

Executive summary

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

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 publikation ska citeras enligt följande:

Holmgren, K. *et al* (2021). *KNOGA. Fossilfri framdrift för tunga långväga godstransporter på väg – kostnadsfördelning och risker för olika aktörer (Executive summary)*. Publ. nr FDOS 13:2021. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

Projektets totala resultat presenteras i följande publikationer:

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

FOSSILFRIA LÖSNINGAR FÖR FRAMTIDENS LASTBILSTRANSPORTER

Användningen av förnybar energi i transportsektorn behöver öka för att vi ska nå de svenska klimatmålen om minskade växthusgasutsläpp från inrikes transporter med 70 procent till 2030, och nettonollutsläpp från samtliga sektorer till 2045. Ökningen av förnybara drivmedel behöver ske i alla segment och över hela fordonsflottan.

Idag används främst diesel som drivmedel för tunga långväga godstransporter på väg men det finns alternativ för fossilfri framdrift.

Denna studie har kvantifierat kostnadsstrukturer och analyserat riskfördelning mellan olika aktörer för fossilfria framdriftstekniker för tunga långväga godstransporter på väg och jämfört dem med alternativet att fortsätta använda diesel som drivmedel.

Följande tekniker är inkluderade i studien: biobränslen (flytande och gasformiga), batterielektriska fordon (BEV), elvägar (tre olika tekniker), vätgasdrivna bränslecellsfordon (H2-FCEV) samt elektrobränslen. Beräkningar görs för år 2030 och 2045.

Från de fem huvudkategorierna för fossilfri framdrift har ett antal representativa motortekniker, bränsleproduktionstekniker och råvaror valts ut för att analyseras i detalj. Detta har resulterat i ett trettiotal olika fossilfria alternativ till dagens användning av fossil diesel.

TVÅ VANLIGA LASTBILAR ANALYSERAS

Analyserna gjordes för två typer av lastbilar: HGV40, en tung lastbil med tillåten bruttovikt om max 40 ton som används inom hela Europa, och HGV60, en tung lastbil med tillåten bruttovikt om max 60 ton som står för ca 75 procent av transportarbetet och hälften av energianvändningen för godstransporter som sker med lastbil i Sverige. Förutom i Sverige är HGV60 bara tillåten i ett fåtal andra europeiska länder. Därför benämner studien HGV40 som ”standardlastbilen”. Genom att inkludera både HGV40 och HGV60 täcker studien största delen av de tonkilometer som körs i Sverige, samtidigt som studien får internationell relevans.

VAD KOSTAR DE FOSSILFRIA ALTERNATIVEN?

Kostnaderna för de olika framdrivningsteknikerna räknas samman i vad vi i denna studie har valt att kalla den relativa mobilitetskostnaden. Den relativa mobilitetskostnaden tar hänsyn till investeringskostnader för fordon, kostnader för fordonens service och reparationer, energiförbrukning, energikostnad och kostnad för infrastruktur för distributionen av drivmedel. Studien beräknar den

relativa mobilitetskostnaden för det trettiotal alternativ inom de fem fossilfria framdrivningsteknikerna som beskrevs ovan. Den relativa mobilitetskostnaden redovisas med tydlig åtskillnad av bidraget från de olika delarna, enligt figur 1.



Figur 1. Begreppet relativ mobilitetskostnad och dess beståndsdelar.

Den sammanräknade relativa mobilitetskostnaden anges i SEK/fordonskilometer. Alla kostnader beräknas utan skatter och avgifter. Genom att hålla de olika delarna som ingår i den relativa mobilitetskostnaden separata är det möjligt att se skillnader mellan olika tekniker avseende var tyngdpunkten för kostnaderna ligger.

Kostnadsberäkningarna har gjort det möjligt att rangordna alternativen utan hänsyn tagen till styrmedel. Det går inte att peka ut ett enskilt alternativ som det bästa valet under alla förutsättningar. Det beror bland annat på hur tekniker och energi/bränsleproduktion utvecklas över tid, samt till viss del förutsättningar för enskilda transportutförare.

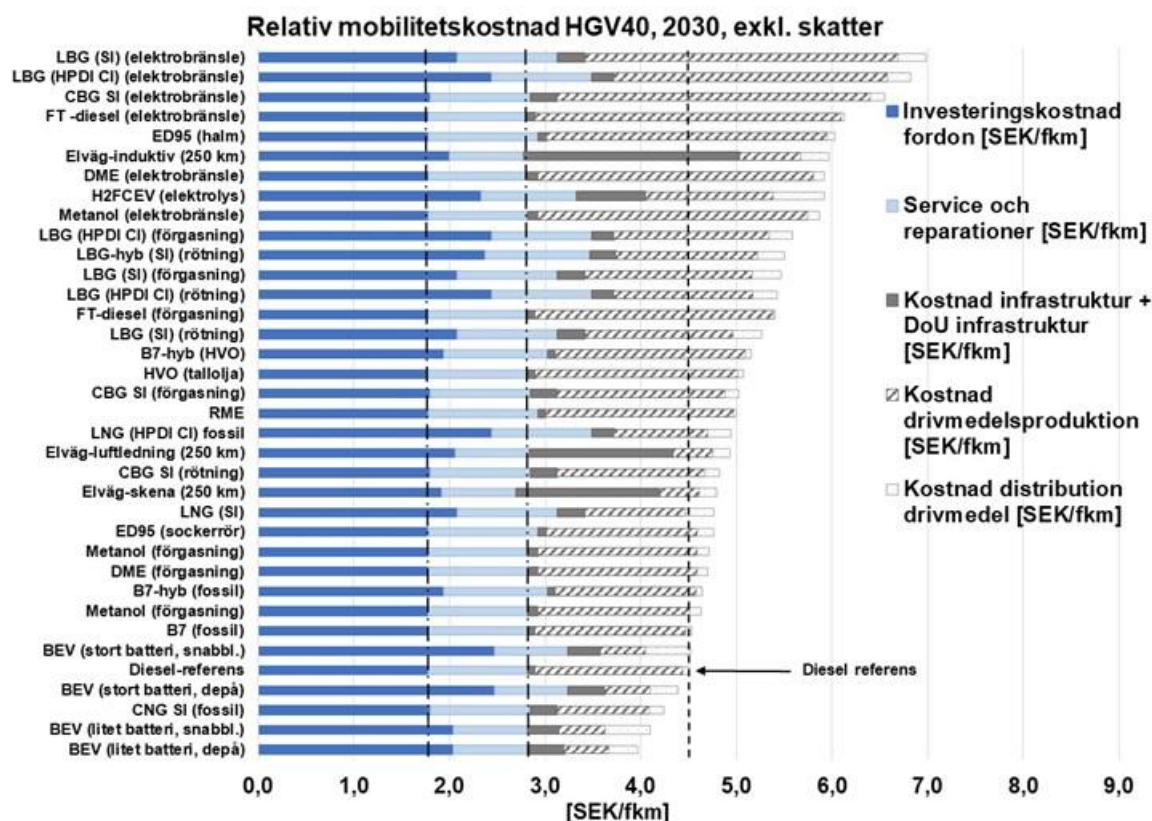
INKLUDERING AV VÄXTHUSGASUTSLÄPP

I studien gjordes beräkningar där de olika teknikalternativen belastades med en kostnad för utsläpp av koldioxid för drivmedels- eller energianvändningen i varje specifikt fall. Det visade sig kunna påverka den relativa mobilitetskostnaden och medföra att fler alternativ fick lägre kostnader än dieselreferensen..

Slutligen gjordes en jämförelse avseende enbart växthusgasutsläpp relaterade till de olika teknikalternativen. För samtliga alternativ inkluderades växthusgasutsläppen förknippade med både användningen och produktionen av drivmedlet (eller elen för de elektriskt drivna alternativen). För teknikalternativen med elektrisk framdrivning inkluderades växthusgasutsläppen från batteriproduktionen, och för elvägsalternativen inkluderades växthusgasutsläppen från nödvändiga infrastrukturförändringar. Denna jämförelse visar att utfallet för de eldrivna alternativen är starkt beroende av växthusgasutsläppen förknippade med produktionen för den el som används.

DEN FOSSILFRIA STANDARDLASTBILEN ÅR 2030 OCH 2045

Beräkningarna av den relativa mobilitetskostnaden för teknikalternativen (se exempel i Figur 2) visar att för standardlastbilen, HGV40, får BEV-alternativen de lägsta relativa mobilitetskostnaderna både år 2030 och 2045. Som de enda fossilfria alternativen har BEV en lägre relativ mobilitetskostnad än en konventionell diesellastbil (dieselreferens), både i tidsperspektivet till 2030 och till 2045. För HGV60 har även ett av elvägsalternativen till 2045 lägre relativ mobilitetskostnad än dieselalternativet.



Figur 2. Relativ mobilitetskostnad för HGV40 år 2030. Namnen för de olika alternativen indikerar produktionsteknik och råvara för bränslet, motorteknik och laddningsstrategi för elalternativen¹. De streckade linjerna indikerar nivån av dieselreferensens kostnader för fordonsinvestering, totalen av fordonsinvestering samt service och reparationer respektive den totala relativa mobilitetskostnaden.

Ser man till hur kostnaderna för de ingående delarna i den relativa mobilitetskostnaden fördelar sig, är investeringsskostnaden för BEV högre än för dieselfordonet, men kostnaden för drivmedel (eller el) och service och reparationer är lägre. De lägre kostnaderna väger upp de högre kostnaderna, inklusive infrastrukturkostnaderna för laddning samt för distribution (elnätskostnad). Depåladdning,

¹ Utöver dieselreferensen finns B7 (fossil diesel, 7 % bio), B7-hybrid (fossil diesel), CNG PI (fossil), LNG SI (fossil), LNG HPDI (fossil) som också kan ses som fossila referenser för respektive teknik. SI står för *spark ignition* (gniständ motor) och CI står för *compression ignition* (kompressionständ motorteknik). HPDI står för *high pressure direct injection* och är ett avancerat dieselmotorsystem med högtrycks direktinsprutning och gemensamt fördelningsrör (*common rail*).

det vill säga när batteriet laddas medan fordonet är parkerat i en depå, medför lägre kostnader än snabbaddning utefter vägarna.

Alternativen som drivs med etanol, DME, metanol, elvägstekniken med skena och alternativet med komprimerad biogas (CBG) där gasen producerats genom rötning av avfall och gödsel, har en relativ mobilitetskostnad som är 4–7 procent högre än densamma för dieselreferensen.

För de flytande biobränslena liknar kostnadsstrukturen den för dieselfallet, med undantag för en något högre distributionskostnad för drivmedlet.

För CBG-alternativet är det framför allt infrastrukturen för distribution och själva distributionen av drivmedlet som är högre jämfört med dieselfallet.

Elvägsalternativen sticker ut med höga investeringskostnader för infrastruktur jämfört med andra kostnader och alternativ. Elvägarnas infrastrukturkostnad beräknad per fordonskilometer är dock mycket osäker. Den beror på utbyggnadsgrad, teknikval och hur stort genomslag tekniken får (hur stor del av de fordon som trafikerar vägen som kan eller väljer att utnyttja tekniken).

Det vätgasdrivna bränslecellsalternativet (H₂-FCEV) beräknas få väldigt höga relativa mobilitetskostnader i tidsperspektivet till 2030. I tidsperspektivet till 2045 sjunker kostnaderna och bränslecellsalternativet blir mer konkurrenskraftigt. Det är framför allt fordonskostnader samt kostnader för infrastruktur och drivmedeldistribution som är höga jämfört med andra alternativ.

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

UTVÄRDERING MED KOSTNAD FÖR VÄXTHUSGASUTSLÄPP

I studien genomfördes en analys där en kostnad för drivmedlets klimatpåverkan motsvarande dagens nivå för koldioxidskatt (1,17 SEK/kg koldioxidekvivalenter), lades till den relativa mobilitetskostnaden för varje studerat alternativ. Resultaten visar att betalning för de koldioxidutsläpp som bränsleanvändningen ger upphov till ändrar bilden av vilka fossilfria alternativ för långväga godstransporter på väg som kan bli attraktiva på sikt.

Till 2030 gör kostnadstillägget att den relativa mobilitetskostnaden för en rad fossilfria alternativ blir lägre än för det fossila diesellalternativet: BEV, metanol, DME, ED95, elvägsalternativen med konduktiv överföring (luftledning och skena på väg), RME, HVO, CBG och flytande biogas (LBG) (där gasen producerats genom rötning av gödsel och avfall) samt dieselhybriden. Vid tillägg av en kostnad på 7 SEK/kg koldioxidekvivalenter, den nivå som rekommenderas vid beräkning av samhällsekonomisk lönsamhet för infrastrukturprojekt², så har samtliga inkluderade alternativ lägre relativ mobilitetskostnad än diesel.

² Rekommenderat värde enligt ASEK 7.0, Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn. Rapporten ges ut av Trafikverket och innehåller de kalkylvärden och analysmetoder som rekommenderas vid samhällsekonomiska analyser av transportsektorn. I tidigare versioner av ASEK har värdet legat på samma nivå som koldioxidskatten.

Kostnadstillägget för bränslenas koldioxidutsläpp visar att de relativa mobilitetskostnaderna är mycket känsliga för eventuella skatter och avgifter där hänsyn tas till de olika alternativens växthusgasutsläpp. Det visar på att styrmedel har en viktig roll för de framtida kostnaderna för de olika alternativen.

Kostnadsanalysen visar också att det för flera av teknikerna krävs omfattande investeringar i olika typer av infrastruktur; elvägar, bränsledistribution och -produktion. Flera tekniker står inför marknadsintroduktion och uppskalning i produktionsledet. Även här kan styrmedel användas för att påverka förutsättningarna för vilka tekniker som investerare kan våga satsa på.

KLIMATPÅVERKAN FRÅN DE FÖRNYBARA SYSTEMEN

I studien gjordes en jämförelse där avgränsningarna för beräkningar av alternativens klimatpåverkan inkluderar växthusgasutsläpp relaterade till bränsle- och energianvändning, batteriproduktion och elvägsinfrastruktur. De resultaten visar att gasfordonen (CBG och LBG) med gnisttänd motor som drivs av biogas som producerats genom rötning har den lägsta klimatpåverkan. Även för LBG-fordonet med den andra motortekniken blir klimatpåverkan med samma bränsle låg. Huruvida elvägsfordonen och batterifordonen placerar sig bättre eller sämre ur klimatsynpunkt än något av dessa fordon, beror på klimatpåverkan av den el som används för framdriften och på hur batteriproduktionen för fordonen kan ske. För att dessa alternativ ska få en lägre klimatpåverkan behöver både elen som används för framdrift samt elen och värmen som används i batteriproduktionen ha producerats med låga växthusgasutsläpp.

Flera av de tekniker som har låga växthusgasutsläpp är starkt beroende av tillgång på el producerad med låga växthusgasutsläpp. Det gäller även för den drivmedelsproduktion som använder mycket el, till exempel vätgas och elektrobränslen.

Växthusgasintensiteten för Sveriges elmix är idag låg, men den påverkas starkt av import och export. Flera av de länder som Sverige importerar från eller exporterar el till, har elmixer med betydligt högre växthusgasintensitet. Trots att det pågår en omställning även i dessa länder blir det viktigt att säkerställa att det i framtiden är möjligt att möta behovet av el (och inte minst *eleffekt*) med just förnybar el. Om växthusgasintensiteten för elproduktionen antas vara högre (till exempel som i EU-mix), blir varken BEV eller elvägsfordonen särskilt fördelaktiga ur växthusgassynpunkt; de blir till och med sämre än samtliga biobränslealternativ.

HINDER OCH RISKER

För varje fossilfritt teknikalternativ finns ekonomiska, tekniska, miljömässiga och infrastrukturrelaterade risker. Alternativen kan också vara förknippade med olika hinder för olika aktörer.

I studien sammanställdes risker och hinder baserat på kostnadsanalysen och jämförelsen av alternativens växthusgasutsläpp. Här gjordes en litteraturgenomgång av tidigare forskning på området. Dessutom genomfördes en workshop gällande hinder och risker där deltagarna fick svara på frågor om vad de anser är de största riskerna och hindren med olika fossilfria drivmedelsalternativen. Workshopdeltagarna inkluderade aktörer inom långväga godstransporter på väg (exempelvis fordonsägare och transporttjänsteleverantörer), tillverkare av fordon, drivmedel och energibärare, distributörer av energibärare, infrastrukturägare och myndighetsrepresentanter.

Sammanställningen visar att för de flytande biodrivmedlen är det framför allt tillgången på hållbar produktion av drivmedel, inklusive råvarutillgång, som ses som ett hinder och en risk, både idag och på sikt. Det finns frågetecken kring hur man skall kunna möta en kraftigt ökad efterfrågan med befintliga råvarubaser.

Även om det redan idag finns både produktion, fordon, och distributionsinfrastruktur för flera av de flytande och gasformiga biodrivmedlen, saknar dock vissa av biobränslen en eller flera av dessa delar. Uppskalning av vissa hållbara produktionstekniker som kräver storskaliga anläggningar har inte kunnat genomföras då investeringen innebär en stor risk eftersom marknaden idag är begränsad och avsättningen osäker.

För batterielektriska fordon bedöms riskerna som relativt små i alla led. Idag är fordonen dyrare än dieselfordon men priserna på till exempel batterier förväntas sjunka kraftigt över tid till följd av lärandeffekter när produktionen utökas. Maximal lastvikt och räckvidd för batterielektriska fordon är en aspekt som kan bli ett hinder för vissa applikationer och typer av transportuppdrag. Laddinfrastruktur för tunga fordon saknas till stora delar idag, men i studien bedöms att utbyggnaden kan ske successivt och att risker och kostnader är betydligt lägre än för till exempel elvägsinfrastrukturen.

FÖRNYBAR EL OCH INFRASTRUKTUR ÄR VIKTIGT

Sammanställningen visar att det är tillgång på förnybar el och hållbart producerade batterier som blir en utmaning, särskilt då efterfrågan ökar även från andra sektorer än de tunga vägtransporterna. Risker för fordonsutvecklare ses som begränsad, men det finns risker gällande materialfrågor i form av framtida tillgång på litium och kobolt till batterierna.

För elvägsalternativen är de stora ekonomiska riskerna framför allt förknippade med infrastrukturinvesteringen, som dock är en förutsättning för att fordon med tekniken ska kunna säljas. Infrastrukturinvesteringen i elväg innebär stora risker eftersom återbetalningen är osäker. Dels kan andra alternativ visa sig vara billigare ur konkurrensperspektiv, dels kan satsningen behöva koordineras med satsningar i andra länder för att göra internationella körningar möjliga. I ett svenskt perspektiv med enbart statliga motorvägar får staten sannolikt stå för investeringen. En successiv elvägutbyggnad försvåras av att elvägsnätet behöver finnas på plats innan investeringar i fordon kan göras. 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, inte bara de tunga, har möjlighet att utnyttja vägen. Det finns flera potentiella fordonstekniska och infrastrukturmässiga synergier mellan elvägsalternativen och de batterielektriska alternativen. Elvägsfordonen kommer liksom BEV delvis behöva laddas utanför elvägsnätet, till exempel i depå.

För vätgasdrivna bränslecellsfordon ses höga fordonskostnader till 2030. Bränsleproduktion och infrastruktur behöver komma på plats och priserna för dem behöver sjunka, något som identifierats i EU:s vätgasstrategi. Till 2045, givet att kostnaderna för fordon (bränsleceller och vätgastankar) och bränsle blir lägre, blir denna teknik mer konkurrenskraftig. Men liksom för de andra elektriska drivlinorna är tillgång till förnybar el mycket viktig. En fördel med vätgasdrivna bränslecellsfordon är att de inte har samma räckviddsproblem som batterielektriska fordon. Mer energi kan bäras med fordonet och det går snabbare att fylla på vätgas jämfört med att ladda batterier.

Biodrivmedel, elektrobränslen, batteridrift och vätgasdrivna bränslecellsfordon är alla tekniker som liksom elvägar kräver stora investeringar i bränsleproduktion, laddinfrastruktur och drivmedelsdistribution. Men i fallet med dessa tekniker kan investeringarna göras successivt och delas på fler aktörer än när det gäller elvägar.

Sammantaget finns det viktiga för- och nackdelar med samtliga tekniker. Slutsatsen i studien är att det kommer att vara en palett av tekniker som bidrar till de tunga långväga godstransporternas fossilfria framdrift i framtiden.

FOSSILFREE SOLUTIONS FOR THE LONG-DISTANCE HEAVY ROAD TRANSPORT

To fulfill the Swedish climate goals of reducing the greenhouse gas emissions from domestic transports by 70 percent by 2030 and net zero emissions from all sectors by 2045 the use of renewable energy in the transport sector needs to increase substantially. The increase of renewable fuels is needed in all segments and for all vehicle types.

Today diesel is the dominating fuel for long-distance heavy road transports but there are fossil-free alternatives available.

This study quantifies cost structures and analyses the distribution of risks between different actors for fossil free propulsion technologies of long-distance heavy road transports and compares them with conventional diesel utilization. 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. Calculations are made for 2030 and 2045.

From the five main categories of fossil free propulsion technologies a set of representative engine technologies, fuel production technologies and fuel raw materials were selected to be analysed in detail. This resulted in about thirty fossil free alternatives to the current use of fossil diesel.

TWO STANDARD TRUCKS WERE ANALYSED

The analyses are performed for two types of trucks: HGV40, a heavy goods vehicle with a maximum permissible gross weight of 40 tonnes that is used throughout Europe, and HGV60, a heavy goods vehicle with a maximum permissible gross weight of 60 tonnes. The HGV60 accounts for 75 % of the transport work performed by trucks in Sweden. Outside Sweden, the HGV60 is only allowed in a few other European countries. Therefore, the HGV40 is considered as the standard truck in this study. By including both HGV40 and HGV60 vehicles, the study has good coverage of the total number of tonne-kilometres in Sweden and has international relevance.

COSTS FOR FOSSIL FREE TECHNOLOGIES

The costs for the various technology alternatives are presented as a so-called *relative mobility cost*, a concept specific for this study. The relative mobility cost includes vehicle investment costs, vehicle service and repairs, energy consumption, energy/fuel costs and costs for infrastructure and distribution of the fuel.

The relative mobility cost clearly declares the contribution of the different cost items according to figure 1.

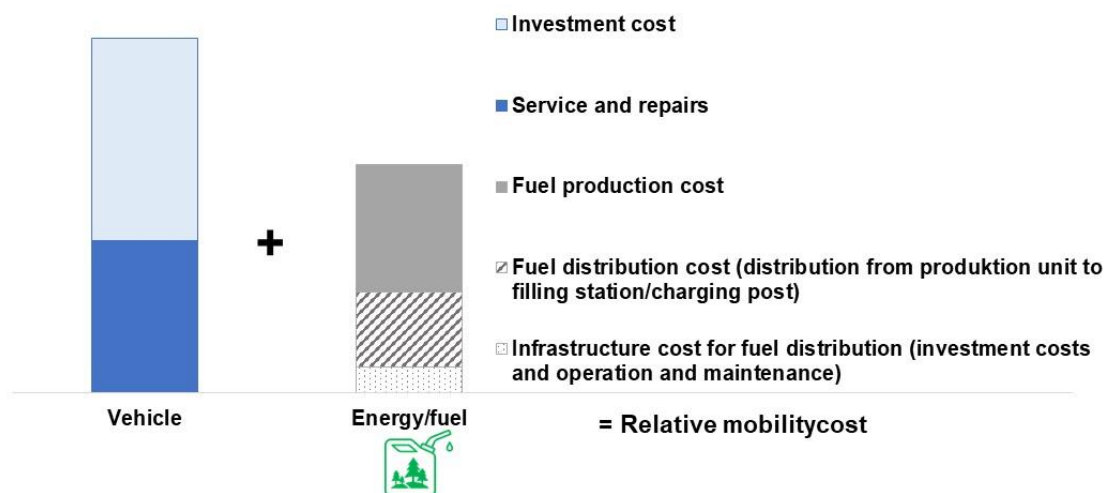


Figure 1. The concept of the relative mobility cost and its components.

The summarized relative mobility cost is given in SEK/vehicle kilometre. All costs are calculated without taxes and fees. By keeping the different cost items of the relative mobility cost separated, it is possible to distinguish the differences between different technologies concerning which items that are dominating the costs.

The cost-calculations have enabled a ranking of the alternatives without considering policy instruments (taxes and fees). It is not possible to point out one alternative as the best from all perspectives and under all circumstances. The performance depends on how the propulsion technologies and energy/fuel production systems develop over time, and to some extent also on the conditions for the individual the transport companies/contractors.

GREENHOUSE GAS EMISSIONS FOR THE FOSSIL FREE ALTERNATIVES

An analysis illustrating the changes in the relative mobility costs when introducing cost penalties based on the carbon emissions of the fuel or electricity consumption for each propulsion technology was included. This turned out to impact the relative mobility costs and resulted in more of the alternatives having lower costs than the diesel reference.

Finally, a comparison of the greenhouse gas emissions from the different propulsion technologies was performed. For all alternatives, the greenhouse gas emissions associated with the production and use of the fuel (or for the electricity for the electric alternatives) were included. For the technologies with electric propulsion, the greenhouse gas emissions from the battery production were included. For the ERS technologies, the greenhouse gas emissions from the production and operation and maintenance of the electric road infrastructure were included. The comparison showed that the climate impact of the electric propulsion technologies is strongly dependent on the greenhouse gas emissions associated with the production of the electricity used.

THE FOSSIL FREE STANDARD TRUCK IN 2030 AND 2045

The calculations of the relative mobility cost for the propulsion alternatives (examples in Figure 2) show that for the standard vehicle, HGV40, the battery electric vehicles (BEV) have the lowest relative mobility costs for both time perspectives (2030 and 2045). These are the only fossil free alternatives with a lower relative mobility cost than the conventional diesel truck in both time perspectives (2030 and 2045). For HGV60 also one of the ERS alternatives has a lower relative mobility cost than the diesel reference in the 2045 time perspective.

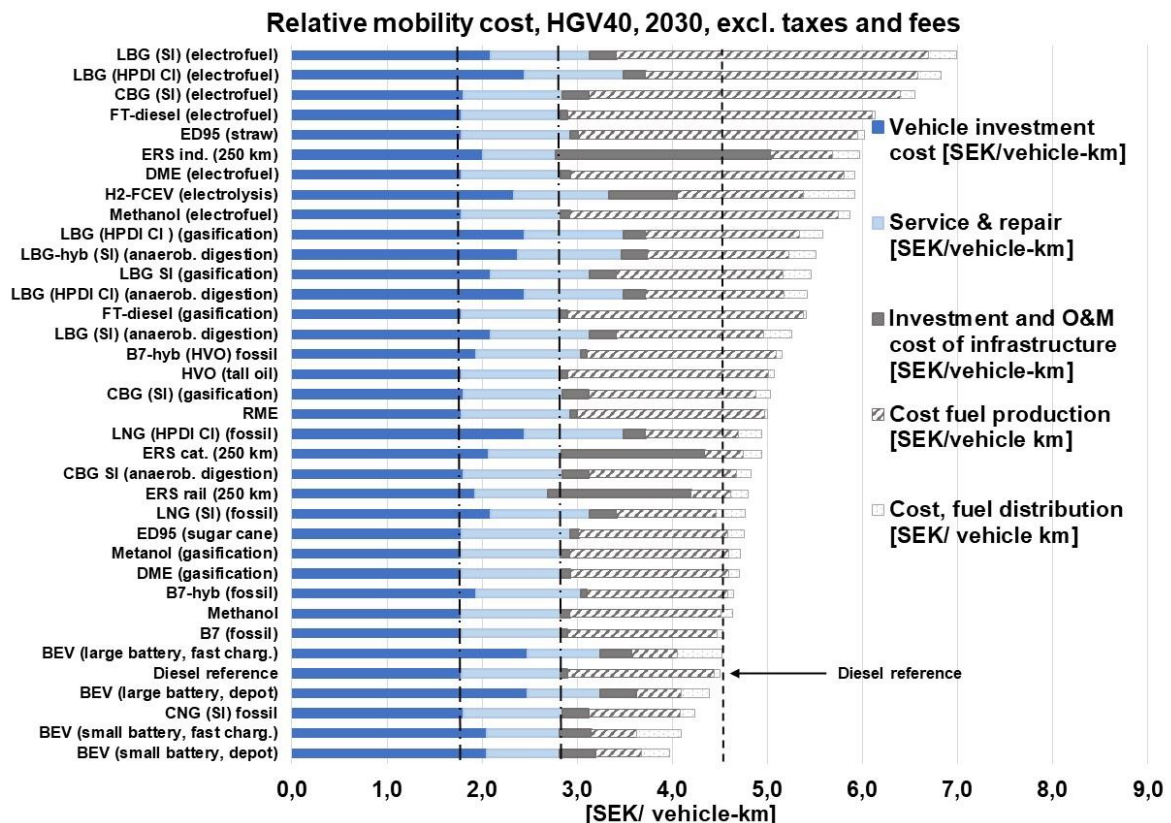


Figure 2. Relative mobility cost for HGV40 in 2030. The names of the different alternatives (y-axes) indicate the raw material and production technology for the fuel, the engine technology of the truck and the charging strategy (for the electric alternatives)³. The dotted vertical lines indicate the level of the costs for the truck investment, the sum of the truck investment and the service and repair costs and the total relative mobility cost for the diesel reference.

Analyses of different cost items in the relative mobility cost show that the investment cost for the BEV vehicle is higher than for the diesel vehicle, but the cost for fuel (electricity) and service and repairs are lower. The lower costs cancel out the higher costs, including the higher costs for charging infrastructure and for electricity distribution costs. Charging the battery while the vehicle is parked in a depot (depot charging), results in lower costs than fast charging along the roads.

³ In addition to the diesel reference, the B7 (fossil), B7-hybrid (fossil), CNG PI (fossil), LNG SI (fossil), LNG HPDI (fossil) are fossil references for each technology, respectively. SI stands for *spark ignition* and CI stands for *compression ignition*. HPDI stands for high pressure direct injection and is an advanced diesel engine system with common rail.

The alternatives using ethanol DME, methanol, the ERS with rail and the alternative with compressed biogas (CBG) where the biogas was produced by anaerobic digestion using manure and waste as substrate, has a somewhat higher (4-7 %) relative mobility cost than the diesel reference.

For the liquid biofuels, the cost structure resembles that of diesel, with the exception that the distribution costs of the fuel are somewhat higher.

For the CBG alternative it is the distribution infrastructure and the distribution cost itself that is more expensive than for the diesel alternative.

The ERS alternatives have significantly higher investment costs for infrastructure compared to other costs and alternatives. The analyses show that the infrastructure costs for ERS calculated per vehicle kilometre are very uncertain. It depends on; the size of the ERS-network built, the choice of technology and the actual pick-up of the technology (how many of the vehicles that travel along the electrified roads that can and choose to use the technology).

The relative mobility costs for the H2-FCEV are very high in the time perspective to 2030. In the time perspective to 2045 the costs are reduced significantly, and the H2-FCEV is more competitive. It is mainly the vehicle investment costs that are higher than for other alternatives along with infrastructure costs and fuel distribution costs.

The relative mobility costs for the electrofuels are very high in both time perspectives. For all electrofuels the fuel production costs are very high.

ADDITION OF A COST FOR GREENHOUSE GAS EMISSIONS

The study includes an analysis where a cost, at the same level as the current Swedish CO₂ tax (1,17 SEK/kg CO₂ equivalents), related to the greenhouse gas emissions of the fuel was added to the relative mobility cost for each of the included alternatives. The results of this comparison show that having to pay for the greenhouse gas emissions caused by the fuel utilisation results in a changed the results of which of the fossil free alternatives that can be competitive in the different time perspectives.

By 2030 the added cost to the relative mobility cost for several of the fossil free alternatives turns out lower than for the fossil diesel reference: BEV, methanol, DME, ethanol, the conductive ERS (rail and overhead line), RME; HVO, CBG and LBG (where the gas is produced by anaerobic digestion of manure and waste) and the diesel hybrid. If the added cost is 7 SEK/kg of greenhouse gas equivalent, which is the level recommended to be used in calculations of socio-economic profitability of infrastructure projects⁴, all included alternatives have lower relative mobility cost than diesel.

⁴ This is the value recommended by ASEK 7.0, *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn*. The ASEK-report is issued by the Swedish Road Administration and contains the calculation values and analysis methods recommended for socio-economic analysis for the transport sector. In earlier versions of the ASEK report the value for carbon dioxide emissions has been at the same level as the carbon dioxide tax.

The added cost for the greenhouse gas emissions of the fuels show that the relative mobility costs are very sensitive to the taxes and fees that take the climate impact of the technology into account. This shows that policy instruments have an important role for the future costs of the different alternatives.

The analysis also shows that several of the technologies require extensive investments in different types of infrastructure, electric roads, fuel distribution and fuel production. Many of the analysed technologies are facing market introduction and upscaling of the production. Policy instruments can be used to impact conditions for which technologies that will be found attractive by investors.

CLIMATE IMPACT FROM A SYSTEMS PERSPECTIVE

In this study a greenhouse gas emissions comparison including not only the fuel/energy consumption but also the battery production (for electrified alternatives) and electric road infrastructure was made. The results show that the gas-fuelled vehicles CBG and LBG with a spark ignited engine using biogas produced by anaerobic digestion of manure and waste have the lowest climate impact. For the LBG vehicle with the other included engine technology and the same fuel, the greenhouse gas emissions are also low. The ERS and BEV alternatives have higher or lower greenhouse gas emissions depending on the greenhouse gas intensity of the production technology for the electricity used for the propulsion and for the battery production. To have a lower climate impact than the biogas alternatives, the electricity used for propulsion and the electricity used in the production of the batteries needs to be produced with low greenhouse gas emissions.

Several of the technologies with low greenhouse gas emissions are strongly dependent on the availability of electricity produced with low greenhouse gas emissions. This applies both to electricity used for propulsion and for fuel production that requires a lot of electricity, e.g., hydrogen and electrofuels.

Today the greenhouse gas emission intensity of Sweden's electricity mix is low, but it is strongly affected by imports and exports. Several other countries have electricity mixes with considerably higher greenhouse gas emission intensity. Although there is an ongoing transition in these countries to decarbonize the electricity sector, it is important for Sweden to be able to meet the need for electricity (and not least the demand for *power*) with renewable electricity in the future.

If the greenhouse gas intensity of electricity production is high (e.g., Eu-mix), either the BEV or the ERS alternatives will be particularly advantageous from a greenhouse gas point of view, they will be worse than all biofuel alternatives.

OBSTACLES AND RISKS VARY

For each of the fossil free technology alternatives there are economical, technical, environmental and infrastructural risks. There can also be different obstacles for different actors associated with the different alternatives.

The study assessed risks and obstacles based on the cost analysis and the comparison of the greenhouse gas emissions of the different alternatives. A literature review of previous research within the area was made. In addition, a workshop was arranged where attendees answered and discussed

questions regarding the risks and obstacles they find most important for the different fossil free alternatives. The attendees included stakeholders of long-distance road transports, including vehicle owners and suppliers of transport services, producers of vehicles, fuels and energy carriers, fuel and energy carrier distributors and representatives for authorities.

The assessment showed that for liquid biofuels, it is primarily the availability of sustainable production, including the availability of sustainable raw materials, that is regarded as an obstacle and a risk. Question marks are raised over how a substantially increase in demand of biofuels can be met with the current raw material base.

Even if there is both fuel and vehicle production, and distribution infrastructure for several of the liquid and gaseous biofuels already today, some or several of these components are lacking for several of the investigated biofuels. The substantial upscaling required by some of the sustainable production technologies have not been possible due to the significant investment risk resulting from lacking or uncertain markets.

For battery-electric vehicles, the risks are estimated to be relatively small at all stages. As of today, vehicles are more expensive than diesel vehicles, but prices of e.g., batteries are expected to decrease substantially over time due to learning effects as the production volumes increase. The maximum load weight and range for BEV are aspects that can be an obstacle for some applications and types of transport services. The charging infrastructure for heavy duty vehicles is largely lacking today, but it is estimated in the study that the extension can be made successively, and risks and costs will be significantly lower than e.g., for the ERS infrastructure.

RENEWABLE ELECTRICITY AND INFRASTRUCTURE ARE IMPORTANT

The availability of renewable electricity and sustainably produced batteries will be an important challenge to meet, especially since the demand for both is increasing also from other sectors than the heavy road transports. The risks for vehicle manufacturers are estimated to be limited, but there are risks and obstacles concerning the materials needed and the resources of lithium and cobalt for the batteries.

For the ERS alternatives the large economic risks are mainly associated with the infrastructure investment. The infrastructure needs to be in place before the vehicles can be sold. The infrastructure investment in ERS is risky since payback is uncertain. There is a risk that other alternatives turn out to be cheaper and more competitive. The ERS investment might also require coordination with other countries to enable smooth international transports. From a Swedish perspective with only state-owned highways, it is most likely that the state will cover investment costs for ERS. To build an electric road network successively is aggravated by the fact that the infrastructure needs to be in place before investors can choose to invest in the vehicles. For ERS, the range outside the electric road is a limitation that can be an obstacle for transport service providers. One way of reducing the economic risk of the investment in infrastructure for ERS could be to choose a technology that can be utilised not only by heavy-duty vehicles. There are several potential synergies between ERS and the BEVs. Synergies include both vehicle technology and infrastructure since the ERS vehicles, just as the BEV vehicles, at least partly will require charging outside the ERS network.

For H2-FCEV, the vehicle costs are expected to remain at a high level also in 2030. Fuel production and infrastructure needs to be in place and prices for them need to drop. This is acknowledged

in the EU hydrogen strategy. With the assumptions made in this study regarding reduced costs for vehicles (fuel cells and hydrogen tanks) and fuel, the H2-FCEV will be more competitive by 2045. One important advantage of the H2-FCEV compared to BEV and ERS is their longer range. More energy can be carried with the vehicle, and hydrogen fill-up is faster than battery charging.

Biofuels/electrofuels, BEV and H2-FCEV are all alternatives that just as ERS demand large investments in fuel production, charging infrastructure and fuel distribution. The difference is that investments can be made successively and divided upon a larger group of stakeholders than in the case of ERS.

There are important advantages and disadvantages of all the investigated technologies. The conclusion of this study is that there will be a palette of technologies contributing to the fossil free propulsion of the long-haulage heavy road transports.

vti

VOLVO



SCANIA

e-on

st1



**INDUSTRIELL
ENERGI**