



Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn

OLLE OLSSON, SEI

JINDAN GONG, SEI

MARIA XYLIA, SEI

BJÖRN NYKVIST, SEI

GERT ANDERSSON, SKOGFORSK

OSKAR GUSTAVSSON, SKOGFORSK



Projektnummer 2019.2.2.21
Titel på projektet – svenska Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn
Titel på projektet – engelska Accelerated transition to fossil-free transport in the forest sector
Projektledareorganisation Stockholm Environment Institute (SEI)
Namn på projektledare Olle Olsson, SEI
Namn på ev övriga projektmedlemmar Skogforsk, Einride, Skogsindustrierna, SCA, BillerudKorsnäs, Södra och Sveaskog
Nyckelord: 5-7 st Skogsindustri, Lastbilar, Fossilfri, Biogas, Biobränsle, Batterier, Elektrifiering

Sammanfattning

Den svenska skogsindustrin har länge arbetat med olika åtgärder för att öka effektiviteten i transportarbetet. Effektivisering kan dock i sig självt ej möjliggöra de radikala utsläppsminskningar som krävs för att uppnå de politiska ambitioner som säger att Sveriges inrikes transportutsläpp ska minska med 70% till 2030 (jämfört med 2010) och helt elimineras till 2045.

I detta projekt har vi utvärderat tre olika alternativ som kan möjliggöra helt fossilfria lastbilstransporter inom skogsindustrin: HVO100, flytande biogas (LBG) och elektrifiering via batterier. Vår analys har bestått av två huvuddelar: en kvantitativ del och en kvalitativ del.

I den kvantitativa analysen har genomförts analyser av totalkostnad samt klimatpåverkan well-to-wheel för fem olika typransportfall: industriinterna transporter, virkestransporter från terminal till industri, samt tre olika fall av transport från virkesavlägg till industri: 50 km avstånd, 80 km avstånd samt 120 km avstånd. Resultaten indikerar att elektrifiering via batteri faller bäst ut vad gäller kostnader för samtliga typransportfall förutom det längsta typransportfallet från avlägg till industri med 120 km avstånd, där flytande biogas presterar bäst. Det är dock viktigt i sammanhanget att snabba förändringar i nyckeldata skapar osäkerheter framförallt när det gäller batterialternativet där kostnader för såväl batterier som laddinfrastruktur utvecklas snabbt. Vad gäller klimatpåverkan faller LBG ut bäst om gasen helt produceras från rötning, medan batterielektrifiering har lägre utsläpp jämfört med LBG producerad via förgasning.

Den kvalitativa analysen har inriktats på att försöka förstå mer systemiska skillnader i de olika alternativen jämfört med dagens system. Med HVO100 kan nuvarande system i allt väsentligt behållas, medan LBG och framförallt batterielektrifiering medför större krav på anpassning av systemet. Detta gäller såväl körmonster, där den kortare räckvidden med batterilastbilar får påverkan, som infrastruktur. Både LBG och batterielektrifiering kräver uppbyggnad av separat infrastruktur för tankning/laddning och viktiga frågor kvarstår att analysera kring detta.

För framtida studier och pilotprojekt rekommenderas att testa batterielektrifiering på såväl industriinterna som terminaltransporter. Viktigt är dock att man då inte bara analyserar tekniska prestanda kring själva lastbilen utan även laddinfrastruktur, elnät, aktörssamverkan samt nya affärsmodeller. Batterielektrifiering för skog-till-industri är mer komplicerat då detta är transporter som till skillnad från de två övriga ej går punkt-till-punkt utan ingår i ett intrikat system av transporter. Här bör djupare analyser göras av t.ex. ett helt bruks virkesförsörjningssystem för att se om/hur detta kan anpassas till de ändrade körmonster som krävs för batterielektrifiering.

Projektet genomfördes i samarbete mellan SEI, Skogforsk, Einride, Skogsindustrierna, SCA, BillerudKorsnäs, Södra och Sveaskog. Projektet finansierades av TripleF med medfinansiering från Skogsindustrierna, SCA, BillerudKorsnäs, Södra och Sveaskog.

Rapportförfattarna vill ge ett stort tack till Anna Ahlgren (BillerudKorsnäs), Karolina Boholm (Skogsindustrierna), Björn Gidlund (Einride), Anders Jarlesjö (Sveaskog), Joel Persson (Södra), Mikael Sundelin (SCA), Daniel Noreland (Skogforsk) samt Henrik von Hofsten (Skogforsk) för värdefulla diskussioner och för att bidragit med sin expertis till projektets genomförande. Tack också till de intervjupersoner som ställt upp med sin tid och kunskap!

Summary

The Swedish forest industry has for a long time worked with various measures to improve the efficiency of transport work. However, efficiency cannot by itself enable the radical emission reductions required to meet the political ambitions that say that Sweden's domestic transport emissions should be reduced by 70% by 2030 (compared with 2010) and completely eliminated by 2045. In this project, we have evaluated three different alternatives that can enable completely fossil-free truck transports in the forest industry: HVO100, liquified biogas (LBG) and electrification via batteries (BEV). Our analysis has consisted of two main parts: a quantitative part and a qualitative part.

The quantitative analysis has analysed the total cost and climate impact well-to-wheel for five different type transport cases: industrial internal transport, timber transport from terminal to industry, and three different cases of timber transport from forest to industry: 50 km distance, 80 km distance and 120 km distance. The results indicate that electrification via battery performs best in terms of costs for all type transport cases except for the longest transport case, where liquified biogas performs best. However, recent years have seen rapid technological developments that create uncertainties pertaining to key data. This is especially important for the BEV option where costs of both batteries and charging infrastructure are changing quickly. In terms of greenhouse gases, LBG had the lowest well-to-wheel emissions if the biogas was produced through anaerobic digestion, but BEV emissions were lower than LBG produced from gasification of woody biomass.

For future studies and pilot projects, it is recommended to conduct practical trials using battery electrification on both industrial-internal and terminal transports. It is important, however, then to not only analyze the technical performance of the truck itself, but also charging infrastructure, electricity networks, actor collaboration and new business models. Battery electrification for forest-to-industry is more complicated as these are transports which, unlike the other two, do not go point-to-point but are part of an intricate system of transports. Here, deeper analyses should be done of the full wood supply system of e.g., a pulp & paper mill to see if / how this can be adapted to the changed driving patterns required for battery electrification.

The project was carried out in collaboration between SEI, Skogforsk, Einride, Skogsindustrierna, SCA, BillerudKorsnäs, Södra and Sveaskog. The project was financed by TripleF with co-financing from Skogsindustrierna, SCA, BillerudKorsnäs, Södra and Sveaskog.

The report authors would like to give a big thank you to Anna Ahlgren (BillerudKorsnäs), Karolina Boholm (Swedish Forest Industries Federation), Björn Gidlund (Einride), Anders Jarlesjö (Sveaskog), Joel Persson (Södra), Mikael Sundelin (SCA), Daniel Noreland (Skogforsk) and Henrik von Hofsten (Skogforsk) for valuable discussions and for contributing with their expertise to the implementation of the project. Finally, we also want to thank all interviewees.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Innehållsförteckning	5
1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Projektets syfte	6
1.3 Bidrag till TripleF	7
2 Genomförande	8
3 Kostnad- och klimatprestanda	10
3.1 Identifierade typtransportfall	10
3.2 Identifierade fossilfria teknikalternativ	12
3.3 Övergripande konkurrenskraftsanalys för batteridrivna lastbilar	15
3.4 Metod för den kvantitativa analysen	16
3.5 Underlag	18
3.6 TCO-beräkningar	24
3.7 Jämförelse och diskussion	29
4 Vad tycker aktörerna?	34
4.1 HVO100	34
4.2 LBG – flytande biogas	34
4.3 Elektrifiering via batterier	36
4.4 Elektrifiering via bränsleceller	37
4.5 Elektrifiering via elvägar	39
5 Slutsatser och diskussion	41
5.1 Sammanfattning	41
5.2 Full elektrifiering utmanande i skogssektorn	41
5.3 Metodologiska reflektioner	43
5.4 Resultatens betydelse	43
Referenslista	46
6 Bilagor	53
6.1 Bilaga 1 – Kvantitativ analys, beräkningar och underlag	54
6.2 Bilaga 2 – TCO-resultat	60
6.3 Bilaga 3 - Metoddetaljer kring intervjustudie	63

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Teknikutvecklingen inom vägtransportsektorn är idag mycket snabb och dynamisk. Detta märks särskilt tydligt inom personbilssektorn, där elektrifiering via batterier i allt högre grad börjat framträda som den viktigaste tekniska lösningen när det gäller att fasa ut fossila bränslen (IEA, 2021). Inom segmentet tyngre godstransporter på väg kvarstår det dock alltså betydande osäkerheter vad gäller olika teknikalternativs prestanda och kostnader. Historiskt har den huvudsakliga strategin i Sverige såväl som internationellt varit att öka inblandningen av biodrivmedel i fossil diesel samt - i mindre omfattning - byta till rena biodrivmedel. Sverige hade 2019 totalt 21.6% biobränsle i vägtrafiken vilket är högst i EU (Energimyndigheten, 2020b). Trots framgången de senaste åren är enligt Trafikverket dagens förändringstakt med fokus på energieffektivisering och byte till förnybara bränslen i lastbilar inte tillräcklig för att kompensera för ökad lastbilstrafik. Lastbilarnas utsläpp har totalt sett ökat med 22% sedan 1990 (Trafikverket, 2020b) och det är tydligt att radikala åtgärder behövs för att de mål som siktar mot 70% minskning av de inhemska transportutsläppen till 2030 och noll utsläpp till 2045. Klimatpolitiska rådet bedömer att dagens politik gör att vi når halvvägs till klimatmålen (Klimatpolitiska rådet, 2019).

Samtidigt sker nu en snabb utveckling inom generella omvärldsfaktorer som påverkar svenska godstransporter, såväl politiskt - via t.ex. EUs Green Deal (European Commission, 2020) och *Fit for 55*-paketet - som teknologiskt. Det pågående genombrottet för olika typer av elektrifiering av fordon är en mycket stark trend inom logistik och fordonsindustri. Detta tillsammans med den fortsatta osäkerheten när det gäller såväl tillgång på, som EU-regleringar kring, flytande biodrivmedel är en viktig drivkraft i sökandet efter alternativa lösningar.

En parallell utveckling som också kan komma att ha stor bäring på det framtida godstransportsystemet är utvecklingen mot autonoma fordon och hur detta relaterar till valet av ny fossilfri energibärare. En viktig drivkraft för automatisering är dels att möjliggöra kostnadseffektiv elektrifiering med en ny systemlösning anpassad för batteridrift, men det råder också brist på förare, ett problem som förväntas bli ett ännu allvarligare problem på sikt. Svenska aktörer ligger i framkant och autonoma lösningar för lastbilar närmar sig en förmåga som medger praktisk genomförbarhet av transport på allmän väg.

En central fråga är således vilka tekniker eller teknikkombinationer som i framtiden kommer bli viktigast i olika applikationer. Eftersom omställningen till fossilfrihet måste inledas snarast för att nå 2030- och 2045-målen, behövs konkreta analyser av genomförbarhet utföras för att förstå vilka kombinationer av tekniker och bränslen som kan vara ekonomiskt konkurrenskraftiga de kommande 5-10 åren och under vilka förutsättningar.

1.2 Projektets syfte

Det här projektet analyserar och utvärderar hur skogssektorn kan accelerera omställning till fossilfria transporter, samt vilka förutsättningarna är för olika lösningar baserade på förnyelsebara drivmedel eller elektrifierade fordon. Syftet med projektet är att förstå vilka genomförbara alternativ som mest effektivt kan bidra till en konkurrenskraftig systemomställning till nollutsläpp för skogssektorns vägbaserade godstransporter.

Projektet studerar hur omställningen av existerande vägtransporter kan accelereras och genererar en analys av vilka framtida demonstrations- och pilotprojekt som behövs för att realisera fossilfria transporter till 2030 och 2045. Det övergripande målet för projektet är att påskynda innovationer för att

nå klimatmål om nollutsläpp från transporter till 2045. Den övergripande forskningsfrågan är: vilka alternativa lösningar för att nå fossilfria transporter av biomassa och färdigvaror inom skogsindustrin bör prövas i konkreta demonstrationsprojekt?

Metoden går ut på att utvärdera olika teknikval för fossilfria transporter genom såväl kvantitativ som kvalitativ analys av konkreta flöden. Projektets resultat kan sedan ligga till grund för vidare beslut om pilot- och demonstrationsprojekt av de mest lovande teknikkombinationerna för fossilfria transporter inom skogssektorn.

Projektet genomfördes under tidsperioden september 2019-oktober 2021 i ett samarbete mellan SEI, Skogforsk, Einride, Skogsindustrierna, SCA, BillerudKorsnäs, Södra och Sveaskog. Projektet finansierades av Trafikverket via TripleF-konsortiet och med medfinansiering från Skogsindustrierna, SCA, BillerudKorsnäs, Södra och Sveaskog.

1.3 Bidrag till TripleF

Projektets huvudsakliga bidrag till TripleFs program mål är att bidra med kunskap som kan användas för att accelerera införandet av fossilfria lösningar för skogsindustrins transporter. Detta görs genom att analysera konkurrenskraft hos ett urval fossilfria teknikalternativ, identifiera eventuella kvarvarande hinder för att dessa ska kunna implementeras kommersiellt samt föreslå åtgärds punkter som behöver genomföras för att överbrygga kvarvarande hinder. Då skogsindustrins vägtransporter - exklusive transporter av färdigvaror - bedöms stå för ca 500 000 ton CO₂eq (Björheden, 2019) motsvarar detta den potentiella reduktionen av växthusgaser som projektets resultat kan bidra till. Det bör nämnas att det kan vara svårt att se ett direkt kausalt samband mellan den här typen av projekt och en faktisk utsläppsminskning på marken. Samtidigt har kunskapen som tas fram i projektet relevans även utanför skogsindustrins transporter, då delar av resultaten är applicerbara på lastbilstransporter generellt i Sverige såväl som internationellt.

2 Genomförande

Projektet har innehållit följande fem arbetspaket:

- **Arbetspaket 1 Kartläggning fallstudieobjekt (Q3-Q4 2019)**
- **Arbetspaket 2. Kartläggning av potentiella transportlösningar/tekniker (Q4 2019-Q1 2020)**
- **Arbetspaket 3. Workshop (Q2 2020)**
- **Arbetspaket 4. Analys av klimatprestanda, drivkrafter & barriärer (Q3 2020-Q2 2021)**
- **Arbetspaket 5. Resultatpresentation och rapportering – Förslag på pilotsträckor och tekniker att demonstrera (Q3 2021)**

Nedan redogörs för arbetspaketens genomförande i mer detalj.

En nyckelaspekt att vara medveten om i analysen av olika fossilfria alternativ för skogsindustrins transporter är att det finns dels en tämligen bred palett av möjliga fossilfria alternativ och det finns också en rad olika typer av transportflöden inom skogsindustrin. En viktig tidig aktivitet i projektet var därför att kondensera ned såväl antalet olika tekniker att analysera som antalet olika typtransporter till något som skulle låta sig analyseras inom ramen för projektet. I **arbetspaket 1** kartlades således utifrån data om skogsbrukets transporter tre olika typfall som i de påföljande arbetspaketen analyserades djupare. Data för analysen kommer från Biometria, som administrerar huvuddelen av landets rundvirkes- och skogsbränsletransaktioner. Biometrias transportinformation innehåller till exempel uppgifter om var de transporterade kvantiteterna har hämtats, var de har lämnats, sortiment, befraktare, transportavstånd och kvantitet. Informationen innefattar lastbilstransporter, både direkt från skog till industri och via olika terminaler. I vissa fall, framförallt gällande transporter av färdigvara, kompletterades denna information med information från de aktuella befraktarföretagen. Det första urvalet av potentiella flöden diskuterades tillsammans med berörda skogsföretag för att noggrannare kartlägga förutsättningarna för flöden. Dessutom diskuterades de utvalda flödena och deras lämplighet i referensgruppen med samtliga deltagande skogsföretag. Kopplat till varje typfall togs också fram kvantifieringar av årligt transportarbete. Resultaten utgör indata till arbetspaket 2-4. Arbetspaketet leddes och utfördes av Skogforsk i samarbete med de deltagande skogsindustriella aktörerna.

Syftet med **arbetspaket 2** var att välja ut ett mindre antal teknikalternativ som skulle kunna analyseras i mer detalj och i olika sammanhang utifrån de olika typtransporter som identifierades i arbetspaket 1. Urvalet gjordes dels utifrån en litteraturbaserad omvärldsanalys och dels på diskussioner inom projektgruppen och med de deltagande skogsindustriaktörernas representanter. Tanken var att de utvalda teknikerna skulle representera ett någorlunda brett spektrum vad gäller mognad och bedömd nivå av systemförändring som skulle krävas jämfört med det nuvarande (dieselbaserade) systemet.

Arbetspaket 3 bestod av en workshop inriktad på att, baserat på resultaten från arbetspaket 1 och 2, öppet diskutera olika aspekter kring hur de utvalda teknikalternativen skulle fungera i respektive typfall. Enligt ursprungsplanen skulle workshopen genomföras i fysisk form under Q2 2020 men på grund av utbrottet av covid-19 genomfördes workshopen istället online. Diskussionerna från workshopen sammanställdes i ett internt dokument (Nykvist 2020) som sammanfattar olika nyckelaspekter och nyckelfrågor som skulle passa för praktisk testning och vidare analys i ett eventuellt fortsättningsprojekt. Workshopresultaten fungerade också som indata till arbetspaket 4.

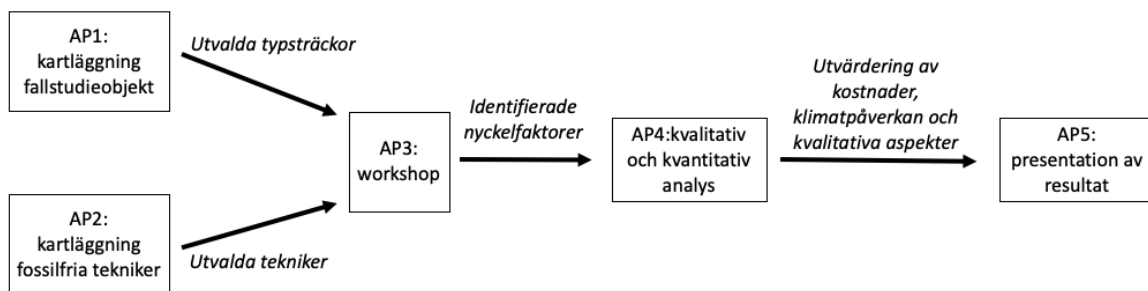
Arbetspaket 4 syftade till att göra en sammanfattande analys av genomförbarhet och potentialer i termer av kostnader och klimatprestanda givet barriärer och möjligheter för studieobjekten. Inom arbetspaketet

gjordes dels en kvantitativ analys och dels en kvalitativ analys. Den kvantitativa analysen genomfördes genom beräkning av kostnads- och klimatprestanda för de olika kombinationerna av fallstudieobjekt och teknikval. Kostnaderna beräknades genom en totalägarandekostnads-modell (*total cost of ownership*, TCO) inkluderande såväl kapitalkostnader som driftkostnader, medan klimatprestanda togs fram genom så kallade *well-to-wheel*-beräkningar av växthusgasutsläppen för de olika teknikvalen.

I tillägg till detta gjordes också kvalitativ analys av barriärer och drivkrafter för olika teknikval. Den kvalitativa analysen baseras dels på en sammanställning av omvärldsanalys, policyutveckling och workshopresultat och dels på en intervjustudie som genomfördes under Q4 2020, där 15 sektorsrepresentanter och experter på olika relevanta aspekter intervjuades för att få djupare insikter i var möjligheter och hinder kan finnas samt hur eventuella hinder kan överbryggas.

Arbetspaket 5 slutligen innefattar presentation av samtliga resultat från de tidigare delarna i projektet i såväl skriftlig form (denna rapport) samt i ett kommande slutseminarium som samarrangeras med TripleF (planerat till oktober 2021). I samband med slutseminariet publiceras också en populärvetenskaplig sammanfattning av projektresultaten.

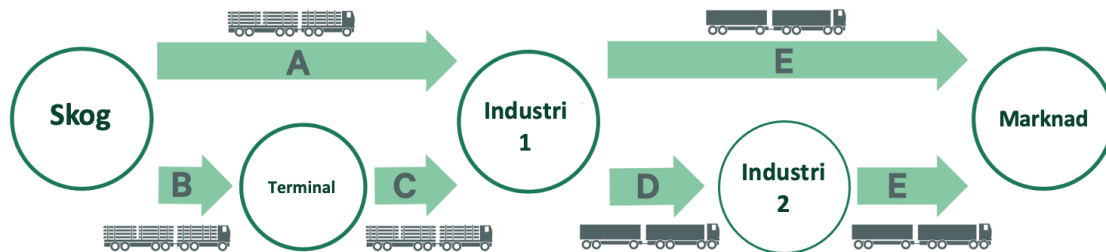
Figur 1 illustrerar processer och flöden mellan arbetspaketen.



Figur 1. Illustration av arbetsprocessen i projektet

3 Kostnad- och klimatprestanda

3.1 Identifierade typtransportfall



Figur 2. Översikt av transportflöden inom skogsnäringen (Baserad på figur i Nykvist & Olsson (2020)).

Arbetspaket 1¹ resulterade i att tre typfall valdes ut: *industriinterna flöden* (flöde D i figuren ovan), *terminal till industri* (flöde C) samt *skog till industri* (flöde A). Nedan beskrivs de olika flödena i mer detalj.

3.1.1 Typfall 1: Industriinterna flöden

Detta typfall utgörs av transporter på inhägnade industritomter, antingen mellan två industrier eller mellan industri och hamn. Godset som transporteras är antingen sågverksflis, sågade trävaror eller pappersmassa och därmed är fordonen som används flisbilar eller styckegodsbilar. Dessa flöden har gemensamt att de går på inhägnade industritomter, antingen mellan två industrier eller mellan industri och hamn. Det innebär att hastigheterna är låga och vägkvaliteten god. Avstånden varierar mellan 400 meter och 2 kilometer, med medelavstånd på 1.3 kilometer. Fordonen är i några fall ombyggda för att ha ökade maxvikter, i och med att viktbegränsningar saknas inne på industritomter. I de fall som godset är sågverksflis är transporterna jämnt fördelade över sågverkets öppettider, vilket är större delen av dygnet. Transporterna av sågade trävaror och pappersmassa är jämnt fördelade över veckan, men varierar över dygnet.

I medeltal transporteras på den här typsträckan 305 000 ton per år och 6 100 ton per vecka. Därmed är transportarbetet ungefär 273 000 tonkilometer per år i medeltal. Detta flöde representeras som **flöde D** i Figur 2.

Enligt tidigare undersökningar som Skogforsk har gjort (von Hofsten & Brunberg 2018) bör dieselförbrukningen vara 0.028 liter per tonkilometer för flisfordonen. Styckegodsbilarna bör vara samma grundfordon och därmed borde de ha en liknande bränsleförbrukning

Den här typen av flöden kräver transporter på inhägnat område, mellan två industrier eller från industri till utlastning. Därmed är de mest aktuella för kombinat (samlokaliserade sågverk och massabruk) som ligger vid hamn. Dessutom är biltransporter av sågverksflis inom kombinat sällsynta, det är vanligare med transportband av någon typ. I Sverige finns 6 kombinat, och samtliga ligger i anslutning till en hamn. Dessa har en total produktion på ca 4 miljoner ton massa och 2 miljoner kubikmeter sågade

¹ Mer detaljerad beskrivning av genomförande och resultat från arbetspaket 1 återfinns i Gustavsson (2020)

trävaror. För att producera detta krävs totalt ungefär 21 miljoner kubikmeter virke, varav 16 miljoner kubikmeter massaved och 5 miljoner kubikmeter timmer. och det är i princip hela potentialen för det här typflödet.

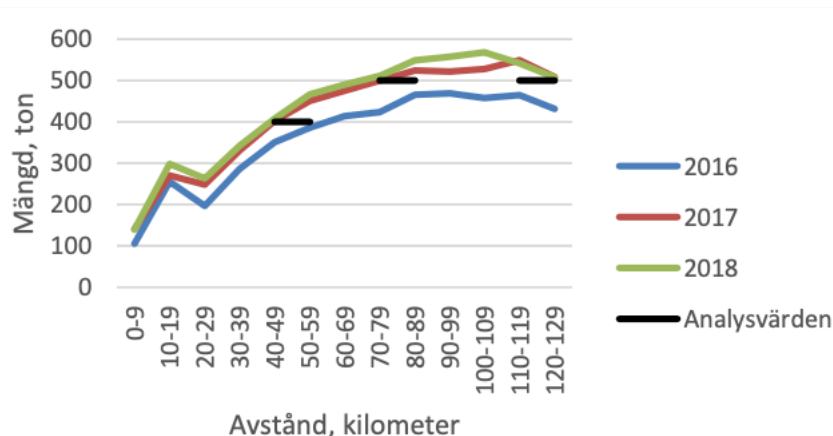
3.1.2 Typfall 2: Terminal till industri

I de här fallen transporteras rundved till industri, till större del på allmänna vägar. På sträckorna kan det finnas enstaka flaskhalsar med låg vägkvalitet, men som helhet bör kvaliteten vara god. Avstånden varierar mellan 15 och 26 kilometer med medelavstånd på 19,2 kilometer. I och med att godset är rundvirke så används virkesbilar. Transporterna är mindre jämnt fördelade över dygnet än industri-interna flöden, då de är styrda av industriernas öppettider och ofta är en liten del i transportörens komplexa ruttplanering. Däremot bör de vara jämnt fördelade över veckorna i och med att industriernas efterfrågan är jämn. I medeltal transporteras 240 000 ton per år och 4 800 ton per vecka. Transportarbetet för typflödet är därmed 4 830 000 tonkilometer per år i medeltal.

Dieselförbrukningen borde, enligt samma undersökning, också vara 0,028 liter per tonkilometer. Den totala dieselförbrukningen blir därmed ungefär 135 200 liter. Den här typen av flöden är mer komplexa än de industri-interna men ändå relativt stabila. I vissa fall kan flöden av den här typen utgöra ryggraden i en industris försörjning, något som gör dem än mer stabila. Under 2018 omfattade vägtransporter av den här typen 2,3 miljoner ton, vilket motsvarar ca 5 % av vägtransporterna. Förutom det finns flöden mellan industrier som skulle kunna ha liknande förutsättningar.

3.1.3 Typfall 3: Skog till industri

Det här fallet utgörs av rundvirketransporter som till större del utförs på allmänna vägar och skiljer sig från de övriga i att det är uppdelat i tre varianter med olika avstånd för att skildra en större del av systemet. I alla tre fallen transporteras rundvirke från skog till industri med virkesbilar. De tre delarna är uppdelade efter avstånd, där industriernas typiska upptagningsområden är uppdelade i tre klasser. Till skillnad från de övriga typflödena är inte detta typflöde fast, utan variabelt. Flödet går mellan ett av flera avlägg i en viss avståndsklass till en mottagande industri. Avstånden för de tre klasserna är 50, 80 och 120 kilometer.



Figur 3. Mängden per avlägg i olika avståndsklasser för de senaste tre åren, samt de utvalda analysvärdena

Den tillgängliga mängden per avlägg varierar något (se Figur 3). Den fortsatta kalkylen kommer att baseras på ett avlägg per avståndsklass, för att gälla alla industrier oavsett storlek. Transportarbetet per avlägg varierar mellan 20 000 tonkilometer och 60 000 tonkilometer. Dieselförbrukningen antas vara samma som i tidigare typflöden och det gör att den totala förbrukningen varierar mellan 560 och 1 680 liter. Kalkylvärden för de tre avståndsklasserna redovisas i tabell 1 nedan.

	Avstånd enkel väg (km)	Transporterad mängd (ton)	Transportarbete (tonkm)	Diesel- förbrukning (liter)
Skog till industri (kort)	50	400	20000	560
Skog till industri (medel)	80	500	40000	1120
Skog till industri (lång)	120	500	60000	1680

Tabell 1. Beskrivning av typflöden från skog till industri. Transportarbete, dieselförbrukning och totala utsläpp är beräknade för dubbelt avstånd, per vända då lasskörningsgraden är ca 50%, d.v.s fordonen går med last från skog till mottagningsplats men i regel tomma från mottagningsplats till hämtplats i skogen.

Av de utvalda typflödena har detta störst variation och komplexitet, på grund av varierande avstånd, tidsåtgång och geografi. Dessutom är dessa flöden inte punkt-till-punkt på samma sätt som de andra typerna, utan ingår i ett komplicerat nätverk med transporter av olika produkter åt olika håll. Därmed går det inte att förutsätta jämna transporter per avlägg eller avståndsklass.

Avståndsklasserna har något olika typfordon. För klassen med kortast avstånd är andelen lastbilar med fastmonterad kran vanligare och för klassen med längst avstånd är lastbilar utan kran (gruppilar) vanligare. Som en följd av detta är lastvikterna per fordon något högre för de längre avståndsklasserna.

Totalt transporterades 57.9 miljoner ton i den här typen av flöde under 2018. Av detta var 30.3 miljoner ton timmer, 23.5 miljoner ton massaved och 4.1 miljoner ton var primärt skogsbränsle. En del av det primära skogsbränslet utgörs av flisat material och kräver därmed andra typer av fordon. Dessutom transporteras det primära skogsbränslet i större utsträckning till mindre mottagningsplatser. Av de här anledningarna kan det bli svårare att tillämpa samma åtgärder på transporter av primärt skogsbränsle som för timmer och massaved. Sammantaget innebär det att den totala potentialen för det här typflödet borde vara åtminstone 53 miljoner ton årligen. Denna totala potential är fördelad över fler avstånd än de tre klasser som har valts ut i detta projekt. Genom illustration av dessa tre klasser och skillnaden mellan dem bör dock variationen illustreras väl. Nämnas kan att endast 25 % av skogsbrukets vägtransporter var längre än 120 km under 2018 (Asmoarp m.fl., 2020).

3.2 Identifierade fossilfria teknikalternativ

Sett i ett längre perspektiv så har diskussionen kring fossilfria alternativ för tunga transporter präglats av en betydande osäkerhet och en rad olika teknikalternativ har utforskats, testats och analyserats. Vi kommer i det följande diskutera de olika alternativen uppdelade i två kategorier: biodrivmedel och elektrifiering. Båda dessa rymmer en stor variation vad gäller utformning av lösningar. Detta kan exemplifieras genom att Volvo redan 2007 presenterade sju olika demonstrationslastbilar där var och en var anpassad för att gå på ett specifikt biobränsle (Green Car Congress, 2007).

3.2.1 Biodrivmedel

Biodrivmedel är en nyckelkomponent i Sveriges strategi för att nå målet om 70% minskning av växthusgasutsläppen från vägtransportsektorn till 2030, särskilt via den så kallade reduktionsplikten eller ”bränslebytet”. Detta är ett politiskt instrument som gradvis fasar in allt högre andelar biodrivmedel i de fordonsbränslen som säljs i Sverige, såväl bensin som diesel. 2019 innehöll diesel i Sverige 22% biobränsle, medan målet till 2030 förutsätter en inblandning på 40%.

Huvuddelen av det biobränsle som blandas i diesel består av HVO, vätagasbehandlade växtoljor. HVO är ett drop-in-bränsle som kan användas direkt i en dieselmotor utan att denna behöver anpassas. HVO har även fördelen att det går att tillverka från en mängd olika råvaror, såsom rena oljor från

jordbruksgrödor men också slaktavfall och tallolja. HVO som såldes i Sverige 2019 bestod till 42% av slakteriavfall, 36% PFAD (en restprodukt från palmolja), 14% av tallolja samt 8% palmolja. 95% av råvaran importerades, med Indonesien som största enskilda exportland på 34% (Energimyndigheten 2020). I tillägg till HVO som blandas in i all diesel säljs också ett rent HVO-bränsle under namnet HVO100 och såväl Volvo som Scania har sedan 2015 sålt lastbilar som är godkända att köra på 100% HVO100.

En nyckelfråga kring HVO100 är osäkerheten kopplat till bränslets skattemässiga status. I Sverige är idag HVO100 undantaget från såväl energi- som koldioxidskatt. Med skattebefrielsen är HVO100-priset någorlunda i paritet med dieselpriiset, men skulle HVO100 beläggas med samma skatter som fossil diesel så skulle priset bedömt bli 6 kronor högre per liter. Skattebefrielse gäller dock endast år 2021 ut och för att den ska fortsätta gälla efter detta krävs att Sverige ansöker och får tillåtelse av EU-kommissionen då undantaget räknas som driftstöd enligt EUs statsstödsregler. Undantaget ges endast ett år i taget vilket medför en betydande risk för aktörer som vill gå över till HVO100 (Energimyndigheten, 2020a; Jakobsson & Mattsson, 2020). Den politiska diskussionen kring HVO100 är del av en bredare debatt kring biodrivmedel som pågått under lång tid men som under senare år intensifierats. Vidare analys av detta ligger dock utanför ramen för det här projektet.

Ett annat biobaserat bränsle som är intressant för lastbilstransporter är flytande biogas (LBG). LBG är biobaserad metan som kyls ned till flytande form och tillverkas vanligtvis från olika rötprocesser, t.ex. i reningsverk eller kompostering. Komprimerad biogas används redan idag i personbilar, lättare lastbilar och bussar men fördelen med flytande biogas är att det möjliggör högre energitäthet och därmed längre räckvidd. Såväl Volvo som Scania har under senare år utvecklat LBG-motorer för tyngre lastbilar. Frågan om skattebefrielse är relevant även för flytande biogas, men Sverige har för biogas fått detta skatteundantag beviljat i tio år framöver (ib.).

En intressant aspekt just när det gäller skogsindustrins transporter och biodrivmedel är att skogsnäringen i viss del redan är, men skulle potentiellt kunna bli en än större, leverantör av antingen råvara till biodrivmedel eller själva producera färdiga biodrivmedel, inklusive HVO och LBG. En översikt över svenska biodrivmedelsproduktionsprojekt i olika stadier från planering till kommersiell drift finns i Danielsson (2020).

3.2.2 Elektrifiering

Som nämndes ovan är det viktigt att betona att begreppet ”elektrifiering” i detta sammanhang innefattar flera olika tekniska alternativ.

Teknik- och marknadsutvecklingen inom personbilar och lättare lastbilar har de senaste åren framförallt präglats av ett starkt fokus på elektrifiering via *batterier*. Detta har drivits på dels av politiska styrmedel, inte minst starka sådana inom EU, men också av en snabb kostnadsminskning på litiumbaserade batteritekniker, något som gjort att inköpskostnaderna för batterielbilar² närmar sig dito för bilar med förbränningsmotor. Då driftkostnaderna, särskilt form av kostnaderna för insatsenergi men även underhåll, är betydligt lägre för en batterielbil jämfört med en förbränningsmotor så kan den totala ägandekostnaden för en elbil dock vara bättre än en motsvarande förbränningsmotorbil redan idag. Detta gäller särskilt för fordon med högt kapacitetsutnyttjande. En elbils kostnadsstruktur skiljer sig mot en bil med förbränningsmotor i att en betydligt större andel utgörs av kapitalkostnad/inköpspris vilket gör att ett högre utnyttjande är viktigt för att få ned kostnaden per körd sträcka.

² Då även bränslecellsfordon kan klassificeras som en elbil använder vi för tydlighets skull begreppen ”batterielbil” och ”bränslecellselbil” för att särskilja de två.

Inom de tyngre fraktsegmenten har dock elektrifiering via batterier länge betraktats som betydligt mer svårgenomförbart. Batterier har betydligt sämre energidensitet än diesel vilket gör att en stor del av lastvikten kommer tas upp av batteriernas vikt om lastbilen ska kunna ha egenskaper motsvarande en diesellastbil med avseende på räckvidd. I takt dels med att batterikostnaderna gått ned och dels med att man börjat testa och analysera körmönster som möjliggör att man kringgår batterilastbilars begränsade räckvidd har dock intresset ökat starkt under senare år från etablerade lastbilstillverkare som Volvo & Scania men också från nya aktörer som Einride.

Sverige har de senaste åren också satsat på forskning och innovation kring *elvägar* (Electric Road Systems, ERS) och för närvarande pågår flera tester av olika typer av tekniker på olika platser runt om i Sverige. I en nyligen utkommen rapport menar dock Trafikverket (2021) att man ser en betydligt mindre roll för elvägar i det framtida godstransportsystemet än man gjort i tidigare analyser, detta i hög grad beroende på snabb utveckling inom andra tekniker för elektrifiering.

Vätgas och bränsleceller kan också klassificeras som en sorts elektrifiering. Även om vätgas idag huvudsakligen produceras från fossila bränslen så sätts allt större förväntningar på en framtida utveckling där vätgas producerad via elektrolys med elektricitet från koldioxidfri el kommer bli konkurrenskraftig. En lastbil baserad på bränsleceller som drivs av vätgas producerad på detta sätt kommer att ha mycket låga växthusgasutsläpp well-to-wheel och t.ex. Volvo har tydligt uttalat att FCEV (fuel cell electric vehicle) är en viktig komponent i företagets långsiktiga strategi (Volvo, 2020).

Slutligen bör också nämnas en lösning som faller någonstans mellan elektrifiering och biobränslen, nämligen elektrobränslen. Dessa produceras genom att kombinera vätgas (producerad via elektrolys) med CO₂ och utifrån denna bas syntetisera olika former av kolvätebaserade bränslen. Detta har i Sverige utretts som en potentiell väg att producera alternativt flygbränsle (IVL & Jämtkraft, 2021) och företaget LiquidWind planerar att i Örnköldsvik bygga en anläggning som ska producera metanol från vätgas och CO₂ infångat från stadens kraftvärmeverk (LiquidWind, 2021). Tekniken möjliggör produktion av drop-in-bränslen med väldigt låga växthusgasutsläpp i livscykeln men kräver mycket låga elpriser för att närma sig konkurrenskraft med fossila alternativ (Brynnolf m.fl., 2018).

3.2.3 Utvalda tekniker

En bakomliggande tanke var att de tekniker som valdes ut för mer detaljerad analys skulle representera ett någorlunda brett spektrum vad gäller mognad och bedömd nivå av systemförändring som skulle krävas jämfört med det nuvarande (dieslbaserade) systemet. De tekniker som till slut valdes ut var

- **HVO100**
- **LBG**
- **Elektrifiering via batterier.**

I tillägg till de analyser som gjordes utifrån detta urval gjorde också Einride analyser utifrån på sin tekniska plattform. Dessa analyser presenterades i en intern rapport (Einride, 2020). Det bör också nämnas att vätgasbränsleceller som teknik ingår i den kvalitativa analysen om än ej i den kvantitativa analysen. Kvantitativ analys av skogstransporter baserade på vätgas och bränsleceller görs dock i TripleF-systerprojektet *H2-timmer*³.

³ <https://triplef.lindholmen.se/node/85386>

En sammanfattning av resonemanget kring val av typtransportflöden och tekniker att analysera vidare finns i ett SEI Project Brief som publicerades av Nykvist & Olsson (2020).

3.3 Övergripande konkurrenskraftsanalys för batteridrivna lastbilar

Även om analys av de skogligt specifika fallen var huvudsyftet med det kvantitativa arbetet i projektet så genomfördes också som ett delsteg en analys mer brett inriktad på att förstå konkurrenskraften hos tunga batterilastbilar. Som diskuterats tidigare så har elektrifiering av tunga lastbilar via batterier traditionellt ej ansetts vara en framkomlig väg, i hög grad beroende på att den mängd batterier som skulle krävas för att uppnå en diesellastbils räckvidd skulle ta en allt för stor del av lastvikten i anspråk. Samtidigt har utvecklingen inom batteriteknik under senare år gått mycket snabbt när det gäller såväl energiinnehåll som kostnad och det har rått brist på analyser som undersöker om och hur denna utveckling påverkar batterilastbilars konkurrenskraft.

För att kunna bidra till att fylla detta gap vidareutvecklades delar av den kvantitativa analysen till en studie specifikt inriktad på batterilastbilar som koncept. Analysen ifråga skiljde sig från tidigare analyser på några centrala punkter.

Till att börja med så inkorporerades tre olika antaganden kring batteriprestanda och kostnader: *i)* ett konservativt antagande som är i linje med vad som idag finns i kommersiella fordon, *ii)* ett antagande som var mer optimistiskt och återspeglar vad marknadsbedömare tror kommer finnas kommersiellt inom ett fåtal år samt slutligen *iii)* ett antagande som representerar ett medelvärde mellan de två tidigare.

I tillägg till detta inkorporerades i analysen möjlighet till snabbbladdning med en s.k. c-rate⁴ på 1.5 vilket medför att batteripaketet kan laddas till 80% på 40 minuter. Denna typ av laddning finns idag i kommersiell drift för personbilar och då c-raten skalar proportionerligt med batteripaketets storlek - givet samma batterikemi - finns inga egentliga batteritekniska hinder för att detta även skulle kunna implementeras även för lastbilar.

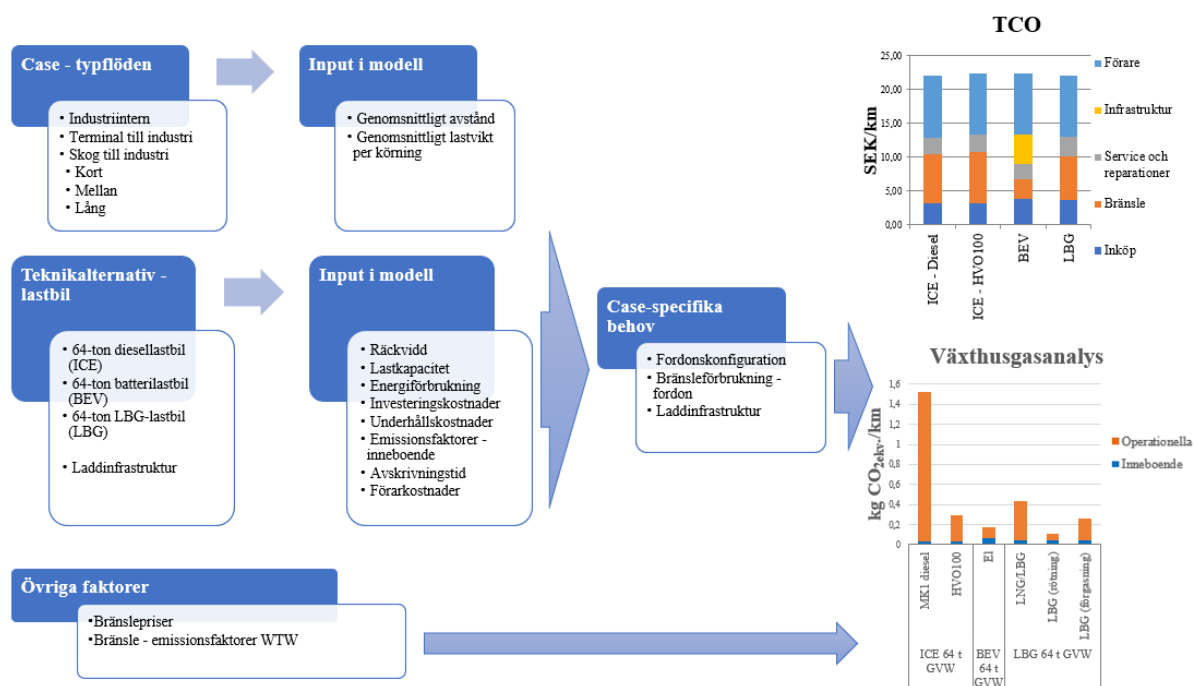
Analysen gjordes med avseende två parametrar: kostnad per kilometer och kostnad per tonkilometer och utfallet var intressant i så mån att den visade att batteribaserade lastbilar kan vara konkurrenskraftiga med dieselbaserade. Dessutom visar analysen att konkurrenskraften faktiskt kan bli bättre i tyngre lastbilssegment. Centralt för båda dessa slutsatser är dock möjligheten till snabbbladdning som gör att en förare kan följa det lagstadgade kör/vila-mönstret med 4.5 timmars körning följt av 45 minuter vila och under vilan ladda lastbilen så att den klarar ytterligare 4.5 timmars körning. Dessutom är antagandena gällande batteriernas prestanda och kostnad centrala: räknat per tonkilometer förbättrades konkurrenskraften visavi dieselalternativet med ökad vikt för samtliga parameterantaganden, men räknat per kilometer gällde detta endast med det optimistiska parameterantagandet.

Sammantaget innebär resultaten att batterilastbilar är på gränsen till konkurrenskraftiga mot dieselalternativet i samtliga storleksklasser, men det är återigen viktigt att betona att detta förutsätter att snabbbladdning finns tillgänglig. Studien i sin helhet sammanställdes till en vetenskaplig artikel av Nykvist & Olsson (2021) och publicerades i april 2021.

⁴ C-rate eller charge rate är ett mått på hur snabbt ett batteripaket kan laddas relativt dess kapacitet. En c-rate på 1 innebär att ett batteripaket på 100 kWh kan laddas med 100 kW medan en c-rate på 1.5 innebär att ett batteripaket på 100 kWh kan laddas med 150kW.

3.4 Metod för den kvantitativa analysen

Genomförbarheten av de utvalda alternativa teknikerna i de skogligt specifika typfallen analyserades genom teknoekonomiska beräkningar av deras kostnads- och klimatprestanda. Beräkningarna utfördes genom att uppskatta specifika kostnader för inköp och drift för de olika teknikalternativen i varje typfall samt de typfalls-specifika behoven av laddinfrastruktur. På motsvarande sett beräknades klimatprestandan för varje kombination av teknikalternativ och typfall. Flödesdiagrammet i Figur 4 visar en övergripande bild av tillvägagångssättet för de teknoekonomiska beräkningarna. Mer specifikt undersöktes kostnads- och klimatprestandan hos teknikalternativen: konventionella fordon drivna på HVO100 (ICE-HVO100), fordon elektrifierade via batterier (BEV-fordon) och fordon drivna på flytande biogas (LBG-fordon). Dessa ställdes mot prestandan hos konventionella 64-tons virkesbilar drivna på diesel (ICE-diesel) som referens. Det bör dock noteras att de undersökta BEV-fordonen och LBG-fordonen inte finns tillgängliga på marknaden i dagsläget utan beräkningarna är baserade på antaganden om att fordon med motsvarande prestanda kommer att finnas kommersiellt tillgängliga i framtiden. De teknoekonomiska parametrarna för dessa teknikalternativ är uppskalade utifrån ett konventionellt 64-tons ICE-fordon för skogstransporter. År 2019 användes som referensår för investeringskostnader och drivmedelspriser samt tillgängliga tekniker för drivlinor och utrustning för laddning av BEV-fordonen.



Figur 4. Illustrativt flödesdiagram över den teknoekonomiska analysen.

Kostnadsprestandan analyserades med måttet ”total ägandekostnad” (*total cost of ownership*, TCO) uttryckt i SEK/km med avseende på jämnlastbilens avskrivningstid i km. Kalkylen för TCO-beräkningarna utgår från en kalkylperiod på 6 år, satt efter fordonens avskrivningstid i år, med antagandet att alla investeringskostnader betalas under kalkylperioden. Detta innebär att den totala investeringskostnaden för laddinfrastrukturen antas återbetalas under en kortare tid än dess specifika avskrivningstid samt att alla återförsäljningsvärden antas vara 0 SEK. Investeringskostnaderna annualiseras enligt annuitetsmetoden genom en annuitetsfaktor som beräknas enligt Ekvation (2) i 6.1 Bilaga 1 – Kvantitativ analys, beräkningar och underlag.

Formeln för TCO-beräkningarna presenteras i Ekvation (1) nedan.

$$TCO = Inv + Driv + SoR + Inf + För \quad (1)$$

- *Inv* = Annualiserade investeringskostnader för fordonet [SEK/km]
- *Driv* = Kostnader för fordonets drivmedelsförbrukning [SEK/km].
- *SoR* = Fordonets service och reparationskostnader [SEK/km].
- *Inf* = Annualiserade investeringskostnader för laddinfrastruktur [SEK/km].
- *För* = Lönekostnader för förare för ett fordon [SEK/km].

Klimatprestandan beräknades som fordonens inneboende växthusgasprestanda (dvs utsläpp som uppkommit under fordonets tillverkning) samt deras operationella växthusgasprestanda (från drivmedelsförbrukning) ur ett Well-to-Wheel (WTW) perspektiv. Den undersökta klimatprestandan uttrycks i kg CO_{2ekv.}/km. För de alternativa teknikernas operationella växthusgasprestanda användes emissionsfaktorer för en rad olika drivmedel/energibärare som lämpar sig för de olika alternativen: MK1 diesel, HVO100, el baserad på nordisk och polsk elmix⁵, LNG/LBG-blandningen som säljs som flytande metan på marknaden idag, LBG framställd genom rötning av gödsel och bioavfall, samt slutligen LBG framställd genom förgasning av virkesavfall. Vidare jämfördes även BEV-fordonens inneboende klimatprestanda beroende på om batterierna tillverkas i ett land med en mer förnybar respektive mer fossilintensiv energimix. Det bör noteras att en generell klimatprestanda beräknades utifrån en antagen fordonskonfiguration och energiförbrukning för fordonet. Därmed undersöktes klimatprestandan inte specifikt för varje typfall.

⁵ Den polska elmixen har använts för jämförelse eftersom den är den elmix med högst emissionsfaktor inom EU (European Environment Agency, 2021).

3.5 Underlag

3.5.1 Typtransportfall

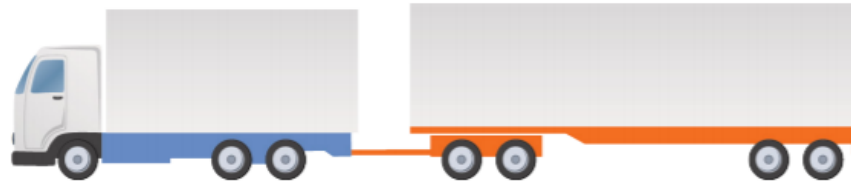
De olika typtransportfallen uttrycks i den teknoekonomiska analysen genom de genomsnittliga avstånden fordonen kör i respektive typflöde samt den genomsnittliga godsvikten de transporterar. Typfall 3: Skog till industri skiljer sig från de andra två typfallen genom att det i sin tur är uppdelat i 3 olika avståndsklasser och kännetecknas av att vara variabla flöden mellan flera olika avlägg och en industri. För att förhålla sig till dessa komplexa typflöden sätts endast medelavstånden som kravställande parametrar. Den potentiella transporterade vikten som respektive teknikalternativ hinner transportera beräknas istället som ett resultat. För samtliga fall antas lasten vara fördelad jämnt över dygnet och året. En sammanställning av typflödena och hur de uttrycks i den teknoekonomiska analysen presenteras i Tabell 2.

Tabell 2. Beskrivning av hur de undersökta typflödena uttrycks i den teknoekonomiska analysen.

Typfall	Medelavstånd, enkel sträcka [km]	Genomsnittlig transporterad vikt [ton/år]
Typfall 1: Industriinterna flöden	1.3	305 000
Typfall 2: Terminal till industri	19.2	240 000
Typfall 3a: Skog till industri (kort)	50	[-]
Typfall 3b: Skog till industri (medel)	80	[-]
Typfall 3c: Skog till industri (lång)	120	[-]

3.5.2 Fordon och logistik

Godset som transporteras i respektive typtransportfall varierar mellan sågverksflis, sågade trävaror eller pappersmassa till rundved. För den teknoekonomiska analysen har därför två fordonskonfigurationer valts ut för att representera fordonen i typtransportfallen. För Typfall 1: Industriinterna flöden undersökts konfigurationen flisfordon. I detta typfall antas fordonet bestå av en treaxlig jämnlastbil och ett fyraxligt släp med en bruttovikt på ca 64 ton. Till skillnad från en timmerbil har flisbilarna skåp på jämnlastbilen och släpet vilket medför en 2–3 ton högre tjänstevikt (von Hofsten, 2019). Figur 5 visar en schablonbild över ett 7-axligt flisfordon.



Figur 5. Schablonbild över ett 7-axligt flisfordon (von Hofsten, 2019).

För de resterande typfallen transporteras rundved och rundvirke som gods till industrier. Därmed antas ett kranfordon med egen kran representera fordonen i dessa flöden. Likt flisfordon består kranfordon av en 3-axlig jämnlastbil och en 4-axlig släp. Därutöver har den även av en fastmonterad kran som väger ca 2–3 ton. Istället för skåp har kranfordon bankar eller stakar för att hålla rundvirket på plats (von Hofsten, 2019). Figur 6 visar en schablonbild över ett kranfordon.



Figur 6. Schablonbild över ett 7-axligt kranfordon med egen kran (von Hofsten, 2019).

Investeringskostnaderna för fordonen baseras på Noreland (2020) och beräknas med hjälp av inköpspriser och avskrivningstider för rundvirkesfordon med 64 ton bruttovikt. Investeringskostnaderna för BEV-fordon uppskattas som merkostnaden av att byta ut ICE-drivlinan mot ett batteri av motsvarande vikt. På så sätt kan fordonens lastkapacitet antas vara desamma för båda teknikalternativ. För LBG-fordon antas en merkostnad om ca 33% jämfört med ett ICE-fordon. Beräkningarna presenteras mer i detalj Tabell 6 i Bilaga 1. Analysen av investeringskostnader tar inte hänsyn till skatter eller försäkringar eller dylikt. För de teknoekonomiska beräkningarna i denna rapport antas fordonens bruttovikt vara 64 ton och lastkapacitet vara 46 ton oavsett konfiguration. Övriga parametrar över fordonens prestation och logistikflöden presenteras mer utförligt i Tabell 7 i Bilaga 1.

Då analysen av Typfall 3: Skog till industri omfattar att beräkna den potentiella mängden transporterat gods tas för dessa flöden hänsyn till teknikalternativens respektive räckvidd. Antalet hela tur-och-returresor som fordonet hinner köra per dygn beräknas som utgångspunkt för denna jämförelse. Givet ICE-fordonens drivmedelsförbrukning och en tankstorlek på 900 liter kan dess räckvidd beräknas och denna antas vara densamma för ICE-diesel som för ICE-HVO100. Räckvidden hos BEV-fordonens beräknas på liknande sätt givet dess energiförbrukning och en nominell batterikapacitet på 507 kWh. BEV-fordonets räckvidd begränsas ytterligare av att 95% av den nominella kapaciteten antas vara tillgängligt för användning, resterande används som marginal. Därtill antas batteriet begränsas till att laddas/laddas ur mellan 20%-80% State-of-Charge (SoC) för en bättre batterihälsa. För LBG-fordonen antas räckvidden vara desamma som för existerande LNG-lastbilar med 40 tons bruttovikt.

Den potentiella mängden transporterat gods som de olika teknikalternativen hinner med uppskattas med hjälp av räckvidderna. För ICE-fordonen och LBG-fordonen antas tiden för att tanka fordonen ha en försumbar påverkan på transportflödet så länge antalet tanktillfällen som krävs inte överstiger antalet tur-och-returresor som fordonet hinner köra. För BEV-fordonen påverkas transportflödet, och potentialen till att transportera gods, av hur ofta och länge fordonet behöver stanna för att ladda. En

logisk följd för hur fordonet laddar har därför antagits i analysen där fordonet i första hand laddas under transportflödenas naturliga stopp. Samtliga fordon antas köras 2 direkt efterföljande skift per dygn. Varje skift antas vara 8 timmar långt och 1 timmes matpaus förekommer i mitten på varje skift. På så sätt är fordonet i drift 18 h/dygn och fordonet behöver inte stanna för att ta hänsyn till kör-och vilotider⁶. Den logiska följderna för laddning är enligt följande:

1. Depåladdning under natten
2. Laddning under arbetsskiftens matpaus
3. Laddning under lossning
4. Fordonet stannar extra för att ladda

De undersökta teknikalternativens inneboende växthusgasprestanda uppskattades genom att beräkna emissionsfaktorer baserat på Volvos jämnlastbilar (Volvo Trucks Global, u.å.) och skala upp dessa med investeringskostnaden för ett kranfordon (jämnlastbil, vagn och kran). Detta gäller för ICE-fordon och LBG-fordon. För BEV-fordon uppskattades den inneboende växthusgasprestandan genom att lägga till klimatprestandan av batteritillverkningen, ur ett Cradle-to-Gate perspektiv, på ICE-fordonens prestanda. Batteritillverkningens klimatprestanda baseras på emissionsfaktorer för NMC-batterier, tillverkade med en mer förnybar respektive fossilintensiv energimix, och den nominella batterikapaciteten. Emissionsfaktorerna för fordonen presenteras i Tabell 8 i Bilaga 1.

3.5.3 Energiförbrukning

Fordonens energiförbrukning består av förbrukning för framdrivning av fordonet samt av förbrukningen från kranen, för att lasta fordonet. Drivmedelsförbrukningen för ICE-diesel och ICE-HVO100 antas vara densamma och representera ett medelvärde mellan ett fullastat och tomlastat fordon. BEV-fordonens energiförbrukning för framdrivning antas vara ca 2.7 gånger mer effektiv än för ett ICE-fordon. Detta baseras på ett medelvärde som analyserats från ett antal källor. Samtidigt tillkommer omvandlingsförluster för laddning av BEV-fordon. Dessa uttrycks i analysen som 88% effektivitet på laddaren (Tesla, Inc., 2017). LBG-fordonen antas ha en ca 4% högre drivmedelsförbrukning än ett ICE-fordon (Mottschall m.fl., 2020). Drivmedelsförbrukningen för fordonens framdrivning och kran presenteras i detalj i Tabell 9 i Bilaga 1.

En sammanställning av drivmedelspriser presenteras i Tabell 3. Det bör noteras att analysen av kostnadsprestandan utgår från att omställningen till LBG-fordon innebär fordonen drivs av ren LBG. Därmed tas inte priset på LNG/LBG-blandningen som säljs på marknaden idag till hänsyn. Priset för LBG beräknas vidare med en energitäthet på 14.35 kWh/kg (H. Johansson, 2017). Kostnaden för fordonets drivmedelsförbrukning beräknas genom att ta hänsyn till framdrivning av fordonet såväl som den eventuella kranens förbrukning vid lastning. Dessa beräkningar redovisas mer noggrant i Ekvation (4) och Ekvation (5) i Bilaga 1.

⁶ EUs gemensamma regler för kör-och vilotider kräver att fordon med en totalvikt över 3.5 ton tar rast på minst 45 minuter efter varje 4.5 timmar lång körperiod (Transportstyrelsen, 2021).

Tabell 3. Antagna drivmedelspriser

Parameter och enhet	Drivmedelspris	Referens	Kommentar
Dieselpri s [SEK/liter]	12.79	(Trafikverket, 2020b)	Interpolerat värde mellan år 2017 och 2030
HVO100-pris [SEK/liter]	0.70	(Hunhammar m.fl., 2021)	Merkostnad jämfört med diesel, exklusive moms.
Elpris [SEK/kWh]	1.19	(Trafikverket, 2020a)	Interpolerat värde mellan år 2017 och 2030. El för företag (lastbilar, bussar)
LBG-pris [SEK/kg]	16.00	(Tamm & Andersson, 2019)	100% LBG

För de undersökta teknikalternativens operationella växthusgasprestanda användes emissionsfaktorer för en rad olika drivmedel som lämpar sig för de olika alternativen: MK1 diesel, HVO100, el från en nordisk och polsk elmix, flytande metan som säljs på marknaden idag bestående av LNG/LBG, ren LBG framställd genom rötning av gödsel och bioavfall samt ren LBG framställd genom förgasning av virkesavfall (skogsflis och/eller grenar och toppar (GROT)). Då klimatprestandan beräknades för ett generellt fall, och inte för varje typflöde, tas endast drivmedelsförbrukningen för framdrivning med i beräkningarna. Det tas ej hänsyn till kranens energiförbrukning. En sammanställning av emissionsfaktorer för den operationella växthusgasprestandan hittas i Tabell 10 i Bilaga 1.

3.5.4 Service- och reparationskostnader

ICE-fordonens service- och reparationskostnader är baserade på värden för ett dieseldrivet kranfordon med bruttovikt 64 ton (Johansson & von Hofsten, 2017). Dessa kostnader beräknas alltså som 1.75 SEK/km. För BEV-fordon antas service- och reparationskostnaderna vara 20% lägre än för konventionella (Trafikförvaltningen Stockholms läns landsting, 2018), något som dock på lång sikt kan vara ett konservativt antagande (jfr. Burnham m.fl., 2021). För LBG-fordon antas service- och reparationskostnaderna vara ca 17% högre än för ICE-fordon (Mottschall m.fl., 2020; Smajla m.fl., 2019). Däckslitage ger upphov till en betydande löpande kostnad för åkerier (Noreland, 2020). I kalkylen läggs därför däckkostnaderna till i service- och reparationskostnaderna. Även här används värden för ett 64 ton kranfordon. Samma däckkostnader antas för alla teknikalternativ. Däckkostnaderna beräknas som 0.76 SEK/km (Johansson & von Hofsten, 2017).

3.5.5 Laddinfrastruktur

Totalkostnadsberäkningarna tar endast med infrastrukturkostnader för teknikalternativet BEV-fordon då det förväntas att skogsindustrierna själva är intresserade av att äga laddinfrastrukturen på sina industrianläggningar. Tankinfrastrukturen för ICE-diesel och ICE-HVO100 är redan väletablerad och bedöms därför inte kräva ytterligare investeringar. Även för LBG-fordon antas att det publika tankinfrastruktursnätet kommer användas för att möta skogstransporternas behov. Kostnaderna för dess tankinfrastruktur är på så sätt inkluderade i de antagna bränslekostnaderna på samma sätt som för ICE-

diesel och ICE-HVO100. Därmed tas inte LBG-fordonens infrastrukturkostnader med in analysen. Laddinfrastrukturens klimatprestanda tas ej hänsyn till i analysen i denna rapport.

Hur mycket laddinfrastruktur som behövs i varje typfallsflöde uppskattas genom att tillämpa den logiska följden och antaganden om logistikflödet som beskrivs i avsnitt 3.5.2. För att beräkna kostnaderna för laddinfrastruktur antas det att fordonet kan utnyttja samma laddningsenhet för depåladdning som för laddning under matpaus och lossning i *Typfall 1: Industriinterna flöden* och i *Typfall 2: Terminal till industri*, förutsatt att de laddar med samma effekt. I de fall där laddningsenheter av olika effekter krävs antas att man måste investera i mer än en laddare. Detta gäller även när fordonet behöver stanna extra för att ladda. I samtliga varianter av *Typfall 3 Skog till industri* antas att BEV-fordonen inte kan utnyttja samma laddningsenhet under matpauser och lossning, utan behöver fler laddningsmöjligheter. Detta då avstånden är längre och det är mindre sannolikt att matpauserna inträffar på industrierna, samt då avläggens placering varierar, något som ställer högre krav på ett utbrett laddinfrastrukturnät. Det antagna laddbehovet för varje typfall presenteras i Tabell 4.

Tabell 4: Sammanställning av antaganden för laddinfrastruktur och laddbehov för varje typfall.

Typfall	Hur mycket laddinfrastruktur per fordon?	När laddas fordonen?	Hur mycket tid spenderas på laddning per dygn?
Typfall 1: Industriinterna flöden	1 st laddare (50 kW)	Under natten, efter det kört 2 direkt efterföljande skift	6 timmar natt
Typfall 2: Terminal till industri	1 st laddare (150 kW)	Under natten samt under matpauser och under lossning	6 timmar natt, 2 timmar matpaus, 4 timmar lossning
Typfall 3: Skog till industri (kort)	1st depåladdare om 150 kW för fordonet att ladda under natten. 2st laddare med kapacitet om 350 kW för att täcka laddbehovet under dagtid	Under natten samt under matpauser och under lossning	6 timmar natt, 2 timmar matpaus, 2 timmar lossning
Typfall 3: Skog till industri (medel)	1st depåladdare om 150 kW för fordonet att ladda under natten. 2st laddare med kapacitet om 350 kW för att täcka laddbehovet under dagtid 1 st. laddare på 50 kW för laddning under färd.	Under natten samt under matpauser och under lossning. Dessutom krävs det att fordonet stannar extra under färden, endast för att ladda.	6 timmar natt, 2 timmar matpaus, 1.5 timmar lossning, 1 timme extra
Typfall 3: Skog till industri (lång)	1st depåladdare om 150 kW för fordonet att ladda under natten.	Under natten samt under matpauser och under lossning. Dessutom krävs det	6 timmar natt, 2 timmar matpaus,

	2st laddare med kapacitet om 350 kW för att täcka laddbehovet under dagtid 1 st. laddare om 350 kW för laddning under färd.	att fordonet stannar extra under färden, endast för att ladda.	1 timme lossning, 1 timme extra
--	--	--	------------------------------------

Kostnaderna för laddinfrastruktur består av kostnader för själva laddarna (hårdvara och installation), kostnader för anslutning till elnätet (inklusive eventuellt förstärkningar) samt operationella kostnader för laddinfrastrukturen. Investeringskostnaderna för inköp och installation av laddutrustning samt anslutning till elnätet består av medelvärdet av kostnadsdata från flera källor. Dessa redovisas mer ingående i Tabell 11, respektive Tabell 12 i Bilaga 1.

För att annualisera investeringskostnaderna antas laddutrustningen ha en ekonomisk livslängd på 15 år och elnätsinfrastrukturen ha en ekonomisk livslängd på 20 år. Därtill antas de årliga driftkostnaderna vara 10% av investeringskostnaderna, enligt en tumregel som tillämpas av bland annat Gnann et al (2018). Beräkningarna av de annualiserade kostnaderna för laddinfrastruktur beskrivs med utförligt genom Ekvation (6) och Ekvation (7) i Bilaga 1.

3.5.6 Lönekostnader för förare

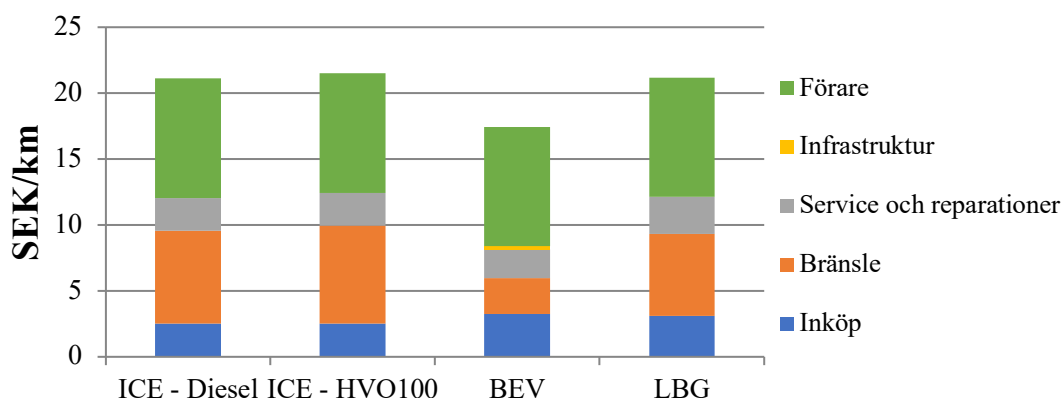
Lönekostnaderna för förare associerade till ett fordon uppskattas generellt för de olika typfallen. En timlön för förare av skogstransporter antas vara 258 SEK/timme baserat på Noreland (2020). Det antas att varje fordon kör i 2 skift per dygn, 365 dygn om året. Detta innebär att fordonen i snitt antas köra ca 5 840 timmar/år samt att lönekostnaderna per fordon uppgår till ca 1.5 miljoner SEK/år. Värt att notera är att ersättningar, arbetsgivarkostnader och dylikt inte är inkluderade i lönekostnader för förare. Hur dessa lönekostnader uttrycks i SEK/km för TCO-analysen redovisas i Ekvation (8) i Bilaga 1

3.6 TCO-beräkningar

3.6.1 Typfall 1: Industriinterna flöden

För att förse BEV-fordonen med tillräcklig energi för att klara de industriinterna typflödena bedöms en laddare med 50 kW laddkapacitet räcka. Där antas det att fordonet laddar under 6 timmar på natten, efter den kört två direkt på varandra efterföljande skift. På så vis antas det att det endast investeras i en laddenhet per fordon.

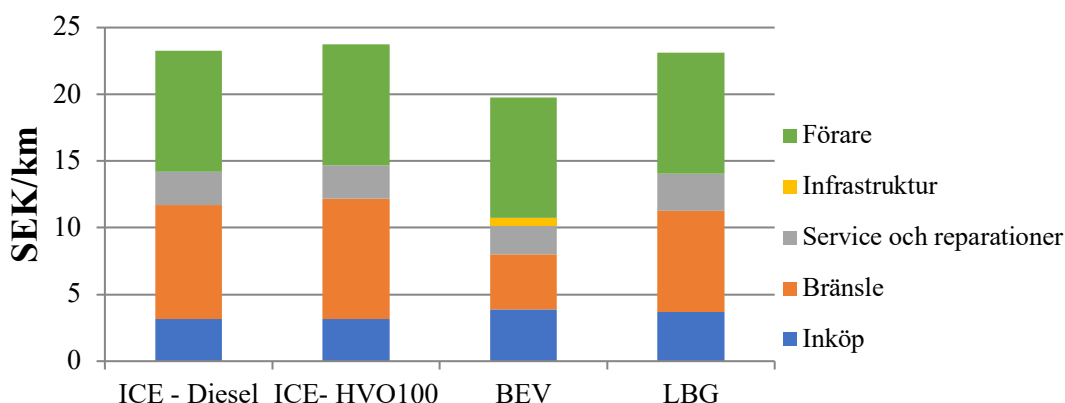
Figur 7 visar TCO-resultatet för det första typfallet som representerar industriinterna flöden. ICE-HVO100 uppskattas ha den högsta TCO bland de 4 alternativen, följt av LBG-fordon, ICE-diesel och BEV-fordon. För samtliga alternativ utgör förarkostnaderna den största andelen av totalkostnaderna (mellan 42%–53 %). Inköpskostnader samt kostnader för service och reparationer visar inte på så stor skillnad mellan alternativen. Även infrastrukturkostnader, dvs. kostnader för laddinfrastruktur, utgör en väldigt liten andel av den totala TCO för BEV-fordon. I övrigt återfinns de största alternativskiljande kostnadsposterna under Bränsle och Inköp av fordon. Bränslekostnaderna utgör den minsta kostnaden hos BEV-fordonen (16% jämfört med ca 32% för de andra alternativen). Samtidigt är dess kostnadspost för inköp den största (19% jämfört med ca. 13% för övriga teknikalternativ). Totalkostnaderna i Typfall 1 presenteras i mer detalj i Tabell 13, i Bilaga 2.



Figur 7: TCO Typfall 1 – Industriinterna flöden.

3.6.2 Typfall 2: Terminal till industri

För detta typflöde krävs en depåladdare på 150 kW som antas kunna utnyttjas för att ladda både under natten samt under matpauser och under lossning. I dessa fall antas laddning under matpaus inträffa på industrin och fordonen kan utnyttja samma laddenhet som för depå-laddning/under lossning. I detta typfall ökar kostnaderna något för samtliga teknikalternativ jämfört med Typfall 1. Den största ökningen uppstår i kostnadsposterna Inköp, fordon och Bränslekostnader (se Figur 8 och Figur 7). Båda dessa kan kopplas till den antagna fordonskonfigurationen för detta typfall, där kranen innebär högre inköpskostnader och ökad energiförbrukning vid lastning. Totalkostnaderna för ICE-diesel, ICE-HVO100 och LBG-fordon ligger ganska nära varandra, medan kostnader för BEV-fordon är ca 15 % lägre än de andra alternativen. Totalkostnaderna i Typfall 2 presenteras i mer detalj i Tabell 14, i Bilaga 2.



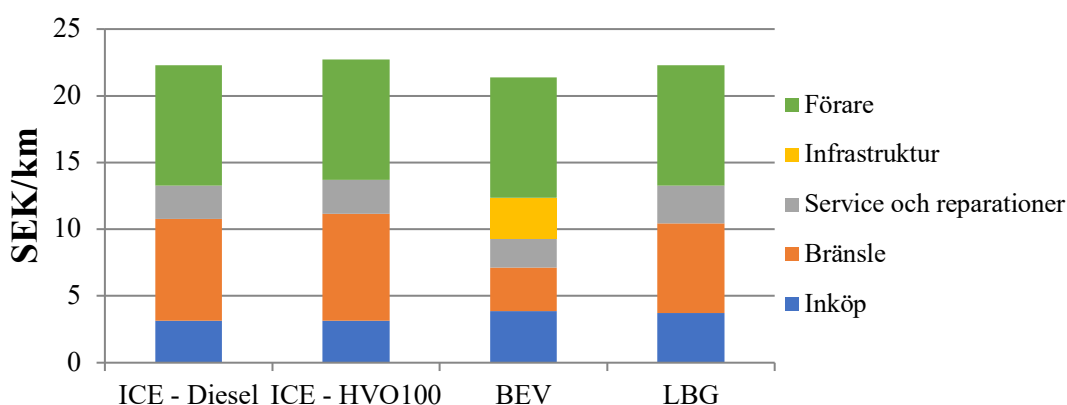
Figur 8: TCO Typfall 2 - Terminal till industri

3.6.3 Typfall 3: Skog till industri

Skog till industri (kort)

Givet ett genomsnittligt transportavstånd på 50 km enkel väg och den antagna medelhastigheten hinner respektive teknikalternativ köra 4.9 tur- och returresor under ett dygn. I de vidare beräkningarna har detta avrundats neråt till 4 hela tur-och returresor. Grovt uppskattat bedöms LBG-fordon behöva tanka ca tre ggr/dygn i detta typfall. Det antas att LBG-fordonet kan genomföra dessa tankningar utan att det påverkar antalet tur- och returresor. För de korta avståndsklasserna är behovet av laddinfrastruktur en depåladdare på 150 kW för fordonet att ladda under natten. För att klara av transporterna behövs dock även laddning under lossning och matpauser. Då detta typflöde är mer komplicerat och det är mindre säkert att matpauserna sammanfaller med att fordonet befinner sig inne på industrin, antas att det krävs två laddare med kapacitet på 350 kW för att täcka laddbehovet under dagtid. Detta typfall kräver inte att LBG-fordonet eller BEV-fordonet stannar extra för att tanka eller ladda, vilket innebär att alla teknikalternativ antas hinna utföra ett lika stort transportarbete på ca 26 900 000 ton-km/år, vilket motsvarar ca 67 000 ton/år.

De utfallna TCO-resultatet för detta typfall presenteras i Figur 9. Jämfört med de tidigare typfallen är det mindre skillnad mellan de olika teknikalternativens kostnadsprestanda. Den högsta TCO:n återfinns hos ICE-HVO100, följt av ICE-diesel, LBG-fordon och BEV-fordon. Jämfört med Typfall 2 är TCO:n för samtliga tekniker något lägre, utom för BEV-fordon. Det kan förklaras med att körsträckorna blir längre i detta typfall. Kranens energiförbrukning har därmed mindre påverkan på fordonens genomsnittliga energiförbrukning i jämförelse med bränsleförbrukningen för framdrivning. Kostnaderna associerade med bränsle har därmed gått ner med mellan 11% – 21%, vilket drar ner totalkostnaderna. För BEV-fordon har kostnaderna för laddinfrastrukturen även ökat från att utgöra ca 3% av TCO:n i Typfall 2 Terminal till industri, till ca 14% av TCO i detta typfall (se Figur 9 och Figur 8). Detta kan förklaras med att de mer komplexa transportflödena är känsligare för att det finns ett utbrett infrastrukturnät. Ökningen av denna kostnadspost kan även förklara varför det är mindre skillnad i TCO för de olika teknikalternativen. Totalkostnaderna i Typfall 3 Skog till industri (kort) presenteras i mer detalj i Tabell 15 i Bilaga 3.

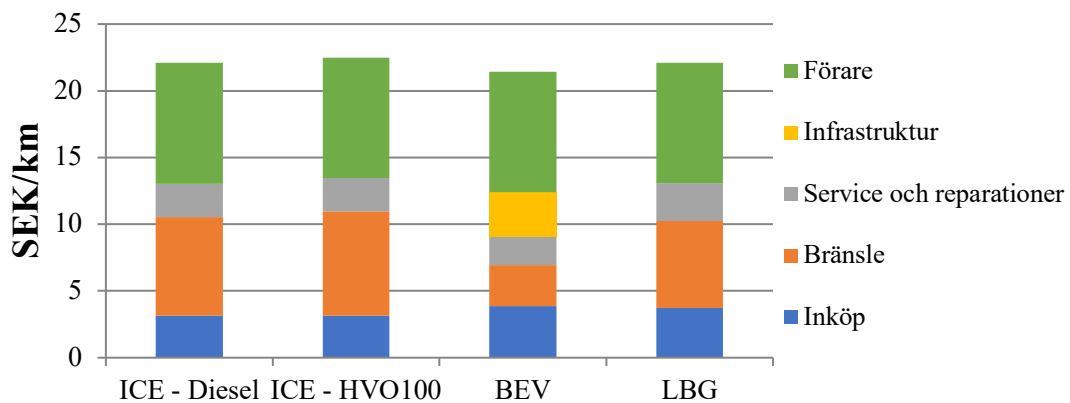


Figur 9: TCO Typfall 3 – Skog till industri (kort)

Skog till industri (medel)

I detta typflöde beräknas fordonen hinna köra maximalt ca 3.5 tur-och returresor per dygn. Detta har avrundats nedåt till 3 hela tur-och returresor för vidare beräkningar. Detta innebär ett transportarbete på ca 24 200 000 ton-km/år, vilket motsvarar godstransporter om ca 50 400 ton/år. Som i tidigare typflöde, Typfall 3 Skog till industri (kort), kan LBG-fordonets tankbehov grovt uppskattas till ca 2.9 ggr/dygn och det antas att LBG-fordonet hinner utföra dessa utan att det påverkar det totala antalet tur-och returresor. På samma sätt om i Typfall 3 Skog till industri (kort) bedöms behovet av laddinfrastruktur för BEV-fordonen bestå av en depå-laddare med 150 kW kapacitet samt två laddare om 350 kW för att täcka laddbehovet under lossning och matpaus. Därtill krävs det även att fordonet stannar extra under färden enkom för att ladda. Till detta antas att en 50 kW-laddare räcker för att täcka laddbehovet samt att fordonet stannar ca 30 min extra för att ladda under varje skift. Den tiden fordonet förlorar på att stanna reducerar det maximala antalet tur-och returresor till ca 3.3. Eftersom denna siffra avrundas nedåt påverkar det dock inte antalet hela tur-och returresor som fordonet hinner köra per dygn i denna rapporters kostnadsberäkningar. Transportarbetet som fordonen hinner utföra i detta typfall är därmed detsamma för alla teknikalternativ.

Likt Typfall 3 Skog till industri (kort), minskar skillnaden i kostnadsprestanda för de olika teknikalternativen genom att TCO:n för BEV-fordon ökar och de övriga minskar (se Figur 10). Detta kan på samma sätt förklaras genom att kostnadsposterna för Bränsle minskat medan de för Infrastruktur ökat. På grund av den längre körsträckan har bränslekostnaderna för de olika teknikalternativen minskat ytterligare med mellan 3% - 6% jämfört med Typfall Skog till industri (kort). Då kostnaderna för bränsle minskar proportionerligt med drivmedelspriserna är förändringarna något mer påtagliga för ICE-fordonen, något som får ICE-diesel att gå om LBG-fordon vad gäller kostnadsprestanda. Det bör dock noteras att skillnaden mellan teknikalternativen fortfarande är väldigt liten. För BEV-fordonen har kostnadsposten för laddinfrastruktur ökat och gått om Bränsle till att utgöra den tredje största kostnadsposten i BEV-fordonens TCO (15.3%). Totalkostnaderna i Typfall 3 Skog till industri (medel) presenteras i mer detalj i Tabell 16 i Bilaga 2.

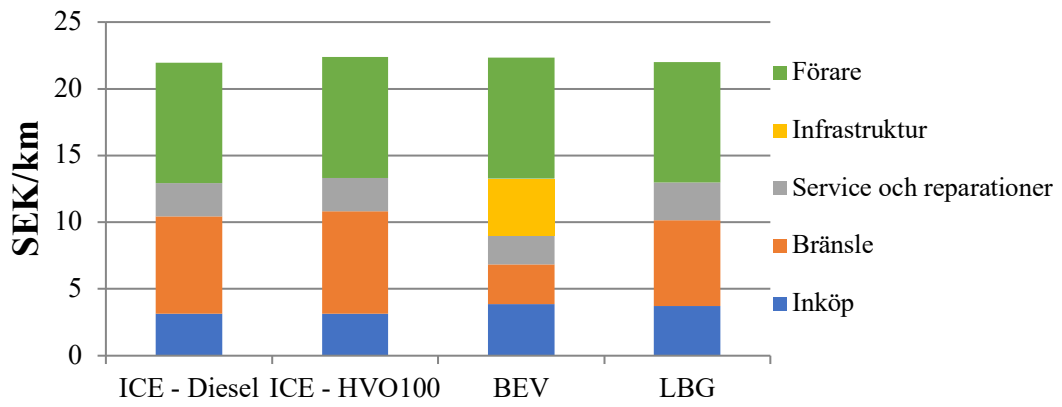


Figur 10. TCO Typfall 3 – Skog till industri (medel)

Skog till industri (lång)

Detta typfall karaktäriseras av det längsta avståndet, något som begränsar det maximala antalet tur-och returresor till ca 2.5/dygn. Återigen har detta avrundats neråt till två hela tur-och returresor för vidare beräkningar. Behovet av tankning för LBG-fordonen kan grovt uppskattas till ca 1.9 ggr/dygn och antas inte påverka antalet tur-och returresor. Likt tidigare typflöden mellan skog och industri bedöms behovet av laddinfrastruktur för BEV-fordonen uppgå till en depåladdare med 150 kW kapacitet, och två laddare om 350 kW för att ladda under lossning och matpauser. Utöver det kräver transporter längs detta typflöde att fordonen stannar 30 min extra per skift för att ladda. Det antas ske med en ytterligare laddare med kapacitet på 350 kW. Detta minskar det maximala antalet tur- och returresor till ca 2.4 st /dygn. Då detta enligt våra beräkningar inte påverkar antalet hela tur-och returresor antas alla teknikalternativ hinna utföra lika stort transportarbete i detta typfall. Givet ett genomsnittligt transportavstånd på 120 km enkelväg hinner respektive teknikalternativ att utföra ett transportarbete på ca 16 100 000 ton-km/år, vilket motsvarar ca 33 600 ton/år.

De resulterade totalkostnaderna för Typfall 3 Skog till industri (lång) presenteras i Figur 11. Då körsträckan är längre minskar återigen kostnadsposten för Bränsle jämfört med tidigare Typfall 3: Skog till industri (mellan). Mellan dessa typfall minskar bränslekostnaderna med mellan 2% - 4%. Ökningen i kostnadsposten Infrastruktur är den mest påtagliga (bortsett från ökningen mellan Typfall 1 och Typfall 2) med ca 30%. Detta har lett till att Infrastruktur efter förarkostnader utgör den näst största kostnadsposten för BEV-fordon. Det har även lett till att BEV-fordonets kostnadsprestanda försämrats till att bli det teknikalternativ med näst högst TCO, efter ICE-HVO100. De högsta totalkostnaderna följs därefter av LBG-fordon och ICE-diesel. Totalkostnaderna i Typfall 3 Skog till industri (lång) presenteras i mer detalj i Tabell 17 i Bilaga 2.



Figur 11. TCO Typfall 3 – Skog till industri (lång)

3.7 Jämförelse och diskussion

I Figur 12 jämförs totalkostnaderna för samtliga typfall och teknikalternativ. De presenteras i mer detalj i 6.2 Bilaga 2 – TCO-resultat.

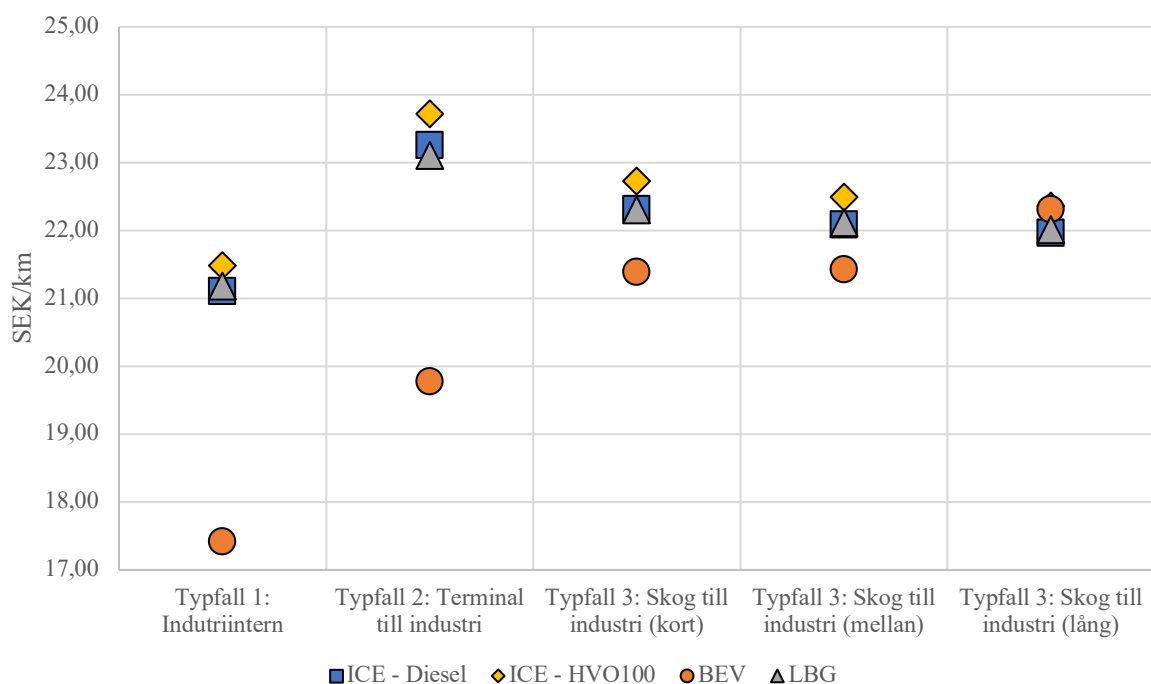
Av alla typfall kan de i genomsnitt högsta totalkostnaderna hittas i Typfall 3: Skog till industri (lång). Typfall 1: Industrierna transporter har de lägst genomsnittliga totalkostnaderna. BEV-fordon inom Typfall 1 uppskattas ha den lägsta totalkostnaden, vilken är cirka 17 % lägre än för ICE-diesel i samma typfall. I samtliga typfall visar ICE-HVO100 de högsta totalkostnaderna. Detta kan förklaras med att kostnadsbilderna för detta teknikalternativ är densamma som för ICE-diesel, förutom ett högre drivmedelspris. Denna skillnad är tillräcklig för att TCO även ska överstiga LBG-fordonens totalkostnader.

Kostnadsskillnaden mellan BEV-fordon och ICE-fordon minskar successivt ju längre och mer komplicerade transporter som antas under typfallen. De mest komplicerade transporterna, i Typfall 3: Skog till industri (lång), resulterar i att totalkostnaderna för BEV-fordon är ca högre 2 % jämfört med ICE-diesel. Detta kan förklaras av ökade infrastrukturkostnader för BEV-fordon. Det krävs teknikutveckling (t.ex. energitätare batterier, högre laddeffekter) och/eller lägre investeringskostnader (t.ex. lägre batterikostnader, billigare laddinfrastruktur) för att förbättra BEV-fordonens kostnader i detta typfall (se också känslighetsanalyser i Sektion 3.7.1). Med andra ord görs de största kostnadsmissiga vinsterna för de enklare flödena, eftersom infrastrukturen också är enklare för dessa fall. Detta stämmer in på slutsatserna från Nykvist & Olsson (2021): konkurrenskraften hos batterielektrofiering av tunga lastbilar handlar minst lika mycket om tillgång till laddinfrastruktur som om batteripris- och prestanda.

LBG-fordon visar sig ha väldigt liten skillnad i TCO jämfört med ICE-diesel under samtliga typfall (<0.1 %). Totalkostnaderna för LBG-fordon är endast lägre än ICE-diesel i Typfall 2 och Typfall 3: Skog till industri (kort). I resterande typfall är LBG-fordonens totalkostnader högre än ICE-diesel och märkbart högre än BEV-fordon. Detta är på grund av de högre kostnaderna för service och reparationer samt högre investeringskostnader. Det är därför svårt att motivera satsningar på LBG-fordon baserat på kostnadsgrunder.

Det bör noteras att dessa beräkningar inte tar hänsyn till krav på motoreffekt samt baseras på antaganden om att vissa fordonstyper som inte finns i dagsläget kommer bli kommersiella tillgängliga i framtiden. När det kommer till själva TCO-beräkningarna som presenteras i detta avsnitt finns också följande väsentliga aspekter som bör analyseras vidare:

- Det antas att ett fordon tar hela kostnaden för laddinfrastruktur, men i verkligheten fördelas dessa kostnader mellan flera fordon och flera aktörer. Detta innebär att kostnadsbilderna skulle kunna vara ännu bättre för BEV vid ett fall där en riktig fordonsflotta analyseras.
- I alla undersökta fall utgör förarkostnaderna den enskilt största kostnadsposten. Detta indikerar att automation skulle innebära stora vinster. Affärsmodeller och tekniska upplägg för sådana lösningar bör ytterligare utforskas.



Figur 12: Jämförelse av kostnadsprestandan av de undersökta teknikalternativen i respektive typfall

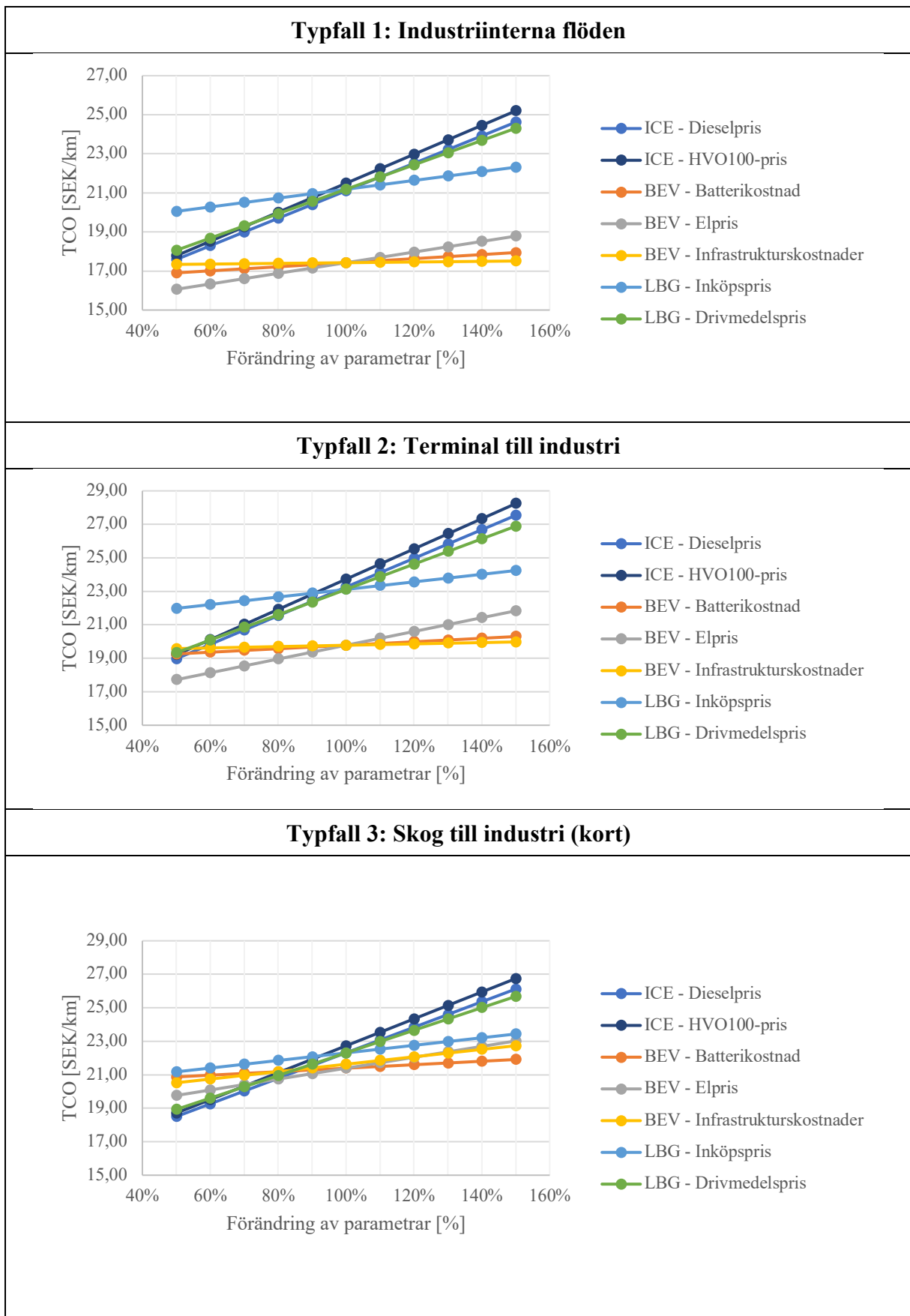
3.7.1 Känslighetsanalys

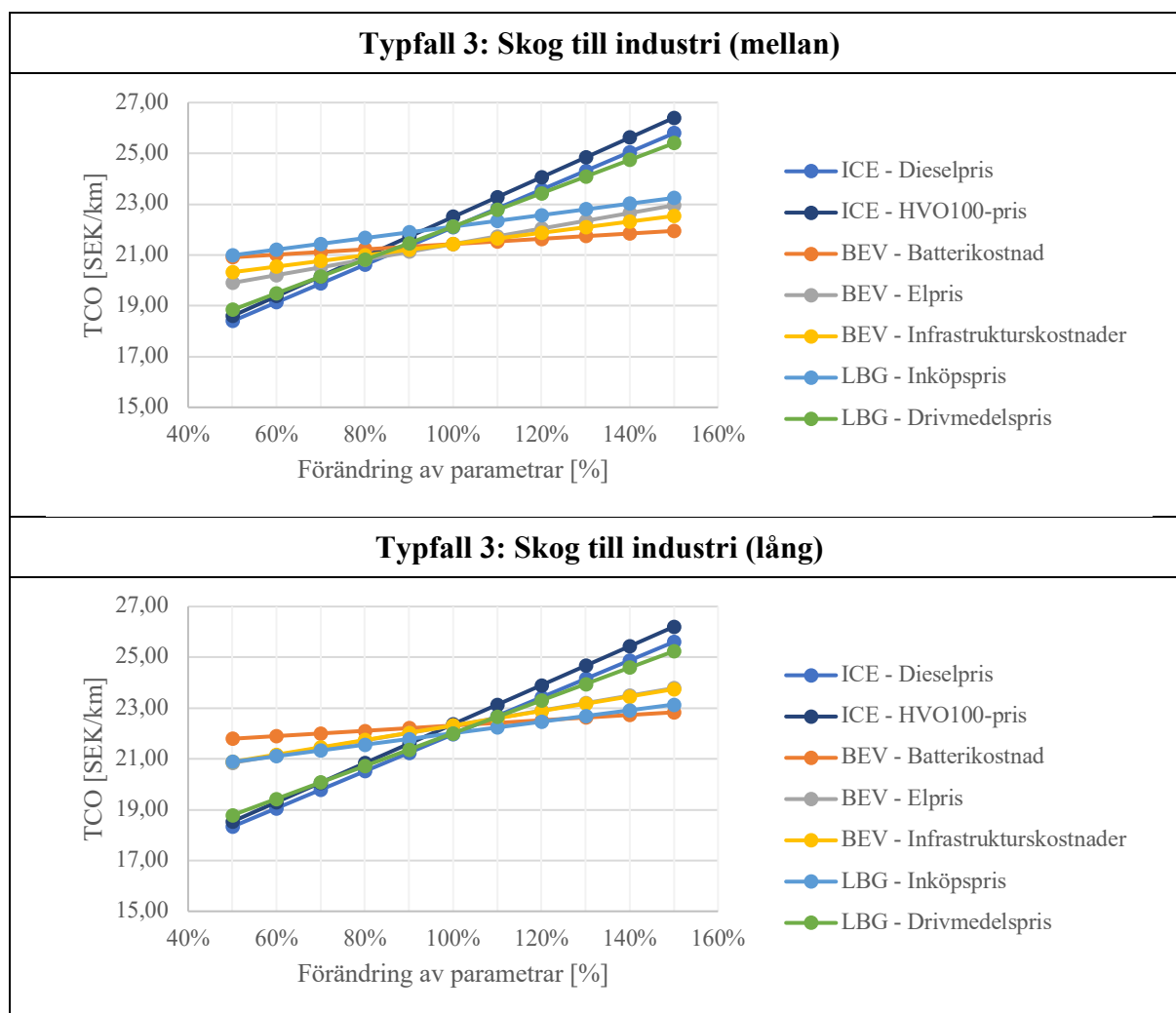
I Tabell 5 illustreras resultaten av känslighetsanalysen som tillämpades för kostnadskalkylen. Följande parametrar ansågs vara viktiga utifrån ett TCO-perspektiv och har därför inkluderats i känslighetsanalysen:

- För ICE-diesel: dieselpris
- För ICE-HVO100: priset på HVO100
- För BEV-fordon: batteripris, elpris, kostnad för laddinfrastruktur (exkl. elanslutningar)
- För LBG-fordon: priset på LBG, fordonens inköpspris

Totalkostnaderna är känsligare för förändringar av drivmedelspriser (antingen diesel, HVO100 eller LBG) än för förändringar i inköpspriset för LBG-fordon, elpris, batteripris eller infrastrukturkostnader för BEV-fordon. Detta förklaras av själva strukturen av TCO-kostnaden – för ICE-fordonen och LBG-fordon utgör bränslekostnaden en mycket större andel av de totala kostnaderna jämfört med BEV-fordon. För majoriteten av typfallen som visas i Tabell 5 behövs en minskning av dieselpriset med mellan 20 % och 50 % för att få en TCO som är lägre än TCO:n för BEV-fordon. På motsvarande sätt skulle en minskning av dieselpriset med mellan 10% och 50% behövas för att få en TCO som är lägre än för LBG-fordon. En sådan minskning av drivmedelspriser kan anses som osannolikt med hänsyn till såväl historiska trender som framtida prognoser. Avslutningsvis är TCO-beräkningen för BEV-fordon mindre känslig för förändrade parametrar än för de andra tre fordonstyperna (ICE-diesel, ICE-HVO100 och LBG-fordon). Elpriset verkar vara de parameter som mest sannolikt skulle kunna påverka kostnadsbildningen. Den stabila TCO-beräkningen innebär att osäkerheter kring satsningar på BEV-fordon därmed kan vara mindre, även om det finns andra risker och parametrar att ta hänsyn till. Dessa diskuteras i mer detalj i Sektion 4.

Tabell 5: Resultat av känslighetsanalysen för de viktigaste kostnadsaspekterna för alla typfall och fordonstyper.





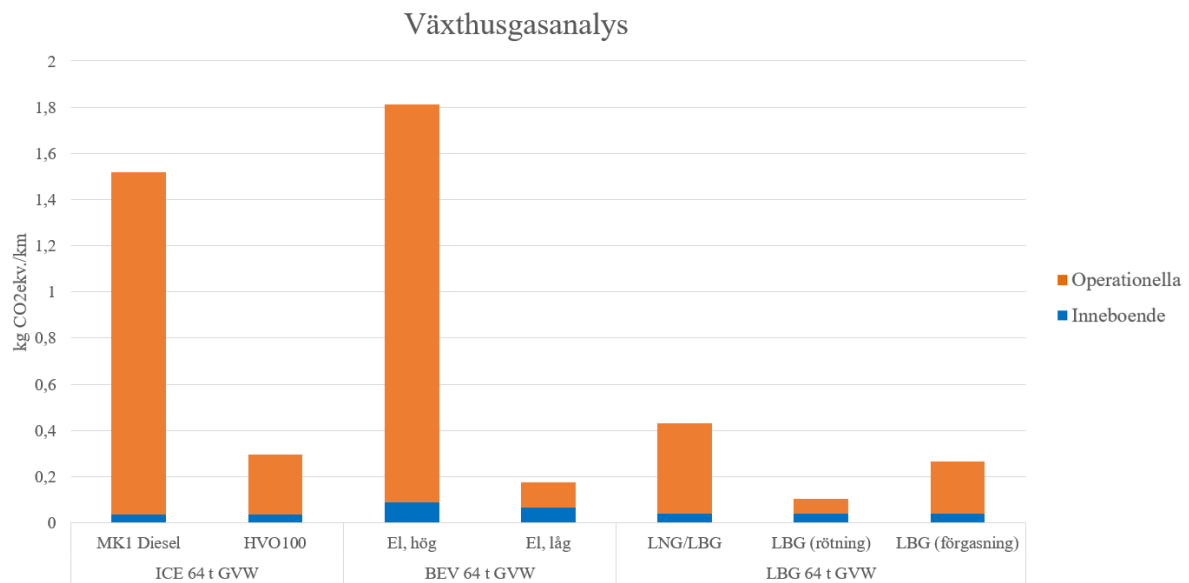
3.7.2 Växthusgasprestanda

De olika teknikalternativens växthusgasprestanda visas i Figur 13. I jämförelsen ingår inneboende utsläpp (från tillverkningen av själva fordonen) samt operationella utsläpp (kopplade till bilarnas energiförbrukning). Emissionsfaktorer (WTW) är hämtade för de olika drivmedlen/energibärare: MK1 diesel, HVO100, el från en nordisk och polsk elmix, flytande biogas som säljs på marknaden idag (LNG/LBG), ren LBG som framställs via rötning av gödsel och bioavfall och ren LBG som framställs genom förgasning av virkesavfall (skogsflis och/eller GROT). Då Sverige har ovanligt goda förutsättningar för elektrifiering i form av en elmix med låga utsläpp tas två fall för BEV-fordon med i analysen. Det ena fallet beräknas med batterier tillverkade i ett land med en fossilintensiv energimix och drivs av en mer fossilintensiv (polsk) elmix, se stapel "El, hög". I det andra fallet antas batterierna både tillverkas i ett land med en fossilfri energimix och drivs av en i huvudsakligen fossilfri elmix, såsom i Sverige, se stapel "El, låg". Resultaten av denna analys presenteras i mer detalj i Tabell 19 i Bilaga 2.

Resultaten visar betydande vinster gällande klimatprestanda vid byte från ICE-diesel till de förnybara alternativen. De största klimatvinsterna kan därmed göras genom ett skifte till LBG-fordon som körs på LBG framställd genom rötning (93% lägre utsläpp), följt av BEV-fordon, "El, låg" (89% lägre utsläpp), LBG-fordon som körs på LBG framställd genom förgasning (83% lägre utsläpp), ICE-fordon som körs på HVO100 (81% lägre utsläpp) och till sist LBG-fordon som körs på en blandning mellan LNG och LBG som finns på marknaden idag (72% lägre utsläpp). Samtidigt är det viktigt att beakta att elmixen

har en stor påverkan på BEV-fordonens klimatprestanda. I de fall då BEV-fordonen drivs med en mer fossilintensiv elmix resulterar det i en klimatprestanda som är ca 19% högre än ICE-diesel.

Både BEV-fordon och LBG-fordon har högre inneboende klimatprestanda jämfört med ICE-fordon, men de har samtidigt potential till en mycket lägre operationell växthusgasprestanda. Detta tyder på att det, utifrån ett klimatperspektiv lönar sig att köra de alternativa teknikerna längre sträckor för att utnyttja potentialen till lägre operationella utsläpp. Denna trend är motsatt till TCO-analysen som diskuterades i tidigare avsnitt, där transporter längs längre sträckor med BEV-fordon generellt leder till högre kostnader och lägre kostnadsbesparingar jämfört med ICE-diesel på grund av ökade infrastrukturkostnader.



Figur 13: Klimatprestandan hos de olika teknikalternativen med respektive energibärare.

4 Vad tycker aktörerna?

Det är viktigt att notera att de kvantitativa analyser som redovisats ovan inte ger den fulla bilden av huruvida ett visst alternativ är konkurrenskraftigt i en verklig applikation eller ej. Det är högst sannolikt att det finns avgörande faktorer som antingen ligger utanför analysen ovan eller som helt enkelt inte låter sig kvantifieras. Därför innehåller projektet också en kvalitativ analys baserad på en serie semistrukturerade intervjuer med 15 personer i olika nyckelroller i systemet i fråga (se Bilaga 2 för översikt över vilka typer av organisationer som representerades). Syftet var att få klarhet i faktorer som kan möjliggöra eller förhindra införandet av de olika teknikalternativen.

Värt att notera är att HVO100 endast analyserades översiktligt i den kvalitativa analysen, där huvudfokus istället låg på teknikalternativen LBG och batterielektrifiering. Anledningen är att vad gäller driftfaktorer, körmönster, tankning och dylikt så skiljer sig ett system baserat på HVO100 inte från det konventionella dieselbaserade systemet. Då några av intervjupersonerna utförligt diskuterade även elvägar och elektrifiering via bränsleceller (FCEV) så redogörs nedan för resonemang även kring dessa.

4.1 HVO100

De stora frågetecknen vad gäller HVO100 har inte med själva driften att göra – poängen med ett drop-in-bränsle är just att man ska kunna fortsätta använda befintliga system utan modifikationer – utan med bränsleförsörjningen och den tillhörande politiska diskussionen om biodrivmedel mer brett. I tillägg till frågeställningen om huruvida EU kommer fortsätta låta Sverige ha skattebefrielse för HVO100 (se avsnitt 3.2.1) finns också frågetecken kring framtida tillgång på bränsle. Sverige står idag för en stor andel av den globala användningen av HVO och flera intervjupersoner uttrycker tveksamheter kring den framtida tillgången på HVO då den internationella efterfrågan bedöms öka. En intervjuperson uttrycker det som *”...men jag är ju rädd för att det kommer bli för dyrt i framtiden och att det kommer bli en bristvara.”*. Vidare uttrycks tveksamheter kring bristande konkurrens på tillförselsidan vad gäller HVO i Sverige och särskilt tillgång på HVO i norra Sverige.

4.2 LBG – flytande biogas

Den minskade politiska risken relativt HVO100 vad gäller frågorna om skattebefrielse och EUs statsstödsregler uppges av intervjupersoner som ett viktigt skäl till ett ökat intresse för LBG. För såväl komprimerad som flytande biogas gäller att den till viss del är utblandad med fossil gas (naturgas). Detta ses av en intervjuperson som ett exempel på en fördel med LBG, dvs. att man kan utnyttja existerande kunskap och teknik som tagits fram för fossil gas.

Det bör dock nämnas att politiska osäkerheter finns vad gäller förutsättningarna till inhemsk produktion av biogas, då denna måste konkurrera mot importerad dansk biogas som har gynnsammare förhållanden i form av politiskt stöd. I intervjuerna betonas samtidigt vikten av att den inhemska produktionen av flytande biogas i framtiden ökar och att råvarubasen breddas till att även inkluderar skogliga råvaror, till skillnad från idag då majoriteten av produktionen sker från olika urbana avfallsströmmar. Det finansiella stöd som har getts till biogasproduktion via Klimatklivet uppges som mycket viktigt när det gäller möjliggörande av mer biogasproduktion, men en intervjuperson menar att det borde finnas potential för mer distribuerad småskalig produktion, inklusive uppgradering, något som det uppges finnas exempel på från jordbruk i Italien.

Förutom själva tillgången på biogas inom landet så pekar flera intervjupersoner också på tankinfrastrukturen som en nyckelfråga. Under senare år har det byggts allt fler tankstationer för flytande biogas och intervjupersoner menar att tillgången på tankinfrastruktur inte längre är så mycket av en flaskhals i södra Sverige, men att det alltså är väldigt glest med tankställen i den norra halvan av landet. Tankstationerna har höga investeringskostnader och kräver hög utnyttjandegrad för att vara ekonomiskt försvarbara. Flera intervjupersoner menar att staten bör ta ett större ansvar för utbyggnad av infrastruktur för gas, på ett sätt liknande hur man subventionerar utbyggnad av snabbbladdare för elbilar på platser där detta inte är gångbart rent kommersiellt.

På temat kan nämnas att det upprepade gånger påpekas att biogasbaserade lösningar behandlas styvmoderligt jämfört med elektrifiering, trots att några intervjupersoner menar att biogas kan ha väl så goda – eller i vissa fall till och med bättre – prestanda vad gäller minskad klimatpåverkan. Detta är något som även återspeglas i att intervjupersonerna är mindre insatta i LBG-fordon som teknikalternativ: *”Men jag vet faktiskt inte om jag kan svara på det. Just utifrån att jag känner att jag kan så lite om det...”*. En del intervjupersoner anser dock att det investeringsstöd som finns för inköp av lastbilar med god klimatprestanda och som inkluderar LBG är bättre utformat än exempelvis det tekniksufficianta stödet för elbussar. Samtidigt uttrycker en intervjuperson oro över att det anslagits för lite medel till miljölastbilspremierna och att medlen riskerar att ta slut i förtid. Det är oavsett viktigt att betona att den högre investeringskostnaden för LBG-lastbilar jämfört med dieselbaserade dito är en försvårande faktor, men i hur hög grad så är fallet beror också på de relativa nivåerna i bränslepris. Ett högre inköpspris kan till viss del kompenseras av en lägre bränslekostnad och vid det höga oljepriset som rådde fram till och med 2019 så var kostnaderna för LBG betydligt lägre per energienhet än diesel, men den oljeprisminskning som kom med covid-19-pandemin raderade i princip ut denna fördel.

Vad gäller LBG-lastbilarnas körmonster så liknar dessa i hög grad de hos konventionella diesellastbilar (inklusive sådana som går på HVO100), även om LBG-lastbilar enligt en av intervjupersonerna har ca 40% kortare räckvidd. Det bör dock betonas att detta ändå innebär en räckvidd på 100 mil eller mer. Det faktum att LBG-tankstationer är mer glest utspridda behöver inte innebära något hinder i sig men kräver något noggrannare planering av körrutter. En intervjuperson menar också att det finns förbättringspotential när det gäller det praktiska kring betalning på LBG-tankstationer, då detta upplevs som krångligare än på konventionella tankställen.

Förutom tankstationer så utgör service och underhåll också en viktig del av infrastruktur som måste finnas på plats och med personal som är specifikt utbildad för LBG-motorer. Just underhållet kan vara särskilt viktigt för LBG-motorer som enligt en av intervjupersonerna slits hårdare än en konventionell dieselmotor. Vad gäller drift i övrigt så menar de intervjupersoner som har erfarenhet av detta att det är mycket marginella skillnader mot konventionella diesellastbilar, även om det faktum att bränslet är nedkyllt till -160 grader kan medföra vissa utmaningar. Utan extern kylning så stiger gasen i temperatur vilket medför att den expanderar och måste tillåtas lämna tanken oavsett om fordonet används eller ej, så lastbilen bör ej stå stilla längre tid med fylld tank.

En fråga som kom upp i flera intervjuer rörde huruvida motorstyrkan i LBG-lastbilar skulle vara tillräcklig för de tyngsta skogstransporterna och de svåra förhållanden som ibland kan uppstå med snö, branta backar och dylikt. De största LBG-motorerna har idag runt 460 hästkrafter (hk) medan en intervjuperson menar att det skulle krävas uppemot 750 hk för att hantera de tyngre skogliga transporterna. Även om det inte bedöms finnas några direkta hinder för att ta fram sådana motorer så finns de inte tillgängliga idag. Det uttrycks också osäkerheter kring huruvida det är möjligt att ansluta t.ex. kranar eller annan kraftuttagsutrustning.

Förarmiljön uppges bli bättre än med diesel med mindre buller och vibrationer, medan tankmomentet av förarna uppges vara mer ovant, i alla fall i början. Även om tankningen går lika snabbt som, eller till och med snabbare, än en diesellastbil och man är mindre utsatt för inandning av flyktiga ämnen så kan det upplevas som obehagligt att hantera den kalla gasen.

4.3 Elektrifiering via batterier

När det gäller elektrifiering via batterier så är ett återkommande tema bland intervjupersonerna att man ser positivt på utvecklingen men att denna gått väldigt snabbt så det är svårt att veta vad som är möjligt eller ej. En intervjuperson uttrycker det som att batterilastbilar ”...har gått från omöjligt, till långt bort, till här redan nu på väldigt, väldigt kort tid” och att detta särskilt haft en betydande påverkan på synen på elvägar som framtidslösning.

Det noteras dock att batterilastbilar ännu är dyra som ett resultat av låg industrialiseringsgrad, och det finns bland intervjupersonerna överlag en tveksamhet till att elektrifiering via batterier är en heltäckande lösning för skogsindustrins transporter. På ett generellt plan noteras att en trend i skogsindustritransporter under senare år är att gå mot allt tyngre lastbilar för en bättre kostnadseffektivitet, och det uttrycks tvivel på att dylika system går att anpassa till batteridrift. Skogsindustritransporter är i huvudsak viktbegränsade och man ligger nära maxgränserna vad gäller tillåtna axeltryck. Vid en omställning till batterilastbilar uttrycker intervjupersonerna en osäkerhet kring huruvida batteriernas tyngd riskerar att resultera i minskad lastvikt. Elektrifiering via batterier skulle därmed, instinktivt, kunna kännas som ett steg tillbaka i utvecklingen.

Tveksamheterna gäller särskilt fallet skog-till-industri där en begränsad räckvidd kan vara problematisk om man kör mycket i glest bebyggda trakter på grusvägar eller snö och is. Minskad räckvidd under vintern som resultat av såväl sämre väglag som kalla temperaturer är en faktor som redan idag kräver uppskalning av fordonsflottan med diesellastbilar. Detta är något som lär spela en än större roll med batterilastbilar och då kan det vara svårt att ha god marginal för flexibilitet eller oförutsägarheter som kan uppstå ute i skogen. Ett annat frågetecken berör huruvida det är möjligt att implementera kranar och dylikt i batterilastbilar och hur dessa påverkar fordonens bränsleförbrukning och kraven som ställs på effektuttag och dimensionering av batteriet. Att skogsfordonen har en ojämn körcykel vad gäller effektuttag har väckt en osäkerhet kring just dimensioneringen av batteriet. Då batteriet bör vara dimensionerat för att klara de svåraste förhållandena kommer dess kapacitet inte utnyttjas optimalt, något som försvårar kostnadsbilden för batterifordon. Samtidigt påpekar vissa intervjupersoner att ett byte till en elektrisk drivlina skulle kunna möjliggöra att man drar nytta av bromsenergin samt möjliggöra drivning på fler axlar, även på fordonets släp, något som skulle ge positiv inverkan på fordonets bränsleekonomi och möjligen resultera i bättre precisionskörning.

I intervjuerna betonas det dock att skogstransporter innehåller många avståndsklasser och att det borde vara möjligt att offra räckvidd och undersöka möjligheterna till kortare transporter än skog-till-industri. Flera intervjupersoner ser att batterilastbilar i ett tidigt skede har störst möjligheter att implementeras i de transportflöden som går mellan fasta noder, där man kan sätta upp stråk med nödvändig laddinfrastruktur. Detta kopplar till ett problem med skog-till-industri som är att lastbilarna hela tiden hämtar virke på nya platser vilket gör att det kan bli svårt att ha tillgång till energitillförsel där den behövs. Å andra sidan menar vissa intervjupersoner att ett skifte till BEV-fordon i de kortare transporterna kan medföra svårigheter i form av högre krav på att planera körscheman. Det går heller inte nödvändigtvis ihop med hur transporter är uppköpta i dagsläget. Det skulle till exempel innebära att ett visst åkeri köps upp för ett specifikt sortiment, till en specifik mottagningsplats i en viss geografisk region, till skillnad från dagens system där befraktare kan köpa upp alla sina transporter i ett visst område från en

viss transportorganisation, alternativt att transporter kan köpas upp kopplat till en specifik avverkningsplats.

Detta kan innebära mer stelhet i transportsystemet och att det blir svårare att hantera störningar i systemet, vilket i sin tur skulle ställa högre krav på transportbeställaren. På ett liknande tema menar vissa intervjupersoner också att kontraktslängden mellan transportköpare och åkerier kan behöva förlängas för att åkerierna ska våga satsa på elektrifiering. I och med att batterilastbilar är kapitalintensiva så är det viktigt för åkeriet att veta att lastbilen kommer ha ett stort kapacitetsutnyttjande under relativt lång tid framöver.

Just laddinfrastrukturen är en fråga som återkommande ses som ett hinder och flera intervjupersoner menar att utrullning av denna måste ske synkroniserat med lansering av lastbilarna för att systemet ska fungera. Frågetecken finns kring vem som ska bygga och ansvara för laddinfrastrukturen, samt var den ska placeras. Därutöver finns osäkerheter kring vilka krav som kommer att ställas på elnätet och om kapaciteten räcker till. Överlag betonas också vikten av att se på batterielektrifiering mer som ett system än som en fråga om "batterilastbilar". Man menar att detta kan kräva ett skifte i tänkande och även nya affärsmodeller, där det kan behövas presentera helhetslösningar där man säljer inte bara lastbilen utan även inkluderar laddning och service för att minska risk och göra det enkelt för kunden att gå över till elektrifiering.

Flera intervjupersoner resonerar kring att batterilastbilar överlag kräver annorlunda körmonster. En intervjuperson menar att en lösning skulle kunna vara att man kan ladda under den obligatoriska vilotiden men att vilan troligen är för kort för att hinna ladda. Man menar också att det finns olika sätt att tänka kring elektrifiering: antingen stoppa in ett väldigt stort batteri som klarar kanske 60 miles räckvidd eller ha ett elvägssystem som möjliggör laddning under gång. Även batteribytten nämns som en potentiell lösning här.

Som nämndes tidigare finns det flera frågetecken kring hur laddinfrastrukturen ska organiseras, men det finns även mer praktiska frågetecken kring påverkan på elnätet, där en intervjuperson lyfter möjligheten att kombinera laddstationer med energilagring för att inte behöva så stark elanslutning. En annan intervjuperson nämner också möjligheten att ha elproduktion i form av solceller vid laddstationerna. En tredje lösning som nämns är att ha mobila laddstationer som flyttas runt utifrån varierande behov. Det påpekas också att även om det bör vara möjligt att ha laddning inne på t.ex. ett massabruk - som typiskt har en stark elnätsanslutning - så låter sig det inte göras i en handvändning att sätta upp en laddare utan det kan behöva dras flera kilometer med kabel för att få tillräckligt med kapacitet till rätt plats.

I diskussionen kring elektrifiering via batterier har temat automation kommit upp i flertalet intervjuer. Kombinationen av just automation och elektrifiering ses särskilt attraktivt då minskade utgifter för förare skulle kunna kompensera för BEV-fordonens högre investeringskostnader samt att eventuella merkostnader det innebär med ett stelare transportsystem. Automation skulle därtill kunna möjliggöra att fordonen är i drift dygnet runt, något som kan vara till fördel för laddningen också, då den kan spridas ut under en större del av dygnet. Vidare tros detta ha påverkan på förartjänstens utformning. Vissa intervjupersoner ser att förartjänsten kan komma att slås ihop med transportledartjänsten, något som kan göra yrket mer attraktivt.

4.4 Elektrifiering via bränsleceller

Som nämndes i avsnitt 3.2.2 så kan även fordon med vätgasbränsleceller betraktas som en form av elektrifiering. Drivlinan är elektrisk i den mening att det är ett batteri som är närmast själva elmotorn och att vätgasbränslecellen kan betraktas som en sorts räckviddsförlängare för batteriet. Dessutom kan

vätgasen tillverkas med hjälp av elektrolys där elektricitet används för att dela upp vatten i syrgas och vätgas. Detta är idag en mycket liten del av den totala vätgasproduktionen i världen men framtida strategier kring vätgas som energibärare inom t.ex. EU är i väldigt hög utsträckning inriktade på just denna produktionsrutt.

En fördel med vätgasbränsleceller som teknik för tunga skogstransporter är att man i betydligt högre grad än för batterialternativet skulle kunna replikera de körnönster som finns idag. En intervjuperson nämner att man med en bränslecellslastbil kan ha en räckvidd på 80–100 mil medan en batterilastbil har mindre än hälften av detta. Detta gör också att man inte lär behöva lika många tankstationer som kan krävas för system baserade enbart på batterilastbil utan att ett mindre antal lokala noder skulle kunna möta behovet. I jämförelse med batterilastbilar medgör elektrifiering via vätgasbränsleceller ett alternativ med högre energitäthet som inte förväntas inskränka fordonens nyttolast i samma utsträckning. De kan även vara bättre lämpade för fordon med kranar och andra energikrävande påbyggnader.

Tankningen av en bränslecellslastbil går ungefär lika snabbt som för en diesellastbil och man har också mindre problem än batterifordon med räckviddsförändringar vid t.ex. kall väderlek. När bränslecellen producerar el från vätgas så medför det betydande energiförluster i form av avgående värme, men denna värme kan - på motsvarande sätt som i en förbränningsmotor - vid kall väderlek nyttogöras för att värma upp förarhytten.

Dessa faktorer gör att flera intervjupersoner tror att bränslecellslastbilar kan komma att vara det bästa alternativet för de svåraste skog-till-industri-transporterna, särskilt just i de fall där det är gles med trafik och det kan vara svårt att få tillräckligt hög utnyttjandegrad på laddinfrastruktur. En intervjuperson förklarar det som att ”... *då räcker det att man bygger en del tankstationer för vätgas längs kusten, då behöver man inte ge sig in i... det blir billigare och enklare och då har man tillgång till hamnar och så vidare...*”. Vissa intervjupersoner menar även att det kan finnas synergier att just skogsindustrier, som ofta har egen elproduktion, kan lagra sin överskottsproduktion i form av vätgas som skulle kunna användas för fordonen.

Frågetecken kvarstår dock då det finns vare sig bränslecellslastbilar med rätt prestanda att köpa och inte heller någon infrastruktur för tankning. En intervjuperson pekar på att Volvo och Daimler tillsammans satsar på bränslecellslastbilar men att denna satsning inte kommer resultera i volymproduktion förrän efter 2025.

Vad gäller infrastrukturen så har intervjupersonerna olika tankar kring huruvida vätgasen ska produceras på plats eller skeppas in via fartyg, där det sistnämnda skulle kunna erbjuda synergier för industrier som ligger belägna vid hamnar. Produktion på plats via elektrolys ses ännu som för dyrt, men här finns möjligheter då EU satsar hårt på vätgas som en viktig komponent i klimatarbetet, för såväl transporter som för industri och som energilager.

En intervjuperson menar att det är mer naturligt för etablerade drivmedelsaktörer att arbeta med vätgas än med laddning och att det skulle kunna accelerera utbyggnaden då det också finns generösa EU-stöd att tillgå för detta syfte. Det är dock viktigt att notera att det inte bara är en fråga om finansiering utan det saknas ännu t.ex. standarder för tankning av vätgaslastbilar, något som skulle behöva komma på plats snarast för att möjliggöra expansionsplaner för vätgas.

4.5 Elektrifiering via elvägar

I avsnitt 3.2.2 lyfts elvägar och laddning under färd som ett sätt att tänka kring elektrifiering. Likt elektrifiering via batterier kan elektrifiering via elvägar förväntas leda till minskad flexibilitet i transportsystemet då fordonen mer eller mindre blir låsta till de sträckor där elväg är utbyggt. Lösningen förväntas även vara mer lämpat för transporter av till exempel färdigvaror längs de mer trafikerade europavägarna, då det kan finnas svårigheter med att bygga ut elvägar ut till skogen, särskilt med tanke på att avverkningsplatserna flyttas. Vissa intervjupersoner menar att tekniken för att ladda via elväg alltid kommer att kombineras i en dubbel drivlina, antingen med batterier eller med bränsleceller, då man inte kan bygga elvägar längs fordons hela körsträcka. Det kan även ses som att de två tekniklösningarna kompletterar varandra. Om fordonen kan ladda under färd ställer det lägre krav på batteriernas räckvidd, något som kan minska inskränkandet på nyttolast hos fordonen jämfört med endast batteridrift.

Generellt ses utbyggnaden av elvägar bli en samhällsekonomisk utmaning. För att kunna utnyttja möjligheterna med en minskad batterikapacitet krävs ett välutbyggt infrastrukturnät. Det kräver även att fordonen har större delen av sin körsträcka längs vägnätet för att infrastrukturen ska bli ekonomiskt försvarbar, samt att infrastrukturen byggs ut längs sträckor med ett högt trafikflöde. Detta är något som kan bli en utmaning i ett land som Sverige, med stora avstånd, liten population och därmed inte så mycket lastbilstrafik i jämförelse med andra länder. Osäkerheterna med elvägar uttrycks av en intervjuperson som: *”Jag skulle säga att elvägen har en hel del utmaningar, speciellt i det korta tidsperspektivet. Och det beror mest på att vi vet inte. Vi vet inte om marknaden kommer att anamma den här tekniken.”* I jämförelse med stationär laddning och bränsleceller ligger elvägar dessutom längre bak i utvecklingen vad gäller standardisering och juridiska utmaningar som kvarstår.

Temaområde	HVO 100	LBG	El - batterier	El - bränsleceller	El - elvägar
Fordonsteknik	Lätt, drop-in	Högre motorstyrkor behövs för skogsindustrin	Osäker anpassningsgrad Bättre precisionskörning Dyrare teknik Prestanda under kallt väder	Risk att det inte finns kommersiellt tillgängliga fordon och infrastruktur	
Infrastruktur	Ingen ny infrastruktur behövs	Tankinfrastruktur en nyckelfråga, särskilt i norra Sverige	Oklar ansvarsfördelning Placering av laddinfrastruktur bör optimeras	Mindre infrastruktur behövs jämfört med batteridrift	Utbyggnad av infrastruktur en samhällsekonomisk utmaning
Drift	Påverkas inte	Mindre buller & vibrationer Körmonster påverkas inte Utbildningsbehov underhåll	Risk för minskad lastvikt Helhetslösningar behövs Annorlunda körmonster Möjligheter med automation	Högre replikering av dagens körmonster Kunskapsöverföring från drivmedelsaktörer	Minskad flexibilitet Kan användas som kompletterande lösning till batterier eller bränsleceller
Tillgång	Frågor kring framtida tillgång, särskilt i norra Sverige	Skogsvaror skulle kunna vara en ytterligare produktionsström	Risk med kapacitetsbrist i elnätet Alternativa lösningar t.ex. batterilager, mobila laddare	Koppling till industrier som producerar vätgas	
Regelverk, styrmedel och incitament	Pris kopplat till fortsatt skattebefrielse (osäkerhet)	Konkurrens till inhemsk biogas, men mindre politisk risk Nya incitament behövs		Standarder saknas	

Figur 14. Översikt över olika typer av nyckelfaktorer som framkom i intervjuerna för de analyserade teknikalternativen.

5 Slutsatser och diskussion

5.1 Sammanfattning

Omställning till fossilfria teknikalternativ är en av de viktigaste utmaningarna att lösa när det gäller att minska de globala växthusutsläppen från tunga transporter i linje med vad som krävs för att nå målsättningar inom den globala klimatpolitiken (IEA, 2021). Det är också ett prioriteringsområde inom EU där investeringar på smarta, hållbara, digitaliserade och resilienta transportsystem kommer främjas genom den Gröna Givens (eng. Green Deal) (European Commission, 2020). Men även om ambitionerna är stora och viktiga så är tiden knapp och det är viktigt att så snart som möjligt börja implementera skalbara koncept som kan möjliggöra tunga transporter i samtliga delar av samhället.

I detta projekt har vi utvärderat olika alternativ som kan möjliggöra helt fossilfria lastbilstransporter inom skogsindustrin och med särskilt fokus på HVO100, flytande biogas (LBG) och elektrifiering via batterier. Vår analys har bestått av två huvuddelar: en kvantitativ del och en kvalitativ del. Den senare har även berört elektrifiering via bränsleceller samt elvägar.

Resultaten från den kvantitativa analysen indikerar att elektrifiering via batteri faller bäst ut vad gäller kostnader för samtliga typtransportfall förutom det längsta typtransportfallet från avlägg till industri, där flytande biogas presterar bäst. Det är dock viktigt i sammanhanget att snabba förändringar i nyckeldata skapar osäkerheter framförallt när det gäller batterialternativet där kostnader för såväl batterier som laddinfrastruktur utvecklas snabbt. Vad gäller klimatpåverkan faller LBG ut bäst om gasen helt produceras från rötning, medan batterielektrifiering har mindre utsläpp än LBG producerad via förgasning.

Den kvalitativa analysen, som sammanfattas i Figur 14 på föregående sida, har inriktats på att försöka förstå mer systemiska skillnader i de olika alternativen jämfört med dagens system. Med HVO100 kan nuvarande system i allt väsentligt behållas, medan LBG och framförallt batterielektrifiering medför större krav på anpassning av systemet. Detta gäller såväl körmönster, där den kortare räckvidden med batterilastbilar får påverkan, som infrastruktur. Både LBG och batterielektrifiering kräver uppbyggnad av separat infrastruktur för tankning/laddning och viktiga frågor kvarstår att analysera kring detta.

5.2 Full elektrifiering utmanande i skogssektorn

Med tanke på den snabba utvecklingen inom olika typer av elektrifiering är det värt att diskutera detta område mer utförligt, då detta alternativ erbjuder stora möjligheter men också kan kräva betydande systemiska förändringar. Resultaten som presenterades i tidigare avsnitt bidrar till ökad förståelse kring hur godstransporter funkar för skogsindustri och vilka förändringar som borde implementeras för att möjliggöra elektrifiering. Beroende på typen av elektrifiering (batteri, vätgas, elväg) behövs det åtgärder i olika delar av systemet för att säkerställa smidig drift. Ren batteridrift skulle innebära förändringar i körmönster som inte på samma sätt skulle krävas med vätgas, men vätgas har betydligt sämre verkningsgrad från el till drift, saknar kommersialiseringsgraden och kräver omfattande satsningar på infrastruktur för hållbar produktion från förnybara resurser.

Genom detta projekt samlades en rad olika aktörer inom branschen som bidrog med kunskap om hur transporter planeras. Det är tydligt genom projektets resultat att skogsindustrins behov av tunga transporter oftast inte kan uppfyllas med de tillgängliga lösningarna för elektrifiering på grund av tre huvudsakliga faktorer:

- i. **Mycket tung lastvikt** som skulle behöva begränsas om nuvarande körmönster behålls. Detta skulle leda till högre krav på antal turer för befintliga lastbilar och/eller inköp av nya fordon samt mer frekventa och kortare laddningstillfällen. Etablering av laddinfrastruktur blir således väsentlig för lyckad elektrifiering och begränsning av batteristorleken. Mindre batteristorlek leder i sin tur även till minskade kostnader för fordonens inköp och lägre miljöpåverkan.
- ii. **Oförutsägbara körmönster** i vissa fall eftersom avverkningsplatserna är på många olika platser . Detta innebär att det är svårare att dimensionera batterier och planera laddningstillfällen, vilket leder naturligt till ett svårare elektrifieringsfall. Med koppling till punkt (i) ovan skulle bättre förståelse och dynamisk anpassning av körmönster kunna möjliggöra mer kostnads- och driftseffektiv etablering av laddinfrastruktur för att lösa utmaningen.
- iii. **Stor betydelse av möjligheten att anpassa fordonen.** Till exempel behövs det kran i flera applikationer och elektriska fordon som kan anpassas till sådana förhållanden finns inte i dagsläget. Det finns osäkerheter för både BEV och LBG kring huruvida motorstyrkan är tillräckligt hög för att möjliggöra de tyngsta transporterna. Möjligheterna utifrån ett fordonstekniskt perspektiv bör ytterligare utredas, men det blir egentligen marknadsförutsättningar som kommer avgöra vilka lösningar skulle kunna kommersialiseras.

Projektet belyser dessa tre aspekter både kvantitativt genom TCO-beräkningar och kvalitativt genom intervjuer med experter. Genom detta tillvägagångssätt bidrog projektet med ökad förståelse för de specifika förutsättningar som skogsindustrin måste bemöta för en lyckad elektrifiering. Resultaten av TCO-beräkningen visar att för de kortare, mer förutsägbara, transporterna mellan industrier är det redan idag ekonomiskt fördelaktigt att elektrifiera. Ju högre inslag av körmönster med långa transporter från skog till industri, desto svårare blir elektrifiering men desto viktigare blir också förarnas beteende. Förarperspektivet och rollen för automation när det gäller att möjliggöra elektrifiering och minska associerade kostnader bör således ytterligare utforskas.

En viktig slutsats som kan dras av analysen är att skogsnäringens transporter har en del specifika förutsättningar som kräver skräddarsydda strategier för att elektrifiering ska fungera fullt ut. Driftmässiga förutsättningar, tekniska lösningar och ekonomiska aspekter kopplade till elektrifierade godstransporter för skogsindustrier skiljer sig från vad som gäller för exempelvis urbana godstransporter eller långväga logistikkedjor längs det statliga vägnätet. Etablering av laddinfrastruktur tillräckligt för att täcka hela virkesupptagningsområdet för svensk skogsindustri lär vara en utmanande lösning med troligtvis höga kostnader.

De skogsspecifika utmaningarna kan dock generaliseras till ett allmänt behov av att mer noggrant analysera specifika användningsfall för elektrifierade godstransporter. Detta projekt är bland de första internationellt som fokuserar på ett specifikt marknadssegment för elektrifierade godstransporter och för en industri som är strategiskt viktigt för Sverige. Flera sådana projekt behövs för att utforska synergier mellan olika industrier, typer av transporter och tekniker. Pågående och framtida forskningsprojekt samt statliga utredningar som handlar om elektrifiering av godstransporter bör utreda olika användningsfall i mer detalj men även utforska hur användningsfallen skulle kunna kopplas synergistiskt. Dessutom är kopplingen till andra industrier förutom skogsindustrin viktig utifrån ett perspektiv av bränsletillgång. Detta är aktuellt för både el, vätgas och LBG enligt studiens resultat. Nya försörjningskedjor för förnybara bränslen inom eller mellan industrier skulle behövas och här bör finnas kopplingar till pågående strategiska satsningar och forskningsprojekt inom energiområdet.

Finansiering av demonstrationsprojekt och utveckling av fordon som anpassas till mycket höga laster bör främjas, inte bara för skogsindustriella applikationer utan generellt för industrier som har sektorspecifika förutsättningar och krav. Det är viktigt att utforska vilka andra industrier som skulle kunna ha nytta av detta projekts resultat samt diskutera med fordonstillverkare vad som är tekniskt möjligt att göras och när. Hög anpassningsgrad av fordonen identifierades som mycket viktig i projektet, men har ännu utforskats i tämligen liten grad. Anpassningsbara lösningar efterfrågas av aktörer, men det pekas samtidigt på att standarder saknas i dagsläget. Balansen mellan anpassningsgraden och standardiseringsnivån bör vidare utforskas med hjälp av fordonsindustrin och andra berörda aktörer.

5.3 Metodologiska reflektioner

Det är viktigt att betona att det finns osäkerheter i metoden både när det kommer till den kvantitativa och den kvalitativa analysen. När det gäller den kvantitativa delen har bland annat behovet av laddinfrastrukturen generaliserats, både när det kommer till kapacitetsbehov och placering. I analysen uppskattades behovet för att möta BEV-fordonens energiförbrukning under 4-timmarsperioder över dygnet och samtidigt förhålla sig till de övre och undre gränserna för batteriets laddningsnivå, tillsammans med den logiska följden för laddning beskrivet i avsnitt 3.5.2. I praktiken kan det skilja sig väldigt mycket beroende på hur fordonens körcykler och rutter ser ut, och även vilken kapacitet som finns tillgänglig i det närliggande elnätet. Analysen förutsätter även att det är möjligt att placera laddare där lossning sker, samt att det alltid finns truckar tillgängliga för lossning av fordonens gods. I verkligheten täcker industriområdena stora ytor och det kan vara långt från virkeslagren till närmsta anslutningspunkt inne på industriområdet. Samtidigt kan fordonen behöva sköta lossningen själva med egen kran när det är högt tryck inne på industrierna. Att ställa om till en fordonsflotta med fler BEV-fordon skulle därmed kunna ställa högre krav på att det finns tillräcklig avlastningskapacitet på industrierna. Andra faktorer som kan försvåra laddinfrastrukturpusslet är regelverk och säkerhet, rörande till exempel huruvida laddning är tillåtet medan fordonet lossar eller om det är tillåtet att installera laddare på önskad plats på industriområdet. Som tidigare nämnts har analysen inte tagit hänsyn till krav på motoreffekt på BEV-fordon eller LBG-fordon då skogsfordon med dessa drivlinor inte finns att köpa idag. Detta leder också till osäkerheter i kostnadsbilden för dessa teknikalternativ när det kommer till såväl inköspriser som kostnader för service och reparation.

För den kvalitativa analysen erhöles påskrivna medgivandeblanketter från 13 av 15 intervjukandidater, något som ledde till att intervjumaterialet för de två återstående inte inkluderats i rapporten. Vid bearbetningen av intervjumaterialet kodades insamlade data av en forskare. Bearbetningen och klassificeringen av intervjumaterialet kunde ha gjorts av två forskare för en mer robust och enhetlig analys.

5.4 Resultatens betydelse

Flera skogsindustriella bolag har redan tagit initiativ kring att ställa om hela sin verksamhet till fossilfrihet. Men även om intresset finns råder det stora osäkerheter kring de olika tekniklösningarna, något som leder till en hämmad investeringsvilja. I dagsläget verkar det saknas en tydlighet i marknaden om vilken tekniklösning som kommer bli viktigast. Att investera i ett visst teknikalternativ blir därmed en risk för såväl transportköpare som för distributörer av drivmedel när respektive teknikalternativ fortfarande utgör en så liten del av marknaden och infrastrukturen inte är etablerad. Resultaten från intervjuerna visar att det inte finns en enskild tydlig tekniklösning som kan ersätta hela dagens system. Att gå från ett teknikalternativ till ett mer komplext system med flera olika alternativ som är lämpade för olika applikationer kan försvåra de, redan idag, hårda krav som ställs på logistiken. Därtill är det oklart hur andrahandsvärdet på fordonen kommer påverkas.

Projektet har identifierat vilka typfall som vore de mest fördelaktiga att först investera i utifrån ett kostnadsmässigt perspektiv. Dessa resultat kan användas som en bas för att utforma incitament för omställning till nya fordonsteknik och infrastruktur. Förutsägbara transportflöden mellan fasta noder, som ställer lägre krav på ett utbrett infrastrukturnät, har belysts som lämpliga för att ställa om till elektrifiering i ett tidigt skede, något som framkommit i både den kvantitativa och kvalitativa analysen. Flisbilar skulle då kunna vara ett tidigt fall att prova då man ej behöver någon kran eller andra speciella anpassningar av befintliga fordonstekniker. Transporter för leveranser av flis till värmeverk som ligger i urbana miljöer och där det också ibland kan finnas biogas i närheten t.ex. vid reningsverk kan vara särskilt intressant för LBG-fordon.

Som ett steg för att realisera fossilfria transporter i skogssektorn bör batterielektrifiering kunna testas i konkreta demo- och pilotprojekt på såväl industri-interna som terminaltransporter. Viktigt är dock att man då inte bara analyserar tekniska prestanda kring själva lastbilen utan även laddningssystem, elnätsinfrastrukturens utformning, aktörssamverkan samt nya affärsmodeller. Batterielektrifiering för skog-till-industri är mer komplicerat då detta är transporter som till skillnad från de två övriga ej går punkt-till-punkt utan ingår i ett intrikat system av transporter. Här bör djupare analyser göras av t.ex. ett eller flera industriers virkesförsörjningssystem, förslagsvis över ett helt år, för att se om/hur detta kan anpassas till de ändrade körmonster som krävs för elektrifiering.

Vad gäller mer övergripande frågor så är den generella bilden från intervjuerna att det är ett utmanande läge för såväl transportköpare som åkerier gällande olika teknikers mognadsgrad, politiska status och utvecklingsbana framöver. En intervjuad person nämner att det hittills har varit ett rätt enkelt läge tekniskt sett i att diesellastbilar har gällt för allt, men att man i framtiden kanske ser att man har mer av en portföljlösning. där olika tekniker används för olika ändamål och där val av teknik optimeras dynamiskt beroende på behovet för dagen. Här menar man att dieselmotorn kan ha en roll även på längre sikt som en reservlösning. Det bör således noteras att en diskussion kring portföljlösningar redan finns inom branschen och särskilt gällande godstransporter. Dessa lösningar bör utvecklas med input av de som är ansvariga för den dagliga driften, inte minst förarna, för att få driftoptimala lösningar i marknaden. Med andra ord bör utförare av transporterna närmare inkluderas i nästa steg.

En återkommande observation är också att skiftet till mer genomgripande förändringar av teknik som till LBG och särskilt elektrifiering lär behöva ske parallellt med ett skifte i affärsmodeller. Hinder kan vara att kunder ofta efterfrågar miljövänliga transportlösningar men att dessa sällan är villiga att betala extra för den eventuella merkostnad detta kan medföra, särskilt under en övergångstid innan tekniker hunnit skala och gå ned i kostnad. För att sänka tröskeln för att våga investera välkomnas därmed initiativ som underlättar för de som går före. Fortsatta investeringsstöd för inköp av fordon, stöd till utbyggnad av infrastruktur och koldioxidkrav har lyfts som viktiga delar i omställningen. Utöver det ser branschen gärna incitament för att uppmuntra användningen av tekniken och för att minimera påverkan på logistikmönstren. Bland annat ges förslag om att tillåta högre totalvikt för fossilfria lastbilar, för att kompensera för minskat tonnage, samt lösare krav på kör- och vilotider för fossilfria lastbilar, för att underlätta ruttplanering med laddning. Ansvariga myndigheters perspektiv om dessa förslag bör även utforskas i framtida projekt.

Även om det saknas en tydlig riktning för vilka tekniklösningar som kommer att öka är tillgången till infrastruktur en viktig del av omställningen, oavsett lösning. Tillståndprocesser är en allmän barriär för att bygga ut infrastrukturen. Dess utbyggnad kräver stora investeringar med lång tidshorisont som därmed bör påbörjas snarast. Samtidigt poängteras det av aktörerna att infrastrukturen och de nya fordonen bör komma parallellt, något som beskrivits som *"...ett pussel där allt ska lösas samtidigt."* Den generella utmaningen ligger i att bygga upp en infrastruktur i ett läge när fordonen ännu utgör en

liten marknad, samtidigt som det är svårt för marknaden att växa när den tillgängliga infrastrukturen är begränsad. Då transporter mellan skog och industri ofta sker i geografier med låg befolkningstäthet, och där avverkningsplatserna hela tiden byter plats blir det en ännu större utmaning att bygga infrastruktur med hög utnyttjandegrad och är ekonomiskt försvarbar, samt att lokalisera var ladd/tankstationerna bör placeras. Detta gäller i synnerhet ifall infrastruktur för flera olika teknikalternativ ska byggas parallellt.

En avslutande observation är att även om aktörerna har god insikt i sina egna respektive kunskapsområden verkar det råda vissa kunskapsluckor aktörer emellan. Skogsindustrierna har begränsad insikt i de olika teknikalternativens möjligheter och begränsningar för just skogsapplikationer, representanter för de olika tekniklösningarna samt infrastrukturaktörerna har inte nödvändigtvis så djup insikt i de krav som ställs på skogstransporter och representanter från fordonsindustrin hade haft fördel av en bättre förståelse för transporters ägandestruktur i skogssektorn. I övrigt betonas chaufförerna som en nyckelroll i omställningen. Omställningen till fossilfria transporter förväntas ha stor påverkan på förarrollen och ställa höga krav på förändrat beteende för att förhålla sig till tekniklösningarna. Detta kan vara i form av nya sätt att tanka eller ladda fordonen, annorlunda körmönster kopplat till tillgången till tank- och laddinfrastruktur, samt tillit till de nya tekniklösningarna. Oavsett val av lösning är det därför avgörande att dessa involveras i omställningsprocessen⁷.

Teknikskiftet öppnar upp möjligheter för ett närmre samarbete aktörer emellan för att hitta strategiska noder för uppbyggnaden av infrastruktur, för att förstå hur dessa teknikalternativ kan kombineras, utformas och anpassas för just skogstransporter, samt för att förstå hur dagens komplexa transportsystem skulle kunna anpassas för att utnyttja tekniklösningarna på ett optimalt sätt. Detta kräver aktörsöverskridande dialoger i tidiga skeden av processen. Det kan vara en fördel att göra det i Sverige, med en etablerad skogsindustri och en stark arena för teknikutveckling för fordon.

⁷ Ett konsortium som leds av SEI kommer i januari 2022 att påbörja ett projekt finansierat av forskningsrådet Forte inriktat på att undersöka hur förarrollen påverkas av klimatomställning inom transportsektorn.

Referenslista

- Asmoarp, V., Davidsson, A., & Gustavsson, O. (2020). *Skogsbrukets vägtransporter 2018* (Arbetsrapport 1043-2020). Skogforsk.
https://www.skogforsk.se/cd_20200326145316/contentassets/60da69cdf2144637a4d659d6f7df96fd/arbetsrapport-1043-2020.pdf
- Björheden, R. (2019). *Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan*. Skogforsk.
https://www.skogforsk.se/cd_20190523090341/contentassets/4b4b423402784d658204a7784723637b/det-svenska-skogsbrukets-klimatpaverkan.pdf
- Brynolf, S., Taljegard, M., Grahn, 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>
- Burnham, A., Gohlke, D., Rush, L., Stephens, T., Zhou, Y., Delucchi, M. A., Birky, A., Hunter, C., Lin, Z., & Ou, S. (2021). *Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains*. Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).
- Einride. (2020). *Swedish forest: Strategic assessment*.
- Emilsson, E., & Dahllöf, L. (2019). *Lithium-Ion Vehicle Battery Production* (C 444; s. 47). IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.
<https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf>
- Energimyndigheten. (2020a). *Övervakningsrapport avseende skattereduktion för flytande biodrivmedel under perioden januari till och med juni 2020*. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=149095>
- Energimyndigheten. (2020b). *Drivmedel 2019—Redovisning av rapporterade utgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten* (ER 2020:26). Statens energimyndighet. https://www.energimyndigheten.se/globalassets/nyheter/2020/er-2020_26-drivmedel-2019.pdf
- Eriksson, G., Holmér, G., Myhr, A., Ramstedt, L., & Tilegrim, J. (2019). *Styrmedel för tunga miljövänliga lastbilar* (Rapport 2019:2). Trafikanalys.

https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2019/rapport-2019_2-styrmedel-for-tunga-miljovanliga-lastbilar.pdf

European Commission. (2020). *A fundamental transport transformation* [Text]. European Commission - European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_2329

European Environment Agency. (2021, juni 11). *Data Visualization—Greenhouse gas emission intensity of electricity generation* [Data Visualization]. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-8#tab-googlechartid_googlechartid_chart_111_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_date%22%3A%5B2019%5D%7D%7D

Geels, F. W. (2005). Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 72(6), 681–696. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.08.014>

Gnann, T., Funke, S., Jakobsson, N., Plötz, P., Sprei, F., & Bennehag, A. (2018). Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 314–329. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.03.004>

Green Car Congress. (2007, augusti 29). Volvo Demonstrates Trucks Running on Seven Different Renewable Fuels; Evaluates the Fuels. *Green Car Congress*. <https://www.greencarcongress.com/2007/08/volvo-demonstra.html>

Gustavsson, O. (2020). *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn – kartläggning av fallstudieobjekt* [Intern rapport].

Hall, D., & Lutsey, N. (2019). *Estimating the infrastructure needs and costs for the launch of zero-emission trucks* [Technical Report]. The International Council on Clean Transportation. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17010.86724>

Harlow, J. E., Ma, X., Li, J., Logan, E., Liu, Y., Zhang, N., Ma, L., Glazier, S. L., Cormier, M. M. E., Genovese, M., Buteau, S., Cameron, A., Stark, J. E., & Dahn, J. R. (2019). A Wide Range of Testing Results on an Excellent Lithium-Ion Cell Chemistry to be used as Benchmarks for New Battery Technologies. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(13), A3031. <https://doi.org/10.1149/2.0981913jes>

- Hoekstra, A. (2019). The Underestimated Potential of Battery Electric Vehicles to Reduce Emissions. *Joule*, 3(6), 1412–1414. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.06.002>
- Holmgren, K., Takman, J., Vierth, I., Heyne, S., Ekström, M., Fröberg, M., Johansson, M., Karlsson, P.-A., & Petrén, O. (2021). *KNOGA. Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg—Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer* (FDOS 12:2021; s. 152). https://f3centre.se/app/uploads/FDOS-12-2021_P48353-1_SR_210503.pdf
- Hunhammar, S., Pucher, M., Jernbäcker, E., Lindblom, H., Jonsson, L., & Andersson, P. (2021). *I en värld som ställer om—Sverige utan fossila drivmedel 2040* (SOU 2021:48; s. 391). Statens offentliga utredningar. https://www.regeringen.se/49bb6c/contentassets/3c895fca1e1641ff8591e6ec1d6ad996/sou_2021_48_del_1.pdf
- IEA. (2021). *Net Zero by 2050—A roadmap for the energy sector*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- Jakobsson, J., & Mattsson, P. (2020, juli 28). Biodrivmedel som HVO100 och E85 hotas av skattechock. *Dagens Industri*. <https://www.di.se/hallbart-naringsliv/skattechock-hotar-drivmedlet-kan-bli-6-kronor-dyrare-per-liter/>
- Johansson, F., & von Hofsten, H. (2017). *HCT-kalkyl-en interaktiv kalkylmodell för att jämföra lastbilsstorlekar* (s. 30). Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/contentassets/135e262b1f3a4b21a75e5e5fb7ce3663/hct-kalkyl---en-interaktiv-kalkylmodell-for-att-jamfora-lastbilsstorlekar-arbetsrapport-950-2017-2.pdf>
- Johansson, H. (2017). *Flytande gas till land och till sjöss*. Energikontor Sydost AB. https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/static.wm3.se/sites/400/media/162310_Resultatrapport_Flytande_biogas_%28LBG%29_till_land_och_till_sj%C3%B6ss.pdf?1505393543
- Karlström, M., Pohl, H., Grauers, A., & Holmberg, E. (2019). *Fuel cells for heavy duty trucks 2030+?* (REPORT 2019:604). Energiforsk. <https://energiforsk.se/media/26786/fuel-cells-for-heavy-duty-trucks-2030-energiforskrappport-2019-604.pdf>

- Klimatpolitiskrådet. (2019). *Report of the Swedish Climate Policy Council, 2019*. Swedish Climate Policy Council. <https://www.klimatpolitiskaradet.se/wp-content/uploads/2019/09/climatepolicycouncilreport2.pdf>
- Lindblom, H. (2018). *Framtidens kollektivtrafik i Västerås—Delprojekt 3 Elbussar* (s. 44). WSP Analys & Strategi. <https://regionvastmanland.se/globalassets/regionvastmanland.se/politik/moteshandlingar-2018/rf-2018/rf-2018-06-19/bilaga-12-a-rapport-elbussar.pdf>
- LiquidWind. (2021). *Liquid Wind seeks environmental permits for first facility (Samråd om miljö tillstånd)*. <https://www.liquidwind.se/news/miljotillstand>
- Mottschall, M., Kasten, P., & Rodriguez, F. (2020). *Decarbonization of on-road freight transport and the role of LNG from a German perspective*. The International Council on Clean Transportation. https://www.researchgate.net/publication/341385829_Decarbonization_of_on-road_freight_transport_and_the_role_of_LNG_from_a_German_perspective
- Natanaelsson, K., Lindgren, M., Rydén, E., Hasselgren, B., Palo, K., & Grudemo, S. (2021). *Regeringsuppdrag—Analysera förutsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar* (2021:013). Trafikverket. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1524344/FULLTEXT01.pdf>
- Nelder, C., & Rogers, E. (2020). *Reducing EV Charging Infrastructure Costs* [Technical Report]. Rocky Mountain Institute. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26490.03525>
- Nicholas, M. (2019). *Estimating electric vehicle charging infrastructure costs across major U.S. metropolitan areas* (Working Paper Nr 2019–14; s. 11). The International Council on Clean Transportation.
- Noreland, D. (2020). *HCT-fordon för rundvirkestransporter—Är det en lönsam investering?* (ARBETSRAPPORT 1065-2020; s. 27). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20210107141246/contentassets/3e3ac1ac1a4d449b8a9ff59ee75698d1/arbetsrapport-1065-2020.pdf
- Nykvist, B., & Olsson, O. (2020). *Fossil-free freight options for forest industries* [SEI Policy Brief]. <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep25058.pdf>

- Nykvist, B., & Olsson, O. (2021). The feasibility of heavy battery electric trucks. *Joule*, 5(4), 901–913.
<https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.03.007>
- Peters, J., & Wainwright, S. (2017). *Clean power for transport infrastructure deployment: Final report*. EU:s publikationsbyrå. <https://data.europa.eu/doi/10.2832/765147>
- Schroeder, A., & Traber, T. (2012). The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles. *Energy Policy*, 43, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.041>
- Smajla, I., Karasalihović Sedlar, D., Drljača, B., & Jukić, L. (2019). Fuel Switch to LNG in Heavy Truck Traffic. *Energies*, 12(3), 515. <https://doi.org/10.3390/en12030515>
- Tamm, D., & Andersson, J. (2019). *Nytt innovativt koncept för småskalig produktion och distribution av flytande biogas* (2019:53; s. 20). RISE Research Institutes of Sweden. https://www.ri.se/sites/default/files/2019-09/Sm%C3%A5skalig%20produktion%20och%20distribution%20av%20LBG_rapport.pdf
- Tesla, Inc. (2017, juli 5). *Certification Summary Information Report*. <https://www.teslarati.com/wp-content/uploads/2017/09/Tesla-Model-3-EPA-CSI-HTSLV00.0L13.pdf>
- Trafikförvaltningen Stockholms läns landsting. (2018). *Utredningsstudie—Övergång till eldriven busstrafik* (SL 2014-2911). Stockholms läns landsting. <https://www.sll.se/globalassets/2.-kollektivtrafik/kollektivtrafiken-vaxer-med-stockholm/elbussar-i-kollektivtrafiken/slutrapport-eldriven-busstrafik-2018-12-12-arbetsmaterial.pdf>
- Trafikverket. (2020a). *Scenarioverktyg version 1.0* (1.0) [Microsoft Excel; Microsoft Office]. <https://www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/Prognos--och-analysverktyg/scenarioverktyget-for-styrmedelsanalyser/>
- Trafikverket. (2020b). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.0*. Trafikverket. https://www.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-2021/asek-7_0-hela-rapporten-210601.pdf
- Trafikverket. (2021). *Regeringsuppdrag—Analysera förutsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar*. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1524344/FULLTEXT01.pdf>

- Transport & Environment. (2020). *Comparison of hydrogen and battery electric trucks—Methodology and underlying assumptions*. Transport & Environment. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_06_TE_comparison_hydrogen_battery_electric_trucks_methodology.pdf
- Transportstyrelsen. (2021, mars 26). *Regler om kör- och vilotider*. <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Kor--och-vilotider/regler-om-kor--och-vilotider/>
- Treiber, A., & Bark, P. (2016). *Energieffektiva transporter av massgods i stora tätortsområden och storstäder* (2016:3). TFK – TransportForsk. <https://www.transportportal.se/Energieffektivitet/Etapp2/Massgods-STEM-35722-2.pdf>
- Volvo. (2020). *Shaping the future of transportation* [Presentation at Volvo Group Capital Markets Day 2020]. <https://www.volvogroup.com/content/dam/volvo/volvo-group/markets/global/en-en/investors/reports-and-presentations/presentations-and-events/volvo-group-capital-markets-day-2020-presentation.pdf.coredownload.pdf>
- Volvo Trucks. (u.å.). *Volvo FH16—Produktguide*. Hämtad 08 juni 2021, från https://www.volvotrucks.se/content/dam/volvo-trucks/markets/sweden/classic/Volvo_FH16_productguide_Euro6.pdf
- Volvo Trucks Global. (u.å.). *Environment Footprint Calculator*. Hämtad 08 juni 2021, från <https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/alternative-fuels/environmental-footprint/environment-footprint-calculator.html>
- Volvo Trucks Sverige. (2017, oktober 3). *Nya lastbilar från Volvo som kör på LNG erbjuder samma prestanda som dieseldrivna lastbilar, men släpper ut 20–100 procent mindre koldioxid*. Volvo Lastvagnar Sverige. <https://www.volvotrucks.se/sv-se/news/press-releases/2017/oct/pressrelease-171003.html>
- von Hofsten, H. (2019). *Skogsbrukets transport- och arbetsfordon* (ARBETSRAPPORT 1003-2019; s. 17). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190116112010/contentassets/f3058fbc108e47d88dc62de7ef7910ac/arbetsrapport-1003-2019.pdf

WSP Analys & Strategi. (2014). *PM Åkerinaringens kostnadsbild—En jämförelse mellan fyra länder med trafik i Sverige* (s. 19). WSP Analys & Strategi.
<https://www.trafa.se/globalassets/pm/underlag/akerinaringens-kostnadsbild.pdf>

6 Bilagor

6.1 Bilaga 1 – Kvantitativ analys, beräkningar och underlag

I denna bilaga redovisas beräkningen av de olika teknikalternativens kostnads- och klimatprestanda, som nämns i avsnitt 3 mer utförligt. Det bör dock noteras att de undersökta BEV-fordonen och LBG-fordonen inte finns tillgängliga på marknaden i dagsläget utan är baserade på antaganden om att fordon med motsvarande prestanda kommer finnas kommersiellt tillgängliga i framtiden. De teknoekonomiska parametrarna för dessa teknikalternativ är uppskalade från ett konventionellt 64-tons ICE-fordon för skogstransporter.

6.1.1 Metod för den kvantitativa analysen

Genom ekvation (2) beräknas annuitetsfaktorn som används för att annualisera investeringskostnaderna i TCO-analysen.

$$A = \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}} \quad (2)$$

- A = annuitetsfaktor
- p = kalkylränta, antaget 3,5 % i enlighet med Trafikverkets diskonteringsränta för samhällsekonomiska analyser (Natanaelsson m.fl., 2021).
- n = ekonomisk livslängd

6.1.2 Fordonskonfiguration

En sammanställning av antagna kostnadsparametrar för fordonen, presenteras i Tabell 6. Kostnadsparametrar för ICE-fordonen är hämtade från (Noreland, 2020) som undersöker lönsamheten i att öka bruttovikten på rundvedstransporter från 64 tons bruttovikt till 74 ton. Parametrarna för ICE-diesel och ICE-HVO100 antas vara desamma och samlas under benämningen ICE. Investeringskostnaden för LBG-fordon uppskattas genom en merkostnad om ca 33% på jämnlastbilen baserat på lastbilar med bruttovikter på 44 ton i (Eriksson m.fl., 2019; WSP Analys & Strategi, 2014). För BEV-fordon antas en merkostnad för att byta ut ICE-drivlinan mot ett batteri av motsvarande vikt. På så sätt kan fordonens lastkapacitet antas vara desamma för båda teknikalternativ. Merkostnaderna beräknas endast på jämnlastbilarna. Övriga parametrar antas vara desamma för alla teknikalternativ.

Tabell 6. Kostnadsparametrar för fordonen.

Parameter och enhet	Värde	Referens	Kommentarer
Inköpspris 64 ton ICE jämnlastbil [SEK/fordon]	1 510 000	(Noreland, 2020)	
Avskrivning 64 ton ICE jämnlastbil [km]	1 000 000	(Noreland, 2020)	
Inköpspris släp [SEK/släp]	730 000	(Noreland, 2020)	

Avskrivning släp [km]	1 500 000	(Noreland, 2020)	
Inköpspris kran [SEK/kran]	550 000	(Noreland, 2020)	
Avskrivning kran [km]	1 000 000	(Noreland, 2020)	
Merkostnad 64 ton BEV lastbil [SEK/fordon]	660 000		<i>Nettoprisökning jämfört med ICE</i>
Merkostnad 64 ton LBG jämnlastbil [SEK/fordon]	497 613	(Eriksson m.fl., 2019; WSP Analys & Strategi, 2014)	<i>Nettoprisökning jämfört med ICE</i>
Avskrivning 64 ton skogsfordon [år]	6	Personlig kommunikation, Skogforsk	

De annualiserade investeringskostnaderna för fordonen i Ekvation (1) beräknas genom att tillämpa dessa kostnadsparametrar i Ekvation (3).

$$Inv = \frac{(NV_{jämnlastbil} * A_{jämnlastbil} + NV_{släp} * A_{släp} + NV_{kran} * A_{kran}) * Avskr_{fordon}}{Avskr_km_{jämnlastbil}} \quad (3)$$

- NV = Nyvärde [SEK/enhet]
- $Avskr$ = Avskrivningstid i år [år]
- $Avskr_km$ = Avskrivningstid i km [km]

En sammanställning av antagna parametrar för fordonens prestation samt över deras logistikflöden presenteras i Tabell 7. Dessa antas gälla för alla fordonskonfigurationer och teknikalternativ om inget annat anges.

Tabell 7. Prestationsparametrar för fordonen och undersökta logistikflöden.

Parameter och enhet	Värde	Referens	Kommentar
Framdrivningshastighet [km/h]	45.13	(Noreland, 2020)	
Tid för lastning/lossning [min]	30		Beräknat som medelvärdet för lastning och lossning (inklusive mätning, vägning,

			lossning, spilltid). Baserat på (Noreland, 2020)
Lastkapacitet [ton/fordon]	46	(Noreland, 2020)	
Tankstorlek 64 ton ICE [liter]	900	(Volvo Trucks, u.å.)	
Tillgänglig batterikapacitet 64 ton BEV [kWh]	482		Uppskattas utifrån vikten av motsvarande IC-drivlina samt en energidensitet hämtad från (Harlow m.fl., 2019).
Räckvidd 64 ton LBG [ton-km]	23 000	(Treiber & Bark, 2016; Volvo Trucks Sverige, 2017)	

En sammanställning av de inneboende emissionsfaktorerna för fordonen presenteras i Tabell 8.

Tabell 8. Inneboende emissionsfaktorer för fordonen.

Parameter och enhet	Emissionsfaktor	Referens
Emissionsfaktor ICE [kg CO _{2ekv} ./SEK]	0.01	Baserat på (Volvo Trucks Global, u.å.).
Emissionsfaktor NMC-batteri producerad med en nära fossilfri elmix [kg CO _{2ekv} ./SEK]	61	(Emilsson & Dahllöf, 2019)
Emissionsfaktor NMC-batteri producerad med en fossilintensiv elmix [kg CO _{2ekv} ./SEK]	106	(Emilsson & Dahllöf, 2019)
Emissionsfaktor LBG [kg CO _{2ekv} ./SEK]	0.01	Baserat på (Volvo Trucks Global, u.å.).

6.1.3 Energiförbrukning

En sammanställning av drivmedelsförbrukningen vid de olika momenten återfinns i Tabell 9. BEV-fordonets energiförbrukning beräknas som medelvärdet av en bottom-up och top-down analys baserat på ett antal olika källor.

Tabell 9. Fordonens drivmedelsförbrukning.

Parameter och enhet	Bränsleförbrukning	Referens	Kommentar
Framdrivning 64 ton ICE [liter/km]	0.55	(Noreland, 2020)	
Framdrivning 64 ton BEV [kWh/km]	2.30		Outlet-to-Wheel. BEV är ca 2.7 ggr mer effektiv än en ICE. Därtill kommer en 88% effektivitet på laddaren (Tesla, Inc., 2017).
Framdrivning 64 ton LBG [kWh/km]	5.61	(Mottschall m.fl., 2020)	En HPDI-NG-motor har ca 4% högre bränsleförbrukning än en ICE.
Dieselförbrukning vid lastning, kran [liter/ton lastat]	0.10	(Noreland, 2020)	

Kostnaden för fordonets drivmedelsförbrukning beräknas genom att ta hänsyn till framdrivning av fordonet såväl som den eventuella kranens förbrukning vid lastning. Lossning av gods samt lastning som sker utan kran antas utföras av arbetsmaskiner och truckar som är befintliga på industriområdet och bidrar därmed inte till skogsfordonets drivmedelsförbrukning. Kostnaderna för drivmedelsförbrukning beräknas enligt Ekvation (4) och Ekvation (5).

$$Förbr_{tot} = \frac{Förbr_{framdrivning} + Förbr_{kran}}{Körsträcka \text{ för en rundtur [km]}} \quad (4)$$

$$Driv = Förbr_{tot} * Drivmedelspris [SEK/kWh] \quad (5)$$

- $Förbr_{tot}$ = Fordonets totala genomsnittliga energiförbrukning [kWh/km]
- $Förbr_{framdrivning}$ = Fordonets energiförbrukning för framdrivning [kWh/rundtur]
- $Förbr_{kran}$ = Fordonets energiförbrukning för att driva kranen [kWh/rundtur]

De olika teknikalternativens operationella växthusgasprestanda beräknas med hjälp av emissionsfaktorer för en rad olika drivmedel och energibärare lämpade för fordonsteknikerna. Emissionsfaktorerna presenteras i Tabell 10.

Tabell 10. Emissionsfaktorer för de olika teknikalternativens operationella klimatprestanda.

Parameter och enhet	Emissionsfaktor	Referens
MK1 Diesel [kg CO _{2ekv} /kWh]	0.28	(Energimyndigheten, 2020b)
HVO100 [kg CO _{2ekv} /kWh]	0.05	(Energimyndigheten, 2020b)
El – nordisk elmix [kg CO _{2ekv} /kWh]	0.05	(Energimyndigheten, 2020b)
El – polsk elmix [kg CO _{2ekv} /kWh]	0.75	(European Environment Agency, 2021)
LNG/LBG mix [kg CO _{2ekv} /kWh]	0.07	(Energimyndigheten, 2020b)
LBG (rötning) [kg CO _{2ekv} /kWh]	0.01	(Holmgren m.fl., 2021)
LBG (förgasning) [kg CO _{2ekv} /kWh]	0.04	(Holmgren m.fl., 2021)

6.1.4 Laddinfrastruktur

Kostnaderna för själva laddarna, både inköp och installation, presenteras i Tabell 11 och består av medelvärdet av kostnadsdata hittade i litteraturen.

Tabell 11. Investeringskostnader för inköp och installation av laddutrustning.

Parameter och enhet	Investering	Referens
50 kW [SEK/laddare]	303 305	(Gnann m.fl., 2018; Hall & Lutsey, 2019; Nicholas, 2019; Peters & Wainwright, 2017)
150 kW [SEK/laddare]	697 913	(Gnann m.fl., 2018; Hall & Lutsey, 2019; Nelder & Rogers, 2020; Nicholas, 2019; Peters & Wainwright, 2017; Transport & Environment, 2020)
350 kW [SEK/laddare]	1 432 413	(Gnann m.fl., 2018; Hall & Lutsey, 2019; Nelder & Rogers, 2020; Nicholas, 2019; Peters & Wainwright, 2017; Transport & Environment, 2020)

Kostnaderna relaterade till anslutning till elnätet presenteras i Tabell 12 och beräknas som medelvärdet mellan resultatet via Metod A och Metod B.

Tabell 12. Investeringskostnader för anslutning till elnätet samt ev. förstärkningar.

	Parameter och enhet	Investering	Referens
Metod A	Investeringskostnader elnät [SEK/ installerad kW]	2 353	(Gnann m.fl., 2018; Lindblom, 2018; Schroeder & Traber, 2012)
Metod B	Investeringskostnader elnät, fast [SEK/anslutning]	21 480	(Karlström m.fl., 2019)
	Investeringskostnader elnät, rörlig [SEK/kW]	2 685	(Karlström m.fl., 2019)

De annualiserade investeringskostnaderna för laddinfrastruktur beräknas enligt Ekvation (6) och Ekvation (7). Årliga OPEX-kostnader antas vara 10% av investeringskostnader, enligt en tumregel som tillämpas av bland annat (Gnann m.fl., 2018). Vidare antas laddkomponenterna ha en ekonomisk livslängd på 15 år och elnätsinfrastrukturen ha en ekonomisk livslängd på 20 år.

$$Ann_ladd = (Invest * A)_{hårdvara\ och\ installation} + (Invest * A)_{anslutning\ till\ elnät} + OPEX \quad (6)$$

$$Inf = \frac{Ann_ladd * Avskrf_{fordon}}{Avskr_km_{jämnlastbil}} \quad (7)$$

- Ann_ladd = Annualiserade laddinfrastrukturskostnader [SEK/år]
- $Invest$ = Investeringskostnad [SEK/enhet]
- $OPEX$ = Drifts- och underhållskostnader för laddinfrastrukturen [SEK/år]

6.1.5 Lönekostnader för förare

Lönekostnader för förare omvandlas till en enhet mer lämplig för TCO-analysen via Ekvation (8).

$$För = \frac{Lön_{tot} * Avskrf_{fordon}}{Avskr_km_{jämnlastbil}} \quad (8)$$

- $Lön_{tot}$ = Totala lönekostnader per fordon [SEK/år]

6.2 Bilaga 2 – TCO-resultat

I denna bilaga presenteras de resulterade totalkostnaderna för varje teknikalternativ i varje typfall mer ingående. I Tabell 13 redovisas totalkostnaderna för Typfall 1: Industriinterna transporter.

Tabell 13. TCO för Typfall 1 – Industriinterna flöden.

	ICE-diesel	ICE-HVO100	BEV-fordon	LBG-fordon
Förare	9.04	9.04	9.04	9.04
Infrastruktur	0.00	0.00	0.24	0.00
Service och reparationer	2.51	2.51	2.16	2.81
Bränsle	7.03	7.42	2.72	6.25
Inköp, fordon	2.52	2.52	3.26	3.08
Total	21.10	21.49	17.42	21.18

Tabell 14 presenterar resultatet från Typfall 2: Terminal till industri.

Tabell 14. TCO Typfall 2 – Terminal till industri.

	ICE-diesel	ICE-HVO100	BEV-fordon	LBG-fordon
Förare	9.04	9.04	9.04	9.04
Infrastruktur	0.00	0.00	0.58	0.00
Service och reparationer	2.51	2.51	2.16	2.81
Bränsle	8.56	9.03	4.11	7.56
Inköp, fordon	3.14	3.14	3.88	3.70
Totalt	23.26	23.72	19.78	23.11

De mer ingående resultaten från analysen av kostandsprestandan i Typfall 3: Skog till industri (kort) går att se i Tabell 15.

Tabell 15. TCO Typfall 3 – Skog till industri (kort).

	ICE-diesel	ICE-HVO100	BEV-fordon	LBG-fordon
--	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Förare	9.04	9.04	9.04	9.04
Infrastruktur	0.00	0.00	3.05	0.00
Service och reparationer	2.51	2.51	2.16	2.81
Bränsle	7.62	8.04	3.26	6.75
Inköp, fordon	3.14	3.14	3.88	3.70
Totalt	22.31	22.73	21.39	22.30

Tabell 16 presenterar de mer ingående TCO-resultaten från Typfall 3: Skog till industri (medel).

Tabell 16. TCO Typfall 3 – Skog till industri (medel).

	ICE-diesel	ICE-HVO100	BEV-fordon	LBG-fordon
Förare	9.04	9.04	9.04	9.04
Infrastruktur	0.00	0.00	3.29	0.00
Service och reparationer	2.51	2.51	2.16	2.81
Bränsle	7.40	7.80	3.06	6.56
Inköp fordon	3.14	3.14	3.88	3.70
Totalt	22.09	22.50	21.43	22.12

Tabell 17 redovisar totalkostnaderna för Typfall 3: Skog till industri (lång).

Tabell 17. TCO Typfall 3 – Skog till industri (lång).

	ICE-diesel	ICE-HVO100	BEV-fordon	LBG-fordon
Förare	9.04	9.04	9.04	9.04
Infrastruktur	0.00	0.00	4.29	0.00
Service och reparationer	2.51	2.51	2.16	2.81
Bränsle	7.28	7.68	2.94	6.46

Inköp, fordon	3.14	3.14	3.88	3.70
Totalt	21.97	22.37	22.31	22.01

I Tabell 18 återfinns en sammanställning av resultaten från TCO-analysen.

Tabell 18. Jämförelse av kostandsprestandan av de undersökta teknikalternativen i respektive typfall.

	Typfall 1	Typfall 2	Typfall 3 (kort)	Typfall 3 (mellan)	Typfall 3 (lång)
ICE-Diesel	21.10	23.26	22.31	22.09	21.97
ICE-HVO100	21.49	23.72	22.73	22.50	22.37
BEV 64 ton	17.42	19.78	21.39	21.43	22.31
LBG 64 ton	21.18	23.11	22.30	22.12	22.01

Resultatet från analysen av teknikalternativens klimatprestanda presenteras i Tabell 19.

Tabell 19. Klimatprestandan hos de olika teknikalternativen för respektive typfall.

	ICE 64 ton	BEV 64 ton	LBG 64 ton
GWP – inneboende, ICE och LBG	0.04	0.00	0.04
GWP – inneboende, el – låg	0.00	0.07	0.00
GWP – inneboende, el – hög	0.00	0.09	0.00
GWP – operationell, el – låg	0.00	0.11	0.00
GWP – operationell, el – hög	0.00	1.72	0.00
GWP – operationell, MK1 diesel	1.48	0.00	0.00
GWP operationell, HVO100	0.26	0.00	0.00
GWP – operationell, LNG/LBG	0.00	0.00	0.39
GWP – operationell, LBG (rötning)	0.00	0.00	0.06
GWP – operationell, LBG (förgasning)	0.00	0.00	0.23

6.3 Bilaga 3 - Metoddetaljer kring intervjustudie

Intervjuerna utfördes och spelades in via Microsoft Teams. Urvalet utgick från ett antal skogsbolag, för att sedan utökas med aktörer som ansågs relevanta för studien genom snöbollsinsamling. Urvalet av intervjupersoner representerade följande sektorer:

- Skogsbolag
- Speditörer/åkerier
- Fordonstillverkare
- Elnätsaktörer
- Biogas-aktörer
- Bränslecellsaktörer
- Elvägsaktörer

En semi-strukturerad intervjuguide togs fram baserat på ramverket ”Flernivå-perspektivet” (Multi-Level Perspective, MLP) i syfte att förstå övergången till fossilfrihet som en strukturell omställning i ett sociotekniskt system (Geels, 2005). Då intervjuerna omfattade aktörer från olika delar av värdekedjan anpassades frågorna i intervjuguiden något efter aktör. Ca en vecka innan varje intervju fick intervjupersonerna ta del av en medgivandeblankett med praktisk information om intervjuens upplägg, intervjufrågorna, uppskattad tidsåtgång samt information om att allt intervjumaterial behandlas konfidentiellt samt att svaren hålls anonyma genom projektets gång och raderas vid projektets slut. Intervjuerna genomfördes av en och samma forskare och antecknades och transkriberades av samma person. Vid vissa intervjutillfällen deltog en annan forskare som ställde följdfrågor. En transkriberad kopia skickades för verifiering efter intervjutillfället. Intervjumaterialet kodades sedan via verktyget MaxQDA.

Nedan finns medgivandeblanketterna som skickades ut till intervjupersonerna från respektive område.

6.3.1 Skogsbolag

Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn

Bakgrund och syfte med intervjun

Intervjun är en del av projektet *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*. Det är ett gemensamt projekt mellan Stockholm Environment Institute, Skogforsk, Skogsindustrierna, transportteknologiföretaget Einride och fyra skogsbolag. Projektet finansieras av Trafikverkets forskningsprogram Triple-F (“Fossil Free Freight”). Syftet med intervjun är att skapa en bättre förståelse för vilka olika barriärer och drivkrafter det finns för att implementera fossilfria transporter i skogssektorn. Mer specifikt tittar vi på tre huvudsakliga alternativ: batterilastbilar, flytande biogas (LBG) och HVO100. Vi fokuserar på tre olika caseflöden: från avlägningsplats till industri, från terminal till industri och industriinterna transporter.

Intervjustudien leds av Stockholm Environment Institute, SEI, - en internationell, icke-vinstdrivande forsknings- och policyorganisation med fokus på att möta hållbarhets- och utvecklingsutmaningar. SEI sammanför forskning och beslutsfattare för att utveckla lösningar som leder till en hållbar framtid för samhället.

Praktisk information

Intervjun kommer ta ca 1- 1,5h och hållas på distans över Microsoft Teams eller Zoom. Er medverkan i projektet kommer behandlas konfidentiellt och alla era svar kommer hållas anonyma genom projektet samt i våra del- och slutrapporter. Med er tillåtelse kommer vi spela in intervjun för att underlätta våra anteckningar. Vi kommer efter intervjun att skicka en transkriberad kopia till er för verifiering.

Vid projektets slut kommer vi radera alla inspelningar, transkriberingar och anteckningar som kan kopplas till er. Sammanfattningar av delar av intervjuerna kan delas med andra forskare i teamet men kommer i så fall vara formulerade så att ni inte kan identifieras.

Allt deltagande är frivilligt och ni kan välja att avböja frågor och avbyta intervjun när som helst.

Intervjufrågor

Vi hoppas på att samla information om följande frågor:

Tema: Övergripande frågor

- Den här studien handlar ju om hur vi ska ställa om till fossilfria godstransporter, och då speciellt i skogssektorn. Om vi börjar med en liten öppen fråga, vad tror du om möjligheterna att få fossilfria timmertransporter?
- Om en omställning till batterilastbilar går ihop ekonomiskt och man kan bortse från ekonomin, vad är det svåraste man måste förändra i det nuvarande systemet för att övergå till batterilastbilar? Hur stort/smått är det jämfört med andra faktorer?

Tema: Ladd- och tankinfrastruktur

- Vilka barriärer finns det för utvecklingen av ladd- och tankinfrastruktur för tunga batterilastbilar och LBG?

Tema: Lastbilen

- Hur viktiga är kraven på ett utbrett servicenätverk för er verksamhet?
- Vad ser ni är de praktiska utmaningarna för batterilastbilar/LBG för skogstransporter? Hur väl fungerar teknikalternativen för lastbilar som är specialbyggda för skogssektorn, ex. med inbyggda kranar eller med högre krav på dragkraft och drivning på fler axlar?

Tema: Transportkedja och laddning

- Vilken påverkan på transportflödet för själva lastbilarna tror ni ett tekniksifte till batterilastbilar kommer innebära?

Tema: Affärsmässig skärning och logik

- Batterilastbilar kan innebära mer planering och mindre utrymme för flexibilitet. Hur påverkar det omställningen? Vilka delar av lastbilsflottan är svåra och lätta att elektrifiera/ställa om till LBG om logistiken fortfarande ska gå ihop?

Tema: Förare och arbetsmiljöfrågor

- Hur påverkas förarrollen ett tekniksifte till batterilastbilar?

Tema: Styrmedel

- Vilka signaler/styrmedel påverkar er mest när det kommer till fossilfria lastbilstransporter?
- Vad för stöd/ageranden anser ni saknas?

Tema: Övrigt

- Vilka demoprojekt eller initiativ för fossilfria lastbilstransporter finns eller är på gång idag?
- Vad för frågor vill ni ha svar på från en pilotstudie med fossilfria lastbilar för transporter i skogssektorn?
- Hur upplever du att omställningen för svenska skogstransporter koordineras med andra länder?
- Vilka fler aktörer tycker du vi ska intervjua?

Medgivande

Skriftligt, samtycke till medverkan i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

- Jag har tagit del om information kring studiens syfte, hur den kommer gå till och den tid den tar i anspråk.
- Jag är medveten om hur informationen samlas in, behandlas och handhas
- Jag har informerats om att mitt deltagande är frivilligt och att jag kan avbryta min medverkan när som helst under studiens gång utan att ange orsak.
- Jag samtycker härmed till att medverka i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

Deltagarens underskrift, Ort/Datum/År	Forskarens underskrift, Ort/Datum/År
Namnförtydligande:	Namnförtydligande:

6.3.2 Speditör/åkeri**Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn****Bakgrund och syfte med intervjun**

Intervjun är en del av projektet *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*. Det är ett gemensamt projekt mellan Stockholm Environment Institute, Skogforsk, Skogsindustrierna, transportteknologiföretaget Einride och fyra skogsbolag. Projektet finansieras av Trafikverkets forskningsprogram Triple-F ("Fossil Free Freight"). Syftet med intervjun är att skapa en bättre förståelse för vilka olika barriärer och drivkrafter det finns för att implementera fossilfria transporter i skogssektorn. Mer specifikt tittar vi på tre huvudsakliga alternativ: batterilastbilar, flytande biogas (LBG) och HVO100.

Intervjustudien leds av Stockholm Environment Institute, SEI, - en internationell, icke-vinstdrivande forsknings- och policyorganisation med fokus på att möta hållbarhets- och utvecklingsutmaningar. SEI

sammanför forskning och beslutsfattare för att utveckla lösningar som leder till en hållbar framtid för samhället.

Praktisk information

Intervjun kommer ta ca 1- 1,5h och hållas på distans över Microsoft Teams eller Zoom. Er medverkan i projektet kommer behandlas konfidentiellt och alla era svar kommer hållas anonyma genom projektet samt i våra del- och slutrapporter. Med er tillåtelse kommer vi spela in intervjun för att underlätta våra anteckningar. Vi kommer efter intervjun att skicka en transkriberad kopia till er för verifiering.

Vid projektets slut kommer vi radera alla inspelningar, transkriberingar och anteckningar som kan kopplas till er. Sammanfattningar av delar av intervjuerna kan delas med andra forskare i teamet men kommer i så fall vara formulerade så att ni inte kan identifieras.

Allt deltagande är frivilligt och ni kan välja att avböja frågor och avbyta intervjun när som helst.

Intervjufrågor

Vi hoppas på att samla information om följande frågor:

Tema: Övergripande frågor

- Den här studien handlar ju om hur vi ska ställa om till fossilfria godstransporter, och då speciellt i skogssektorn. Om vi börjar med en liten öppen fråga, vad tror du om möjligheterna att få fossilfria transporter av skogsprodukter?
- Om en omställning till batterilastbilar går ihop ekonomiskt och man kan bortse från ekonomin, vad är det svåraste man måste förändra i det nuvarande systemet för att övergå till batterilastbilar?
- Hur skiljer sig svårigheterna för att ställa om mellan omställningen till 2030 och 2045?

Tema: Lastbilen

- Vad ser ni är de praktiska utmaningarna för batterilastbilar/LBG för transport av skogsprodukter?
- Hur kommer kraven på service och ett utbrett servicenätverk förändras vid ett teknikskifte till batteri-/LBG-lastbilar?

Tema: Transportkedja och laddning

- Vilken påverkan på transportflödet för själva lastbilarna tror ni ett teknikskifte till batterilastbilar kommer innebära?

Tema: Affärsmässig skärning och logik

- Om skogssektorn skulle satsa på en omställning till fossilfria transporter, skogsprodukter medräknat, vad skulle det innebära för er verksamhet i stort?
- Batterilastbilar kan innebära mer planering och mindre utrymme för flexibilitet. Hur påverkar det omställningen? Vilka delar av lastbilsflottan är svåra och lätta att elektrifiera/ställa om till LBG om logistiken fortfarande ska gå ihop?

Tema: Förare och arbetsmiljöfrågor

- Hur påverkas förarrollen ett teknikskifte till batterilastbilar?

Tema: Styrmedel

- Vilka signaler/styrmedel påverkar er mest när det kommer till fossilfria lastbilstransporter?
- Vad för stöd/ageranden anser ni saknas?

Tema: Övrigt

- Hur upplever du att omställningen för svenska skogstransporter koordineras med andra länder?
- Vad för frågor vill ni ha svar på från en praktisk, pilotstudie med fossilfria lastbilar för transporter i skogssektorn?
- Som en avslutande fråga, vilka fler aktörer tycker du vi ska intervjua?

Medgivande

Skriftligt, samtycke till medverkan i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

- Jag har tagit del om information kring studiens syfte, hur den kommer gå till och den tid den tar i anspråk.
- Jag är medveten om hur informationen samlas in, behandlas och handhas
- Jag har informerats om att mitt deltagande är frivilligt och att jag kan avbryta min medverkan när som helst under studiens gång utan att ange orsak.
- Jag samtycker härmed till att medverka i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

Deltagarens underskrift, Ort/Datum/År	Forskarens underskrift, Ort/Datum/År
Namnförtydligande:	Namnförtydligande:

6.3.3 Fordonstillverkare

Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn

Bakgrund och syfte med intervjun

Intervjun är en del av projektet *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*. Det är ett gemensamt projekt mellan Stockholm Environment Institute, Skogforsk, Skogsindustrierna, transportteknologiföretaget Einride och fyra skogsbolag. Projektet finansieras av Trafikverkets forskningsprogram Triple-F ("Fossil Free Freight"). Syftet med intervjun är att skapa en bättre förståelse för vilka olika barriärer och drivkrafter det finns för att implementera fossilfria transporter i skogssektorn. Mer specifikt tittar vi på tre huvudsakliga alternativ: batterilastbilar, flytande biogas (LBG) och HVO100. Vi fokuserar på tre olika caseflöden: från avläggningsplats till industri, från terminal till industri och industriinterna transporter.

Intervjustudien leds av Stockholm Environment Institute, SEI, - en internationell, icke-vinstdrivande forsknings- och policyorganisation med fokus på att möta hållbarhets- och utvecklingsutmaningar. SEI sammanför forskning och beslutsfattare för att utveckla lösningar som leder till en hållbar framtid för samhället.

Praktisk information

Intervjun kommer ta ca 1- 1,5h och hållas på distans över Microsoft Teams eller Zoom. Er medverkan i projektet kommer behandlas konfidentiellt och alla era svar kommer hållas anonyma genom projektet samt i våra del- och slutrapporter. Med er tillåtelse kommer vi spela in intervjun för att underlätta våra anteckningar. Vi kommer efter intervjun att skicka en transkriberad kopia till er för verifiering.

Vid projektets slut kommer vi radera alla inspelningar, transkriberingar och anteckningar som kan kopplas till er. Sammanfattningar av delar av intervjuerna kan delas med andra forskare i teamet men kommer i så fall vara formulerade så att ni inte kan identifieras.

Allt deltagande är frivilligt och ni kan välja att avböja frågor och avbryta intervjun när som helst.

Intervjufrågor

Vi hoppas på att samla information om följande frågor:

Tema: Övergripande frågor

- Den här studien handlar ju om hur vi ska ställa om till fossilfria godstransporter, och då speciellt i skogssektorn. Om vi börjar med en liten öppen fråga, vad tror du om möjligheterna att få fossilfria skogstransporter?
- Om en omställning till batterilastbilar går ihop ekonomiskt och man kan bortse från ekonomin, vad är det svåraste man måste förändra i det nuvarande systemet för att övergå till batterilastbilar?
- Hur skiljer sig svårigheterna för att ställa om mellan omställningen till 2030 och 2045?

Tema: Lastbilen

- Vad ser ni är de praktiska utmaningarna för batterilastbilar/LBG för skogstransporter?
- Hur väl fungerar teknikalternativen för lastbilar som är specialbyggda för skogssektorn, ex. med inbyggda kranar eller med högre krav på dragkraft och drivning på fler axlar?
- Hur kommer kraven på service och ett utbredd servicenätverk förändras vid ett tekniskifte till batterilastbilar/LBG-lastbilar?

Tema: Transportkedja och laddning

- Vilken påverkan på transportflödet för själva lastbilarna tror ni ett tekniskifte till batterilastbilar kommer innebära?

Tema: Affärsnärlig skärning

- Vilka delar av skogslastbilsflottan ser du är svåra och lätta att elektrifiera/ställa om till LBG om logistiken fortfarande ska gå ihop?

Tema: Förare och arbetsmiljöfrågor

- Hur påverkas förarrollen ett teknikskifte till batteri- /LBG-lastbilar?

Tema: Styrmedel

- Vilka signaler/styrmedel påverkar er mest när det kommer till fossilfria lastbilstransporter?
- Vad för stöd/ageranden anser ni saknas?

Tema: Övrigt

- Hur upplever du att omställningen för svenska skogstransporter koordineras med andra länder?
- (Vilka demoprojekt eller initiativ för fossilfria lastbilstransporter i skogsindustrin finns eller är på gång idag?)
- Vad för frågor vill ni ha svar på från en praktisk, pilotstudie med fossilfria lastbilar för transporter i skogssektorn?
- Som en avslutande fråga, vilka fler aktörer tycker du vi ska intervjua?

Medgivande

Skriftligt, samtycke till medverkan i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

- Jag har tagit del om information kring studiens syfte, hur den kommer gå till och den tid den tar i anspråk.
- Jag är medveten om hur informationen samlas in, behandlas och handhas
- Jag har informerats om att mitt deltagande är frivilligt och att jag kan avbryta min medverkan när som helst under studiens gång utan att ange orsak.
- Jag samtycker härmed till att medverka i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

Deltagarens underskrift, Ort/Datum/År	Forskarens underskrift, Ort/Datum/År
Namnförtydligande:	Namnförtydligande:

6.3.4 Elnätsaktör

Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn

Bakgrund och syfte med intervjun

Intervjun är en del av projektet *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*. Det är ett gemensamt projekt mellan Stockholm Environment Institute, Skogforsk, Skogsindustrierna, transportteknologiföretaget Einride och fyra skogsbolag. Projektet finansieras av Trafikverkets forskningsprogram Triple-F ("Fossil Free Freight"). Syftet med intervjun är att skapa en bättre förståelse

för vilka olika barriärer och drivkrafter det finns för att implementera fossilfria transporter i skogssektorn. Mer specifikt tittar vi på tre huvudsakliga alternativ: batterilastbilar, flytande biogas (LBG) och HVO100. Vi fokuserar på tre olika caseflöden: från avlägningsplats till industri, från terminal till industri och industriinterna transporter.

Intervjustudien leds av Stockholm Environment Institute, SEI, - en internationell, icke-vinstdrivande forsknings- och policyorganisation med fokus på att möta hållbarhets- och utvecklingsutmaningar. SEI sammanför forskning och beslutsfattare för att utveckla lösningar som leder till en hållbar framtid för samhället.

Praktisk information

Intervjun kommer ta ca 1- 1,5h och hållas på distans över Microsoft Teams eller Zoom. Er medverkan i projektet kommer behandlas konfidentiellt och alla era svar kommer hållas anonyma genom projektet samt i våra del- och slutrapporter. Med er tillåtelse kommer vi spela in intervjun för att underlätta våra anteckningar. Vi kommer efter intervjun att skicka en transkriberad kopia till er för verifiering.

Vid projektets slut kommer vi radera alla inspelningar, transkriberingar och anteckningar som kan kopplas till er. Sammanfattningar av delar av intervjuerna kan delas med andra forskare i teamet men kommer i så fall vara formulerade så att ni inte kan identifieras.

Allt deltagande är frivilligt och ni kan välja att avböja frågor och avbyta intervjun när som helst.

Intervjufrågor

Vi hoppas på att samla information om följande frågor:

Tema: Övergripande frågor

- Den här studien handlar ju om hur vi ska ställa om till fossilfria godstransporter, och då speciellt i skogssektorn. Om vi börjar med en liten öppen fråga, vad tror du om möjligheterna att få fossilfria timmertransporter?
- Om en omställning till ett transportsystem med batterilastbilar för skogstransporter går ihop ekonomiskt och man kan bortse från ekonomin, vad är det svåraste man måste förändra i det nuvarande systemet för att övergå till batterilastbilar? Hur stort/smått är det jämfört med andra faktorer?

Tema: Laddinfrastruktur

- Vilka barriärer finns det för utvecklingen av laddinfrastruktur för tunga batterilastbilar?
- Till vilken utsträckning är kostnadsfrågan och kapacitetsfrågan ett hinder för omställning till batterilastbilar? Hur stort är det jämfört med andra faktorer för infrastrukturen?
- Vilka drivkrafter finns det för utvecklingen av laddinfrastruktur för tunga batterilastbilar för skogstransporter?

Tema: Affärsmässig skärning

- Vad kommer batterilastbilar för skogstransporter innebära affärsmässigt? (Ex. utmaningar med att utforma nya tariffer, eller juridiska utmaningar)

Tema: Förare och arbetsmiljöfrågor

- Hur ändras förarrollen vid ett teknikskifte till batterilastbilar?

Tema: Styrmedel

- Vilka signaler/styrmedel påverkar er mest när det kommer till fossilfria lastbilstransporter?
- Vad för stöd/ageranden anser ni saknas?

Tema: Övrigt

- Vilka demoprojekt eller initiativ för fossilfria batterilastbilstransporter finns eller är på gång idag?
- Vad för frågor vill ni ha svar på från en pilotstudie med batterilastbilar för transporter i skogssektorn?
- Vilka fler aktörer tycker du vi ska intervjua?
- Om du summerar drivkrafterna till att övergå till batterilastbilstransporter i skogssektorn?

Medgivande

Skriftligt, samtycke till medverkan i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

- Jag har tagit del om information kring studiens syfte, hur den kommer gå till och den tid den tar i anspråk.
- Jag är medveten om hur informationen samlas in, behandlas och handhas
- Jag har informerats om att mitt deltagande är frivilligt och att jag kan avbryta min medverkan när som helst under studiens gång utan att ange orsak.
- Jag samtycker härmed till att medverka i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

Deltagarens underskrift, Ort/Datum/År	Forskarens underskrift, Ort/Datum/År
Namnförtydligande:	Namnförtydligande:

6.3.5 LBG-aktör

Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn

Bakgrund och syfte med intervjun

Intervjun är en del av projektet *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*. Det är ett gemensamt projekt mellan Stockholm Environment Institute, Skogforsk, Skogsindustrierna, transportteknologiföretaget Einride och fyra skogsbolag. Projektet finansieras av Trafikverkets forskningsprogram Triple-F ("Fossil Free Freight"). Syftet med intervjun är att skapa en bättre förståelse för vilka olika barriärer och drivkrafter det finns för att implementera fossilfria transporter i skogssektorn. Mer specifikt tittar vi på tre huvudsakliga alternativ: batterilastbilar, flytande biogas (LBG) och HVO100. Vi fokuserar på tre olika caseflöden: från avlägningsplats till industri, från terminal till industri och industriinterna transporter.

Intervjustudien leds av Stockholm Environment Institute, SEI, - en internationell, icke-vinstdrivande forsknings- och policyorganisation med fokus på att möta hållbarhets- och utvecklingsutmaningar. SEI

sammanför forskning och beslutsfattare för att utveckla lösningar som leder till en hållbar framtid för samhället.

Praktisk information

Intervjun kommer ta ca 1- 1,5h och hållas på distans över Microsoft Teams eller Zoom. Er medverkan i projektet kommer behandlas konfidentiellt och alla era svar kommer hållas anonyma genom projektet samt i våra del- och slutrapporter. Med er tillåtelse kommer vi spela in intervjun för att underlätta våra anteckningar. Vi kommer efter intervjun att skicka en transkriberad kopia till er för verifiering.

Vid projektets slut kommer vi radera alla inspelningar, transkriberingar och anteckningar som kan kopplas till er. Sammanfattningar av delar av intervjuerna kan delas med andra forskare i teamet men kommer i så fall vara formulerade så att ni inte kan identifieras.

Allt deltagande är frivilligt och ni kan välja att avböja frågor och avbyta intervjun när som helst.

Intervjufrågor

Vi hoppas på att samla information om följande frågor:

Tema: Övergripande frågor

- Den här studien handlar ju om hur vi ska ställa om till fossilfria godstransporter, och då speciellt i skogssektorn. Om vi börjar med en liten öppen fråga, vad tror du om möjligheterna att få fossilfria timmertransporter?
- Om en omställning till ett transportsystem med LBG-lastbilar för skogstransporter går ihop ekonomiskt och man kan bortse från ekonomin, vad är det svåraste man måste förändra i det nuvarande systemet för att övergå till LBG-lastbilar? Hur stort/smått är det jämfört med andra faktorer?

Tema: Tankinfrastruktur

- Vilka barriärer finns det för utvecklingen av tankinfrastruktur för tunga LBG-lastbilar?
- Vilka drivkrafter finns det för utvecklingen av tankinfrastruktur för tunga LBG-lastbilar för skogstransporter?
- Vilka barriärer finns det för produktionen av LBG för skogstransporter?
- Vilka drivkrafter finns det för produktionen av LBG för skogstransporter?

Tema: Lastbilen

- Till vilken utsträckning upplever ni krav på ett utbrett servicenätverk som hinder för att skifta till LBG-lastbilar?
- Vad ser ni är de praktiska utmaningarna för LBG-lastbilar för skogstransporter?
- Hur skiljer sig priset mellan en LBG-lastbil och en diesellastbil av motsvarande prestanda?

Tema: Förare och arbetsmiljöfrågor

- Hur påverkar förarrollen ett tekniskifte till LBG-lastbilar?

Tema: Styrmedel

- Vilka signaler/styrmedel påverkar er mest när det kommer till fossilfria lastbilstransporter?
- Vad för stöd/ageranden anser ni saknas?

Tema: Övrigt

- Vilka demoprojekt eller initiativ för LBG-lastbilstransporter finns eller är på gång idag?
- Vad för frågor vill ni ha svar på från en pilotstudie med fossilfria lastbilar för transporter i skogssektorn?
- Vilka fler aktörer tycker du vi ska intervjua?
- Om du summerar drivkrafterna till att gå över till LBG-lastbilstransporter i skogssektorn?

Medgivande

Skriftligt, samtycke till medverkan i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

- Jag har tagit del om information kring studiens syfte, hur den kommer gå till och den tid den tar i anspråk.
- Jag är medveten om hur informationen samlas in, behandlas och handhas
- Jag har informerats om att mitt deltagande är frivilligt och att jag kan avbryta min medverkan när som helst under studiens gång utan att ange orsak.
- Jag samtycker härmed till att medverka i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

Deltagarens underskrift, Ort/Datum/År	Forskarens underskrift, Ort/Datum/År
Namnförtydligande:	Namnförtydligande:

6.3.6 Bränslecellsaktör**Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn****Bakgrund och syfte med intervjun**

Intervjun är en del av projektet *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*. Det är ett gemensamt projekt mellan Stockholm Environment Institute, Skogforsk, Skogsindustrierna, transportteknologiföretaget Einride och fyra skogsbolag. Projektet finansieras av Trafikverkets forskningsprogram Triple-F ("Fossil Free Freight"). Syftet med intervjun är att skapa en bättre förståelse för vilka olika barriärer och drivkrafter det finns för att implementera fossilfria transporter i skogssektorn. Mer specifikt tittar vi på tre huvudsakliga alternativ: batterilastbilar, flytande biogas (LBG) och HVO100.

Intervjustudien leds av Stockholm Environment Institute, SEI, - en internationell, icke-vinstdrivande forsknings- och policyorganisation med fokus på att möta hållbarhets- och utvecklingsutmaningar. SEI

sammanför forskning och beslutsfattare för att utveckla lösningar som leder till en hållbar framtid för samhället.

Praktisk information

Intervjun kommer ta ca 1- 1,5h och hållas på distans över Microsoft Teams. Er medverkan i projektet kommer behandlas konfidentiellt och alla era svar kommer hållas anonyma genom projektet samt i våra del- och slutrapporter. Med er tillåtelse kommer vi spela in intervjun för att underlätta våra anteckningar. Vi kommer efter intervjun att skicka en transkriberad kopia till er för verifiering.

Vid projektets slut kommer vi radera alla inspelningar, transkriberingar och anteckningar som kan kopplas till er. Sammanfattningar av delar av intervjuerna kan delas med andra forskare i teamet men kommer i så fall vara formulerade så att ni inte kan identifieras.

Allt deltagande är frivilligt och ni kan välja att avböja frågor och avbyta intervjun när som helst.

Intervjufrågor

Vi hoppas på att samla information om följande frågor:

Tema: Övergripande frågor

- Den här studien handlar ju om hur vi ska ställa om till fossilfria godstransporter, och då speciellt i skogssektorn. Om vi börjar med en liten öppen fråga, vad tror du om möjligheterna att få fossilfria timmertransporter?
- Om en omställning till ett transportsystem med bränslecellslastbilar för skogstransporter går ihop ekonomiskt och man kan bortse från ekonomin, vad är det svåraste man måste förändra i det nuvarande systemet för att övergå till tunga bränslecellstransporter?
- Hur skiljer sig svårigheterna för att ställa om mellan en omställning till 2030 och 2045?

Tema: Tankinfrastruktur och distribution

- Vilka barriärer finns det för utvecklingen av tankinfrastruktur för tunga bränslecellslastbilar?
- Vilka drivkrafter finns det för utvecklingen av tankinfrastruktur för tunga bränslecellslastbilar för skogstransporter?

Tema: Lastbilen

- Till vilken utsträckning upplever ni krav på ett utbrett servicenätverk som hinder för att skifta till bränslecellslastbilar?
- Hur väl fungerar teknikalternativen för lastbilar som är specialbyggda för skogssektorn, ex. med inbyggda kranar eller med högre krav på dragkraft och drivning på fler axlar?
- Vad ser ni är de praktiska utmaningarna för bränslecellslastbilar för skogstransporter?

Tema: Transportkedja och laddning

- Vilken påverkan på transportflödet för själva lastbilarna tror ni ett tekniskifte till batterilastbilar kommer innebära?

Tema: Affärsmässig skärning och logik

- Vilka delar av skogslastbilsflottan ser du är svåra och lätta att ställa om, om logistiken fortfarande ska gå ihop?

Tema: Förare och arbetsmiljöfrågor

- Hur påverkas förarrollen av ett teknikskifte till bränslecellslastbilar?

Tema: Styrmedel

- Vilka signaler/styrmedel påverkar er mest när det kommer till fossilfria lastbilstransporter?
- Vad för stöd/ageranden anser ni saknas?

Tema: Övrigt

- Vad ser ni det finns för intresse för tunga bränslecellslastbilar idag?
- Hur väl tycker du utvecklingen mot fossilfria transporter i Sverige stämmer överens med globala trender?
- Vad för frågor vill ni ha svar på från en pilotstudie med fossilfria lastbilar för transporter i skogssektorn?
- Vilka fler aktörer tycker du vi ska intervjua?

Medgivande

Skriftligt, samtycke till medverkan i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

- Jag har tagit del om information kring studiens syfte, hur den kommer gå till och den tid den tar i anspråk.
- Jag är medveten om hur informationen samlas in, behandlas och handhas
- Jag har informerats om att mitt deltagande är frivilligt och att jag kan avbryta min medverkan när som helst under studiens gång utan att ange orsak.
- Jag samtycker härmed till att medverka i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

Deltagarens underskrift, Ort/Datum/År	Forskarens underskrift, Ort/Datum/År
Namnförtydligande:	Namnförtydligande:

6.3.7 Elvägsaktör

Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn

Bakgrund och syfte med intervjun

Intervjun är en del av projektet *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*. Det är ett gemensamt projekt mellan Stockholm Environment Institute, Skogforsk, Skogsindustrierna, transportteknologiföretaget Einride och fyra skogsbolag. Projektet finansieras av Trafikverkets forskningsprogram Triple-F ("Fossil Free Freight"). Syftet med intervjun är att skapa en bättre förståelse för vilka olika barriärer och drivkrafter det finns för att implementera fossilfria transporter i skogssektorn. Mer specifikt tittar vi på tre huvudsakliga alternativ: batterilastbilar, flytande biogas (LBG) och HVO100.

Intervjustudien leds av Stockholm Environment Institute, SEI, - en internationell, icke-vinstdrivande forsknings- och policyorganisation med fokus på att möta hållbarhets- och utvecklingsutmaningar. SEI sammanför forskning och beslutsfattare för att utveckla lösningar som leder till en hållbar framtid för samhället.

Praktisk information

Intervjun kommer ta ca 1- 1,5h och hållas på distans över Microsoft Teams. Er medverkan i projektet kommer behandlas konfidentiellt och alla era svar kommer hållas anonyma genom projektet samt i våra del- och slutrapporter. Med er tillåtelse kommer vi spela in intervjun för att underlätta våra anteckningar. Vi kommer efter intervjun att skicka en transkriberad kopia till er för verifiering.

Vid projektets slut kommer vi radera alla inspelningar, transkriberingar och anteckningar som kan kopplas till er. Sammanfattningar av delar av intervjuerna kan delas med andra forskare i teamet men kommer i så fall vara formulerade så att ni inte kan identifieras.

Allt deltagande är frivilligt och ni kan välja att avböja frågor och avbyta intervjun när som helst.

Intervjufrågor

Vi hoppas på att samla information om följande frågor:

Tema: Övergripande frågor

- Den här studien handlar ju om hur vi ska ställa om till fossilfria godstransporter, och då speciellt i skogssektorn. Om vi börjar med en liten öppen fråga, vad tror du om möjligheterna att få fossilfria timmertransporter?
- Om en omställning till ellastbilar och elväg går ihop ekonomiskt och man kan bortse från ekonomin, vad är det svåraste man måste förändra i det nuvarande systemet för att övergå till ellastbilar och elvägar?
- Hur skiljer sig utmaningarna för elvägar om man har ett tidsperspektiv på 2030 jämfört med 2045?

Tema: Laddinfrastruktur

- Vilka barriärer finns det för utvecklingen av elväg/laddinfrastruktur för tunga batterilastbilar?
- Vilka drivkrafter finns det för utvecklingen av elvägar/laddinfrastruktur?

Tema: Transportkedja och laddning

- Vilken påverkan på transportflödet för själva lastbilarna tror ni ett tekniskifte till ellastbilar som laddas via elvägar kommer innebära?

Tema: Affärsmässig skärning och logik

- Vilka delar av skogslastbilsflottan ser du är svåra och lätta att elektrifiera om logistiken fortfarande ska gå ihop?
- Hur upplever du att utbyggnaden av elvägar klaffar med andra aktörers strategier? Finns det finns ex. ett stort intresse för att köra tunga ellastbilar som laddas med elväg idag?

Tema: Förare och arbetsmiljöfrågor

- Hur påverkas förarrollen av ett tekniskifte till ellastbilar?

Tema: Styrmedel

- Vad för stöd/ageranden anser ni saknas för omställningen?

Tema: Övrigt

- Hur upplever du att omställningen för svenska skogstransporter koordineras med andra länder?
- Vad för frågor vill ni ha svar på från en praktisk pilotstudie med fossilfria lastbilar för transporter i skogssektorn?
- Som avslutande fråga, vilka fler aktörer tycker du vi ska intervjua?

Medgivande

Skriftligt, samtycke till medverkan i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

- Jag har tagit del om information kring studiens syfte, hur den kommer gå till och den tid den tar i anspråk.
- Jag är medveten om hur informationen samlas in, behandlas och handhas
- Jag har informerats om att mitt deltagande är frivilligt och att jag kan avbryta min medverkan när som helst under studiens gång utan att ange orsak.
- Jag samtycker härmed till att medverka i intervjustudien *Accelererad omställning till fossilfria transporter i skogssektorn*.

Deltagarens underskrift, Ort/Datum/År	Forskarens underskrift, Ort/Datum/År
Namnförtydligande:	Namnförtydligande: