inkl. laddförluster)		2,069		1,618		1,371
Elväg induktiv (exkl. laddförluster)		2,060		1,610		1,365
FCEV H2	0,5581	2,216	0,4302	1,708	0,365	1,447
LNG-hyb	0,806	3,201		2,805		2,377

Tabell 35. Bränsleförbrukningsdata använda i denna studie för HGV60.

	2018	2018	2030	2030	2045	2045
Bränsle	l/fkm	kWh/fkm	l/fkm	kWh/fkm	l/fkm	kWh/fkm
Diesel B0	0,369	3,680	0,324	3,224	0,274	2,73
Diesel B7	0,371	3,681	0,325	3,225	0,276	2,73
B100 (FAME) här RME	0,400	3,682	0,351	3,226	0,297	2,73
Paraffinisk diesel, här HVO	0,389	3,680	0,341	3,224	0,289	2,73
ED95	0,636	3,681	0,557	3,225	0,472	2,73
DME	0,696	3,681	0,610	3,225	0,517	2,73
FT-diesel		3,680	0,324	3,224	0,274	2,73
B7-hyb		3,470		3,040		2,58
	MJ/tonkm	kWh/fkm	MJ/tonkm	kWh/fkm	MJ/tonkm	kWh/fkm
LNG HPDI (CI) (LNG+ B7)		3,81		3,34		2,83
LNG SI		4,34		3,81		3,23
CNG SI		4,34		3,81		3,23
BEV (inkl. laddförluster)		1,93		1,543		1,307
BEV (exkl. laddförluster)		1,70		1,357		1,151
Elväg luft och skena (inkl. laddförluster)		1,70		1,332		1,129
Elväg luft, och skena (exkl. laddförluster)		1,70		1,326		1,124
Elväg induktiv (inkl. laddförluster)		2,69		2,10		2,00
Elväg induktiv (exkl. laddförluster)		2,68		2,09		1,99
FCEV H2		2,88		2,22		2,14
LNG-hyb. (LBG SI)		4,16		3,65		3,09

BILAGA 5. INDATA FÖR VÄXTHUSGASJÄMFÖRELSE

Tabell 36. Emissionsfaktorer för drivmedel (WTW) använda i denna studie.

Bränsle	g CO _{2e} / MJ	g CO _{2eq} / kWh	Referens	Kommentar
Diesel ^b	94,0	338,4	RED II, fossil referens	Jämförelsetal för fossilt enligt RED II.
B7	89,8	323,3	RED II	Det inblandade bibränslet (7 %) har en reduktion om 65 % jämfört med referensen
DME (förgasning)	13,2	47,4	RED II	Förgasning av virkesavfall i fristående anläggning typiskt värde.
DME (elektro-bränsle)	13,0	46,9	Elbehovet baserat på Bokinge m.fl. (2020)	Elens emissionsfaktor enligt svensk elmix.
	138,6	499,0		Elens emissionsfaktor enligt europeisk elmix (2030).
ED95 (sockerrör)	27,7	99,6	RED II	Det som inte är etanol (5%) har antagits vara HVO (med emissionsfaktor som för talloljefallet. ^e
ED95 (halm)	14,3	51,4	RED II	
El (svensk elmix) ^a	7	25,2	Egen beräkning, metod från Moro & Lonza (2018) ^a	Beräknat baserat på data för elproduktions intensitet i Sverige och import/exportländer 2018 samt faktiskt import/export 2018.
El (europeisk elmix)	74,52	268,3	Prussi m.fl. (2020)	Uppskattat värde för Europeisk elmix 2030.
CBG (rötning)	1,88	6,77	Egen beräkning baserat på RED II	Typiska värden för rötning av gödsel (90%) ^d och bioavfall (10%).
CBG (förgasning)	9,88	35,6	RED II, Furusjö & Lundgren (2017), RED II	Förgasning av virkesavfall. Utöver produktionen ingår 3,3 g CO ₂ /MJ baserat på RED II för biometan som används för transport.
CBG (elektro-bränsle)	16,79	60,44	Elbehovet baserat på Bokinge m.fl. (2020), RED II	Elens emissionsfaktor enligt svensk elmix.
	146,9	528,8		Elens emissionsfaktor enligt europeisk elmix. Tillägg enligt RED II för användning i transportsektorn.
RME	32,1	115,6	(Energimyndigheten, 2019c)	Typiska värdet enligt RED II (raps som råvara) klarar inte målet om 60% reduktion jämfört med diesel.
HVO diesel (tallolja)	17,78	64,0	Furusjö & Lundgren (2017).	Värdet ligger nära värdet för PFAD-baserad HVO enligt Furusjö & Lundgren (2017) som anger 15 g CO _{2e} /MJ.
FT-diesel (förgasning)	14,1	50,8	RED II (typiskt värde)	Förgasning av virkesavfall i fristående anläggning typiskt värde.
FT-diesel (elektro-bränsle)	26,39	95,0	Elbehovet baserat på Bokinge m.fl., (2020)	Elens emissionsfaktor enligt svensk elmix.
	151,3	544,6		Elens emissionsfaktor enligt europeisk elmix
LBG (rötning)	3,18	11,45	RED II, Hagos & Ahlgren (2019)	Typiska värden för rötning av gödsel (90 %) och bioavfall (10%) ^d samt tillägg för förvätskning om 1,3 g CO ₂ /MJ.
LBG (förgasning)	11,18	40,2	Furusjö & Lundgren (2017), RED II	Förgasning av virkesavfall. Tillägg för förvätskning om 1,3 g CO ₂ /MJ baserat på Hagos & Ahlgren (2019)
LBG (elektro-bränsle)	18,09	65,1	Bokinge m.fl. (2020), RED II	Elens emissionsfaktor enligt svensk elmix
	148,4	534,3		Elens emissionsfaktor enligt europeisk elmix
LNG (fossilt)	78,95	284,2	Carlsson m.fl. (2019), Brynolf (2014).	GWP faktorn för metan är 25, samma som används i RED II. Värdet för metanslip baserat på Brynolf (2014).
CNG (fossilt)	72,43	160,74	Hagos och Ahlgren, (2018)	
Vätgas (H ₂) (elektrobränsle)	10,4	37,54	Bokinge m.fl. (2020)	Elens emissionsfaktor enligt svensk elmix.
	111,0	399,6		Elens emissionsfaktor enligt europeisk elmix.

^aMetoden för beräkningen av ett lands elmix som anges av Moro och Lonza (2018) är använd och vi har gjort en ungefärlig beräkning baserad på värden för svensk import och export av el 2018 (Energimyndigheten, 2019d) och uppräknade emissionsfaktorer för de länder som Sverige importerade från /exporterade till under 2018 baserat på (EEA, 2020). Det värde vi har räknat fram är antaget som värde för svensk elmix 2030. Värdet beror inte enbart av inhemsk produktionsteknik och produktionsteknik i kringliggande länder utan också av storleken på import/export i framtiden. Avsaknad av uppskattning på import/export 2030 gjorde att vi valde detta konservativa antagande.

^b Vi har använt oss av det värde som den fossila referensen har enligt RED II för diesel. Detta värde ligger dock väldigt nära det värde på 92,1 g CO_{2e}/MJ som Prussi m.fl. (2020) anger för ett genomsnittligt fall för EU för diesel WTW.

^dDe typiska värdena för produktion av biogas från gödsel är baserade på det fall i RED II (under biometan som drivmedel) som beskrivs för flytgödsel med inneslutna rötresten och med omhändertagande av restgaser. Det typiska värdet för biogas från bioavfall är baserat på det som i RED II (också under biometan som drivmedel) beskrivs som inneslutna rötresten och omhändertagande av restgaser. 10 % av energiinnehållet i biogasen antas komma från rötning av bioavfall och 90 % från flytgödsel.

^e Enligt RED II typiska värden så minskar sockerrörsetanolen utsläppen med 70 % jämfört med den fossila referensen och 2.a generationens produktion med halm minskar med 85 %. Det senare ligger också i nivå med vad Lantmännen Agro-etanol anger i reduktion för sin vete/korn baserade etanol som finns i produktion idag.

ELVÄGAR

Baserat på Balieu m.fl., (2019) har vi använt oss av merutsläpp av CO₂ för konstruktion av elväg enligt Tabell 37. Som framgår av tabellen är variation mellan de olika utfallen stor och beror mycket på hur mycket underhåll av elvägen man behöver göra. Detta är ännu osäkert och vi har gjort beräkningar för medelutbyggnadsfallet för elvägen (985 km) och då för både basfallet och fallet med utökad underhåll avseende växthusgasutsläppen.

Tabell 37. Växthusgasutsläpp för konstruktion samt reparation och underhåll av olika elvägstekniker
Källa: egna beräkningar baserat på Balieu m.fl., (2019).

	Elvägsutbyggnad 550 km		Elvägsutbyggnad 945 km		Elvägsutbyggnad 4985 km	
	Merutsläpp för konstruktion och underhåll av väg (jämfört med konventionell väg) [g CO ₂ /fkm]					
Elvägs-teknik	Basfall	Fall med högre UoR ^a	Basfall	Fall med högre UoR ^a	Basfall	Fall med högre UoR ^a
Luftledning	15,5	64,3	3,2	13,2	7,9	32,9
Skena i väg	2,1	53,0	0,4	10,8	1,1	27,1
Induktiv	4,1	95,8	0,8	19,6	2,1	49,0

^a Med högre vinterunderhåll och reparation (UoR) av skenan och induktiva systemet samt högre underhåll för luftledningen (se Balieu m.fl. (2019)).

BATTERIER

I jämförelsen av växthusgasutsläpp har vi också inkluderat utsläpp associerade med batteriproduktion för elfordonen (elvägsfordonen och de rena batterifordonen). Vi har baserat utsläppen på data från Emilsson och Dahllöf, (2019) som anger en variation (främst beroende på växthusgasintensiteten för den el och värme som används i produktionsprocessen) mellan 61–106 kg CO_{2e}/kWh batterikapacitet. Det lägre värdet motsvarar alltså en produktion där man kan använda sig av i stort sett fossilfri el, medan det högre värdet motsvarar en elproduktion med hög CO₂-intensitet. Specifika

värden för antaganden kring batteriproduktionen enligt Emilsson och Dahllöf (2019) presenteras i Tabell 38.

Tabell 38 Energibehov och utsläpp för produktion av batterier enligt Emilsson & Dahllöf (2019).

		<i>Emissionsfaktor</i>	
		Låg CO _{2e} -intensitet	Hög CO _{2e} -intensitet
Elbehov för battericell- och pack- produktion MJ _{el} /kWh batterikapacitet	30	0,05 kg CO _{2e} /kWh	1,0 kg CO _{2e} /kWh
Värmebehov för battericell- och pack- produktion MJ _{värme} /kWh batterikapacitet	140	0,05 kg CO _{2e} /kWh	1,0 kg CO _{2e} /kWh
Utsläpp för produktion av ingående material (baserat på Dai m.fl. (2019)) kg CO _{2e} /kWh _{batterikapacitet}	59		
Totala utsläpp för produktion av batterier (celler och pack) [kg CO _{2e} /kWh _{batterikapacitet}]		61	106

