

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Förstudie: Drivmedelsteknologiers påverkan på transporteffektivitet[Klicka här och skriv]	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Feasibility study: Impact of fuel technologies on transport efficiency[Klicka här och skriv]	
Universitet/högskola/företag NetPort Science Park AB [Klicka här och skriv]	Avdelning/institution [Klicka här och skriv]
Adress Biblioteksgatan 4, 374 35 Karlshamn [Klicka här och skriv]	
Namn på projektledare Ulla Karlsson[Klicka här och skriv]	
Namn på ev övriga projektdeltagare Stina Apel, Henrik Sällberg, Hampus Alfredsson, Emil Numminen, Peter Sundqvist, Catarina Borgqvist[Klicka här och skriv]	
Nyckelord: 5-7 st Prototyp till ett beslutsverktyg för Transporteffektivitet för tunga godstransporter[Klicka här och skriv]	

Förord

Statens energimyndighet har beviljat NetPort Science Park stöd för genomförande av projektet Förstudie: Drivmedelsteknologiers påverkan på transporteffektivitet. Projektet genomförs inom ramen för programmet Transporteffektivt samhälle. Projektet är en genomförbarhetsstudie och utförs av NetPort Science Park i samarbete med Rise Research Institutes of Sweden och Blekinge Tekniska Högskola och där alla tre parterna bidrar med sina kompletterande erfarenheter av området som projektet berör.

Innehållsförteckning

Förord	1
Innehållsförteckning	1
Sammanfattning	2
Summary	3
Inledning/Bakgrund	4

Genomförande	6
AP1 Fossilfria drivmedelsteknologiers begränsningar och möjligheter för åkerier och transportköpare	6
AP2 Utveckling och test av prototyp för beslut av fossilfri drivmedelsteknologi	6
Resultat och diskussion	7
AP1 Fossilfria drivmedelsteknologiers begränsningar och möjligheter för åkerier och transportköpare	7
AP2 Utveckling och test av prototyp för beslut av fossilfri drivmedelsteknologi	15
Slutdiskussion	23
Referenser, källor	25
Bilagor	27
Bilaga A: Prototypverktygets gränssnitt	28

Sammanfattning

Denna förstudie har syftat till att utveckla en prototyp till ett beslutsverktyg som ska stödja åkerier vid val av drivmedelsteknologi för tunga fordon. Många olika drivmedelsteknologier med tillhörande tankningsinfrastruktur är under utveckling (ex. el, vätgas, biogas, bränsleceller). Om EU:s uppsatta mål för reducerade utsläpp från godstransporter på väg ska nås till år 2030 behöver åkerinäringen hjälp att välja mellan alternativa drivmedelsteknologier för sina fordon. Då åkeribranschen är hårt kostnadsutsatt, och vinstmarginalerna låga i en sektoriell jämförelse, blir detta val viktigt för aktörerna i branschen. I synnerhet då investering i tungt fordon typiskt utgör en av de största investeringarna för ett åkeri.

För att kunna utveckla prototypen insamlades i en första fas data om vilka kritiska nyckelfaktorer som åkerier beaktar vid fordonsanskaffning (leasing). Baserat på tidigare vetenskaplig litteratur och rapporter identifierades 17 unika nyckelfaktorer. Med hjälp av en enkätstudie samt intervjustudie av svenska åkerier erhöles resultat om dessa nyckelfaktors relativa betydelse för åkerier vid fordonsval. Såväl externa påtryckningsaspekter, kostnadsintäktsaspekter, som miljöaspekter innefattades i de 17 nyckelfaktorerna.

I en andra fas utvecklades prototypverktyget med utgångspunkt tagen i de viktigaste erhållna nyckelfaktorerna från fas 1 av projektet. Framför allt identifierades flera kostnadsfaktorer som avgörande för åkeriers val av drivmedelsteknologi för fordon. Viktiga kostnadsaspekter för ett åkeri (ex. inköpspris för fordon, drivmedelskostnad, förarkostnad) inkluderas i verktyget som i sin prototypform är Excel-baserad. Särskilt fokus har lagts vid alternativ som medger elektrifiering av väggodstransporter. Detta då olika elektrifieringsalternativ pekats ut som den mest troliga alternativa

drivmedelsvarianten i bruk för tunga transporter inom några år. Verktøget låter användaren (ex. beslutsfattare i åkerier) att göra olika val avseende fordon så som vikt, batteristorlek, och körsträckor, men fångar även prisnivåer för el- och laddinfrastruktur. Utfallet av olika gjorda val visualiseras i såväl grafisk som tabellform för användaren.

Då verktøget är i prototypform behövs en rad kvalitetsförbättringar för att göra det till ett fullgott stöd för åkerier vid beslutsfattande. I fas 1 identifierades att ett stort antal nyckelfaktorer samspekar vid åkeriers anskaffning av tungt fordon. Framför allt inom segment av nyckelfaktorer: kassaflöde, effektivitet (i transportarbete), och extern påverkan av samspelade faktorer. Ett fullskaligt verktøg behöver ta hänsyn till det senare för att på ett bra sätt stödja åkerinåringen i att göra drivmedelsval. Ett fullskaligt verktøg bör också ta hänsyn till fler drivmedelsteknologier än de som inkluderas i prototypen, inklusive varje teknologis specifika egenskaper. Fler valalternativ för användaren behöver också inkluderas i verktøget, exempelvis hur viktigt volym/kontra lastvikt är och typ av rutter som fordonet är tänkt att nyttjas för.

Viktig kunskap med policyimplikationer av detta projekt är som följer: (1) För att få åkerier att ställa om från fossila (diesel primärt) till fossilfria drivmedel är det nödvändigt att det ger åkerier kostnadsfördelar. Detta ställer krav på fordonsleverantörer, potentiellt i kombination med statliga styrmedel. (2) Tillräcklig densitet i tanknings-/laddinfrastruktur är nödvändig, för att åkerier ska ställa om, och den tar tid att få på plats, varför beslut behöver tas snarast om utsläppsmålen ska kunna nås. (3) Parti- och landsöverskridande överenskommelser behövs för att reducera politiska risker avseende beslutsfattande om fossilfri tanknings-/laddinfrastrukturutbyggnad. (4) Slutligen, pekars elektrifiering av godstransporter på väg ut som det mest troliga alternativet till dagens dieselanvändning. Detta ställer krav på utbyggnad av elnåtskapacitet (elväg kontra statisk laddinfrastruktur), vilken behöver harmonieras med diffusionen av elektrifierade gods- och persontransporter på väg.

Summary

This feasibility study aimed to develop a prototype for a decision-making tool to support hauliers in choosing fuel technology for heavy vehicles. Many different fuel technologies with associated refuelling infrastructure are under development (e.g. electric, hydrogen, biogas, fuel cells). In order to achieve the EU's targets for reduced emissions from road freight transport by 2030, the haulage industry needs help in choosing between alternative fuel technologies for their vehicles. As the haulage industry is highly cost-sensitive, and profit margins are low in a sectoral comparison, this choice is important for the industry's actors. Especially since investment in heavy vehicles typically represents one of the largest investments for a haulage company.

To develop the prototype, data was collected in a first phase on the critical key factors that hauliers consider when acquiring vehicles (leasing). Based on

previous scientific literature and reports, 17 unique key factors were identified. Using a survey and interview study of Swedish hauliers, results were obtained on the relative importance of these key factors for hauliers when choosing vehicles. Both external pressure aspects, cost-revenue aspects, and environmental aspects were included in the 17 key factors.

In a second phase, the prototype tool was developed based on the most important key factors obtained from phase 1 of the project. In particular, several cost factors were identified as crucial for hauliers' choice of fuel technology for vehicles. Important cost aspects for a haulage company (e.g. vehicle purchase price, fuel cost, driver cost) are included in the tool, which in its prototype form is Excel-based. Special focus has been placed on alternatives that allow for electrification of road freight transport. This is because different electrification alternatives are identified as the most likely alternative fuel variant in use for heavy transport within a few years. The tool allows the user (e.g. decision-makers in haulage companies) to make different choices regarding vehicles such as weight, battery size, and driving distances, but also captures price levels for electric and charging infrastructure. The outcome of different choices made is visualized in both graphical and tabular form for the user.

As the tool is in prototype form, a number of quality improvements are needed to make it a fully adequate support for hauliers in decision-making. In phase 1, it was identified that a large number of key factors interact when hauliers acquire heavy vehicles. Especially within segments of key factors: cash flow, efficiency (in transport work), and external impact of interacting factors. A full-scale tool needs to take the latter into account in order to support the haulage industry in making fuel choices in a good way. A full-scale tool should also take into account more fuel technologies than those included in the prototype, including each technology's specific characteristics. More choice options for the user also need to be included in the tool, such as how important volume/weight ratio is and the type of routes the vehicle is intended for.

Important knowledge with policy implications of this project is as follows: (1) In order to get hauliers to switch from fossil fuels (primarily diesel) to fossil-free fuels, it is necessary that it provides hauliers with cost advantages. This puts demands on vehicle suppliers, potentially in combination with state control measures. (2) Sufficient density in refuelling/charging infrastructure is necessary for hauliers to switch, and it takes time to put in place, which is why decisions need to be made as soon as possible on emission reduction policies.

Inledning/Bakgrund

EU har satt upp aggressiva mål för att reducera mängden koldioxidutsläpp från transportsektorn. Dieseldrift dominerar dagens svenska (och globala) lastbilsflotta. Om EU:s mål avseende reduktion av utsläpp till år 2030 ska kunna nås, och sedermera nå nollnivå till år 2050, krävs att åkerinäringen i närtid ställer om till fossilfria transporter. Flertalet olika drivmedelsteknologier är under utveckling, med varierande mognadsgrad, så som eldrift, vätgas, bränsleceller,

och biogas. Omställningen kompliceras av att politiska beslutsfattare behöver göra vägval avseende vilka infrastruktursatsningar som behöver göras för att möjliggöra omställning (ex. för laddinfrastruktur såsom elväg eller statisk laddning, samt investeringar i förstärkt elnätscapacitet). Fordonstillverkare behöver å sin sida garanti för statliga infrastruktursatsningar för att ta den ekonomiska risken att skala upp sin produktion av tunga fordon med alternativ drivmedelsteknologi. För att fordonstillverkare ska göra det behövs vidare tillräcklig efterfrågan av sådana drivmedelslösningar bland åkerier.

Åkerinäringen i Sverige är hårt konkurrensutsatt och vinstmarginalerna är i en sektorjämförelse låga. Branschen har vidare låg koncentrationsgrad, vilken innebär att många små aktörer dominerar branschen. Dessa två karaktäristika ökar risken för åkerier att ställa om från något de upplever fungerar för deras transporter idag (dieseldrift) till ett fossilfritt alternativ. Överlag har dessa små aktörer med begränsade resursbaser relativt låg kunskap om alternativa drivmedelsteknologiers för- och nackdelar för just deras verksamhet (Lövstål et al. 2023). Olika alternativa drivmedelsteknologiers lämplighet för ett åkeri kan vara avhängigt exempelvis betydelsen av volym kontra vikt för last, typiska distanser för fordonet (nationella kontra lokala transporter), typ(er) av gods fordonet är tänkt att transportera, samt krav från kunder. Extern påtryckning i form av statliga styrmedel (i en nära framtid) samt från fordonsleverantörer kan vidare ha inverkan på åkeriers val av drivmedelsteknologi. Då investering i (ny) lastbil är en av de största investeringarna för ett åkeri, med en livslängd upp till 10 år, blir valet av drivmedelsteknologi kritiskt för dem.

I tidigare litteratur och rapporter har ett antal faktorer funnits ha påverkan på ett åkeris fordonsanskaffning. Detta projekt tar utgångspunkt i dessa faktorer och analyserar hur relativt viktiga dessa enskilda faktorer är för åkeriers fordonsinvestering, och därmed deras val av drivmedelsteknologi vid fordonsanskaffning. Kunskapen om hur dessa nyckelfaktorer, de relativt viktigaste faktorerna, samspelar för åkeriets val är också begränsad. Detta utvecklingsprojekt identifierar därför kritiska nyckelfaktorer för åkeriers val av drivmedelsteknologi inklusive samspelen mellan dessa nyckelfaktorer. De identifierade nyckelfaktorerna utgör sedan input för utvecklandet av ett prototypverktyg som ska kunna stödja åkerier vid beslut om drivmedelsteknologi för att bli fossilfria på ett transporteffektivt och kostnadseffektivt sätt.

Huvudsyftet med detta projekt är således att utveckla och validera ett prototypverktyg som ska kunna stödja åkerier vid val av drivmedelsteknologi. Kraven på prototypen är att den ska fånga de viktigaste nyckelfaktorerna, samt åskådliggöra kostnads- och transporteffektivitet för det enskilda åkeriet. Prototypen ska medge för det enskilda åkeriet att göra val avseende e.g., fordonets beskaffenhet, och infrastrukturbehov, i syfte att erhålla output om kostnadseffektivitet och transporteffektivitet för konkurrerande drivmedelsalternativ. Ett relaterat syfte är att vidareutveckla kunskap om påverkansfaktorer för åkeriers val av drivmedelsteknologi. Det senare är avgörande för att kunna förstå och påverka åkeriers omställning till fossilfria transporter så att globala utsläppsmål nås.

Genomförande

AP1 Fossilfria drivmedelsteknologiers begränsningar och möjligheter för åkerier och transportköpare

Kritiska nyckelfaktorer för val av fossilfri kontra fossil drivmedelsanvändning för tunga fordon har identifierats med hjälp av intervjuer som genomförts med 8 svenska åkerier med olika karaktäristik, samt en enkätstudie med 155 deltagande svenska åkerier. För transportköpare har motsvarande 4 intervjuer genomförts. Den genomförda enkätstudien har utgjort grunden för att analysera hur identifierade kritiska nyckelfaktorer, för en övergång till fossilfria väggodstransporter, samspelar. Data med olika karaktäristik för åkerinäringen (ex. storlek, godstyp, typ av trafik, led i försörjningskedja) fångas, i syfte att skapa en helhetsbild. Begränsningar och möjligheter för åkeriers och transportköparens transporteffektivitet diskuteras utifrån resultaten av genomförda intervju- och enkätstudier. Enkät- och intervjustudierna fungerar som en validitetskontroll av respektive metods tillförlitlighet. Därutöver kompletterar intervjustudierna enkätstudien genom erhållande av mer djuplodande resonemang kring nyckelfaktorer. Enkätens och intervjuernas utformning har baserats på vetenskaplig litteratur och rapporter om drivmedelsteknologianvändning.

AP2 Utveckling och test av prototyp för beslut av fossilfri drivmedelsteknologi

Detta arbetspaket har utvecklat en prototyp på ett beslutsverktyg med fokus på att stödja åkerier och transportköpare i val av fossilfri, kostnadseffektiv och transporteffektiv drivmedelsteknologi. Målsättningen var att bättre kunna svara på vad olika alternativ innebär gällande begränsningar och möjligheter, samt hur de kan tänkas påverka betalnings- och investeringsvilja. RISE har haft huvudansvaret för utvecklingen av prototyp, men där inputs från BTH i form av identifierade kritiska nyckelfaktorer från AP1 har varit en bidragande faktor för att förstå vad som är mer eller mindre viktigt för prototypen att försöka besvara.

Arbetsprocessen har bestått av intern prototyputveckling, dels utifrån kunskap baserat på tidigare relaterade forskningsprojekt, dels utifrån inputs från AP1. Vidare har prototypen och inbyggd funktionalitet demonstrerats för ett faktiskt åkeri (FoodTankers) i syfte att få input på huruvida rätt typ av frågor besvaras, följt av erhållande av data från åkeriet som senare kan användas som input till prototypen.

För att fånga de många parametrar, påverkansfaktorer och interaktionseffekter som olika typer av val av drivmedelsteknologi innebär krävs många, mer eller mindre komplexa, beräkningar. Tidigt i studien togs därför beslutet om att prototypen bör kombinera beräkningar med någon typ av interaktivt användargränssnitt som förenklar för ett åkeri eller transportör att genom olika inställningar följa dess effekter. Då detta är en förstudie med begränsat tidsutrymme och omfattning så har prototypen i ett första steg utvecklats i Microsoft Excel, eftersom det är ett relativt väletablerat verktyg som de flesta förstår sig på och som möjliggör att snabbt komma igång.

Enligt ansökan fokuserar förstudien på drivmedelsteknologier som innebär elektrifiering av transportsektorn, inklusive batteridrift, bränsleceller (via vätgas) och elvägar. En avgränsning som gjorts inom just prototyputvecklingen är att beräkningsmodeller för bränsleceller (och således vätgas) har exkluderats, istället har lösningar för batteridrift och olika typer av laddinfrastruktur (inkl. elvägar) varit fokus.

Resultat och diskussion

AP1 Fossilfria drivmedelsteknologiers begränsningar och möjligheter för åkerier och transportköpare

Identifiering av kritiska nyckelfaktorer

En enkätstudie med svenska åkeriföretag genomfördes under perioden oktober 2022 till januari 2023. Karaktäristik för medverkande åkerier presenteras i Tabell 1. Åkeribranschen domineras av många mindre snarare än få stora aktörer. Medianvärden för antal anställda (N=25) och årlig omsättning (MSEK=45) indikerar att medelstora åkerier är överrepresenterade i förhållande till populationen. Bred spridning i typer av gods som transporteras, samt över vilka distanser, erhöles emellertid för urvalet. Därmed fångar urvalet branschens olika typer av aktörer. Likt populationen dominerar dieselanvändning som drivmedel för fordon i urvalet. Enkäten vände sig till beslutsfattare i respektive åkeriföretag. Drygt tre fjärdedelar av de responderande var endera ägare eller VD i företaget. Detta överensstämmer väl med den tänkta målgruppen för enkäten.

Tabell 1: Karaktäristik för enkäturvalet

URVALSKARAKTÄRISTIK	VÄRDE	
	Medel	(stdav)
Storlek (Medel= M, stdav= standardavvikelse)		
Antal anställda (N)	55.2	(173.9)
Antal fordon (N)	26.0	(43.07)
Försäljning/år (MSEK)	843.6	(6708)
Godsslag (skala 1-4; 1= inte alls; 4= enbart)		
Skogs-och jordbruksprodukter	2.0	(1.4)
Trä, massa, papper	1.7	(0.81)
Producent- och industrivaror	2.0	(0.87)
Livsmedel	1.5	(0.85)
Varor inom detaljhandel	1.7	(0.79)
Kemiska produkter	2.0	(0.00)
Kylvaror	1.5	(0.77)
Avfall, återvinning	1.7	(0.77)
Post och paket	1.3	(0.60)
Typ av trafik (andel)		
Skytteltrafik	0.2	(0.22)
Förutbestämda rutter	0.3	(0.28)

Beställningstrafik	0.4	(0.30)
Annat	0.2	(0.23)
Typ av transport (andel)		
Internationell		
Nationell	0.1	(0.20)
Regional	0.3	(0.31)
Lokal	0.3	(0.30)
	0.3	(0.30)
Drivmedelsanvändning (1= inte alls; 5= enbart)		
Bensin		
Diesel	1.1	(0.38)
Biodiesel (HVO, RME, FAME)	4.2	(0.43)
Biogas	2.0	(1.26)
Etanol	1.1	(1.21)
El	1.0	(0.26)
	1.1	(0.21)
Respondentroll (N= 155)		
VD		43%
Ägare		31%
Mellanchef		26%

Baserat på genomgång av vetenskaplig litteratur och rapporter identifierades 17 kritiska nyckelfaktorer för åkeriers val av drivmedelsteknologi för tunga fordon¹. Tabell 2 redogör för åkerirespondenternas enkätsvar avseende dessa kritiska nyckelfaktorerens betydelse. Resultaten visar att lastkapacitet är den enskilt viktigaste faktorn för åkerier vid anskaffning (köp/leasing) av ny lastbil. För ellastbilar, vars produktionsvolym förväntas öka de närmaste åren, implicerar detta att batteriers vikt blir en kritisk fråga. Detta då batterier i dagsläget väger relativt mycket, och det finns regler inom EU för tunga fordons maximalt tillåtna vikt (Den Boer et al. 2013). För en övergång från dieseldrift till batteridrift blir således nettoeffekten på lastkapacitet viktig. Å ena sidan väger en dieselmotor mer än en motsvarande elmotor. Detta kompenseras i dagsläget emellertid bara delvis för den tillkommande batterivikten. Då lastkapacitet spelar roll såväl för åkeriets intäkts- (leveransmöjligheter) som kostnadssida (fordonsvolym som behövs) indikeras av enkätresultatet att denna faktor inte får försämrats för ett fossilfritt fordonsalternativ jämfört med idag.

Tabell 2: Kritiska nyckelfaktorer för svenska åkerier vid anskaffning av nytt tungt fordon (N=155)

NYCKELFAKTOR (nytt tungt fordon)	MEDELVÄRDE*	STDAV	RANK
Inköpspris (SEK)	3.17	0.51	2
Bränslekostnad (SEK/km)	3.15	0.47	4
Underhållskostnad (SEK/år)	3.07	0.40	7
Underhållstid (dagar/år)	3.10	0.54	6
Ekonomisk livslängd (fkm)	3.06	0.49	8

¹ För en komplett lista av genomgången litteratur, kontakta henrik.sallberg@bth.se.

Andrahandsvärde (SEK)	2.51	0.65	16
Räckvidd (km/tank)	2.91	0.71	12
Tankningseffektivitet (tid, tillgänglighet)	2.92	0.71	11
Förarvärde (körkänsla, komfort)	3.16	0.61	3
Fordonsleverantörsrelation	3.15	0.64	4
Miljöpåverkan (utsläpp, buller)	2.94	0.67	10
Lastkapacitet (ton last/ max fordonsvikt)	3.21	0.55	1
Betalningsvilja kunder (SEK)	3.03	0.78	9
Certifiering (e.g. fair transport)	2.55	0.73	15
Styrmedel (skatter, subventioner)	2.76	0.71	13
Förändrade lagkrav (ISO, teknologikrav, säkerhet, vila)	2.74	0.69	14
Konkurrenters fordonsval	1.98	0.88	17

*1= 'inte alls viktigt'; 4= 'avgörande'.

Två andra kritiska nyckelfaktorer, som framgår av Tabell 2, är inköpspriset för lastbilen samt drivmedelskostnaden. Detta resultat överensstämmer med rapporter om låga vinstmarginaler och hård konkurrens inom den svenska åkerinäringen (Långberg). Att vara kostnadseffektiv blir således en nödvändighet för svenska åkeriföretag. Drivmedelskostnaden för el jämfört med diesel förväntas vara lägre på såväl kort som lång sikt (Börjesson et al. 2021). Det senare är något som talar för en övergång från dieseldrift till eldrift. Inköpspriset för ellastbil jämfört med dieselmotsvarighet hämmas dock i dagsläget av packpriset för batterier per kWh (Basma et al. 2021). Prognoser pekar mot kraftig effektivisering och ökad produktionsvolym av batterier med ansenligt lägre packprisnivå år 2030 (Bloomberg, NEF, 2021). Även underhåll (tidsåtgång och kostnad) upplevs som kritiskt av respondenterna. Utöver redan nämnda kapital- och driftskostnadsfaktorer framträder förarvärde och fordonsleverantörsrelation som andra kritiska nyckelfaktorer. En tolkning av förarvärdets kritiska roll vid fordonsval är svårigheten att rekrytera och bibehålla chaufförer (DN, 2021). Potentiellt blir det därför särskilt viktigt att skapa goda arbetsvillkor för anställda chaufförer. Fordonsleverantörsrelationen framträder som viktig för åkeriföretagen vid val av fordon. De underliggande orsakerna till detta resultat behöver vidare undersökas. Oavsett, utgör detta potentiellt en möjlighet för en ”push”-mekanism på så sätt att fordonsleverantörer kan spela en viktig roll i att påverka åkeriföretag till en övergång till fordon med miljövänlig drift.

Av resultaten i Tabell 2 kan noteras att 'kunders betalningsvilja' inte kvalificerar in bland de högst betygssatta faktorerna. Detta kan tyckas överraskande då åkerinäringen ur ett rationellt ekonomiskt perspektiv borde föredra det fordonsalternativ som kunder är villiga att betala mest för, allt annat lika. En potentiell förklaring kan vara att åkerinäringen är kostnadsfokuserad och att denna

faktor inte framstår som trolig i realiteten (exempelvis att transportköpare är beredda att betala tillräckligt mycket mer för fossilfri jämfört med fossil transport). Noterbart är också att miljövänlighet samt certifiering i dagsläget inte tillhör de mer kritiska påverkansfaktorerna vid fordonsval. Statliga påtryckningar för omställning till fossilfria transporter verkar inte i nuvarande utformning heller vara avgörande för åkerier vid fordonsanskaffning. Inte heller konkurrenters fordonsval verkar kritiskt. I stället indikerar enkätsvaren att åkerierna typiskt har återkommande kunder som ställer stora krav på hur transporter genomförs.

I uppföljande intervjuer med 8 svenska åkerier² med olikartad karaktäristik framkom såväl bekräftande som kompletterande information om vad som styr fordons- och drivmedelsval vid fordonsanskaffning. Avseende drivmedelskostnad och inköpspris som kritiska nyckelfaktorer bekräftade intervjuresultaten enkätresultaten:

”Med så tung last är bränsleekonomi viktig”. (Åkeri 2)

”Behöver göra det kostnadseffektivt, för marginalen för ett svenskt åkeri är 2 procent”. (Åkeri 1)

Betydelsen av lastkapacitet och förarvärde bekräftas också av intervjuerna:

”Det viktigaste för ekonomi är fyllnadsgrad”. (Åkeri 3)

”Det är svårt att hitta chaufförer” (Åkeri 5)

”Just nu lutar det åt att man utbildar förare själva”. (Åkeri 1)

De intervjuade åkerierna fick även förutspå kritiska nyckelfaktorer som blir relativt mer viktiga vid åkeriers fordonsanskaffning om fem år jämfört med idag. Unisont framkom i intervjuerna att beskattning av drivmedel, andrahandsvärdet på lastbilar med olika drivmedel, certifieringar, och betalningsvilja bland kunder som relativt sett mer viktiga. Just kunders betalningsvilja för transporter pekas ut som alltmer viktig av de intervjuade transportköparna (läs företag som köper transporter av åkerier– ex. producenter, återförsäljare). En av dessa aktörer uttryckte att:

*”Det blir mer och mer en konkurrens fördel att vi är fossilfria.
I kundundersökningar för bara några år sedan fick vi få
kommentarer om det, men det börjar vakna, den efterfrågan.”
(Transportköpare 1)*

De intervjuade åkerierna framhåller också elektrifiering som det mest troliga alternativet för övergång från fossila till fossilfria väggodstransporter. Samtidigt pekar de på osäkerhet kring hur elektrifieringen ska gå till samt dess framtida konsekvenser för åkerinäringen:

² Intervjuade åkerier och transportköpare hålls anonyma i rapporten. Detta val gjordes för att möjliggöra erhållande av känslig information för åkeriernas verksamhet under intervjuerna.

”Andrahandsvärdet är osäkert..., när batterierna blir dåliga då rasar nog andrahandsmarknaden” (Åkeri 7)

*”Inga transportköpare är sugna på att bygga laddstation. Det är stor kostnad- kommer inte att hända om det inte blir krav.”
(Åkeri 4)*

”Kommer det att finnas tillräcklig räckvidd, tid för laddning, laddstationer där det behövs, batteriswapping. Jag kör gärna batteri om kunderna betalar för det. Det kan bli 2 ton mindre vikt, då får kunden vara beredd att betala – minskad nettovikt och högre kostnader.” (Åkeri 5)

”Jag tror mest på elväg i kombination med dieselmotor eller elmotor, det handlar om att hitta rätt setup för det”. (Åkeri 3)

Det är främst utbyggnad av och tillgång till laddinfrastruktur som de intervjuade åkerierna således ser som ett hinder för en övergång till elektrifierade väggodstransporter i ett femårsperspektiv. Fordonstillverkare upplever de däremot redan investera i utveckling av elektrifierade tunga fordon. Samtidigt pekar intervjusvaren på att de mest kritiska nyckelfaktorerna vid fordonsval för ett åkeri framtiden är de som redan framträder idag (se Tabell 2).

Samspelet mellan nyckelfaktorer

I syfte att identifiera hur de 17 nyckelfaktorerna (Tabell 2) samspelar presenteras en korrelationsmatris i Tabell 3. Denna fångar hur likartat / olikartat enskilda åkerier har betygssatt de olika nyckelfaktorerna i enkätstudien. Korrelationen mäter relationen parvis mellan två nyckelfaktorerens betydelse, i intervallet -1 till +1. En positiv hög korrelation $> +0.8$ innebär att ett högt betygsvärde för en nyckelfaktor x , är associerat med ett högt betygsvärde för nyckelfaktor z .

Tabell 3: Korrelationsmatris för nyckelfaktorer avseende åkeriers fordonsval, baserat på enkätsvar (N=155)

KRITISK NYCKELFAKTOR	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	11	12	13	14	15	16	17
(1) Inköpspris	1																
(2) Bränslekostnad	0.54**	1															
(3) Underhållskostnad	0.26**	0.43**	1														
(4) Underhållstid	0.20*	0.32**	0.48**	1													
(5) Ekonomisk livslängd	0.14	0.21*	0.38**	0.39**	1												
(6) Andrahandsvärde	0.15	0.12	0.21*	0.17*	0.38**	1											
(7) Räckvidd	0.17*	0.10	0.21*	0.26**	0.24**	0.15	1										
(8) Tankningseffektivitet	0.16*	0.15	0.14	0.15	0.24**	0.16	0.53**	1									
(9) Förarvärde	0.10	0.12	0.22*	0.25**	0.14	0.06	0.34*	0.45**	1								
(10) Fordonsleverantörsrelation	0.12	0.22*	0.39**	0.29**	0.20*	0.23**	0.22*	0.24**	0.49**	1							
(11) Miljöpåverkan	0.18*	0.32**	0.19*	0.27**	0.31**	0.20*	0.25**	0.29**	0.38**	0.34**	1						
(12) Lastkapacitet	0.43**	0.35**	0.23**	0.23**	0.28**	0.04	0.23**	0.29**	0.32**	0.39**	0.30**	1					
(13) Betalningsvilja kunder	0.20*	0.23**	0.16*	0.15	0.18*	0.17*	0.08	0.23**	0.11	0.23**	0.08	0.35**	1				
(14) Certifiering	0.13	0.22**	0.24**	0.19*	0.17*	0.21*	0.24**	0.22*	0.25*	0.26*	0.50**	0.15	0.27**	1			
(15) Styrmedel	0.09	0.23**	0.13	-0.01	0.17*	0.29**	0.14	0.31**	0.13	0.28**	0.33**	0.11**	0.32**	0.39**	1		
(16) Förändrade lagkrav	0.09	0.14	0.19**	0.20*	0.26**	0.24**	0.20*	0.24**	0.22**	0.25**	0.43**	0.29**	0.33**	0.43**	0.41**	1	
(17) Konkurrenters fordonsval	0.21**	0.26**	0.12	0.13	0.12	0.14	0.12	0.09	0.10	0.05	0.38**	0.29**	0.11	0.29**	0.22*	0.35**	1

** p<0.01; * p<0.05.

Som framgår av korrelationsmatrisen i [Tabell 3](#) indikeras många nyckelfaktorer samspela med varandra. Detta implicerar att åkerier vid fordonsanskaffning beaktar ett flertal nyckelfaktorer. Det senare är rimligt då fordonsanskaffning är en stor och viktig investering för åkerier. Samtidigt försvårar det förståelsen av vilka faktorer som är kritiska att beakta (och påverka för andra aktörer) för att nå en omställning till fossilfri fordonsflotta. I synnerhet då ingen stark korrelation mellan nyckelfaktorer indikeras (>0.8). Å andra sidan framträder enbart positiva korrelationer mellan nyckelfaktorer; om en nyckelfaktor är viktig innebär det att andra nyckelfaktorer också blir viktiga att beakta vid fordonsval. Framför allt samspelar drivmedelskostnad som nyckelfaktorer med ett stort antal av de andra nyckelfaktorerna. Ju viktigare drivmedelskostnad är som nyckelfaktor för ett åkeri vid fordonsanskaffning desto viktigare är också inköpspris, underhåll, lastkapacitet, kunders betalningsvilja, styrmedel, samt konkurrenters fordonsval. Det bör noteras att dessa nyckelfaktorer blir relativt sett mer viktiga, utifrån graden av betydelse indikerad i [Tabell 2](#). De enskilt starkaste sambanden mellan nyckelfaktorer indikeras mellan drivmedelskostnad och inköpspris, certifiering och miljöpåverkan, samt tankningseffektivitet och räckvidd.

I syfte att försöka skapa en syntes av nyckelfaktorerers samspel presenteras i [Tabell 4](#) en kvalitativt grundad segmentering av vilka nyckelfaktorer som är starkast relaterade till varandra. Detta görs utifrån korrelationskoefficient och signifikansnivå för samspelande nyckelfaktorer, presenterade i [Tabell 3](#).

Tabell 4: Segmentering av samspelande nyckelfaktorer vid fordonsanskaffning för åkerier

<u>Kassaflöde</u>	<u>Effektivitet</u>	<u>Extern påverkan</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Inköpspris • Drivmedelskostnad • Underhållskostnad • Lastkapacitet • Betalningsvilja kunder 	<ul style="list-style-type: none"> • Underhållstid • Förarvärde • Tankningseffektivitet • Miljövänlighet • Fordonsleverantörsrelation 	<ul style="list-style-type: none"> • Styrmedel • Certifiering • Förändrade lagkrav • Konkurrenters fordonsval

Segmenteringen i [Tabell 4](#) är imperfekt till följd av att faktorer mellan de tre segmenten inte är helt okorrelerade. Segmentet 'kassaflöde' innefattar de överlag mest kritiska nyckelfaktorerna för åkerier vid fordonsanskaffning (utifrån enkätsvaren). Givet att ett företags målfunktion är att maximera eller satisfiera det ekonomiska värdet på företaget är detta inte förvånande. Likväl är detta viktigt att förstå för att lyckas med en omställning till fossilfria transporter. Såväl intjäningsförmåga (lastkapacitet, betalningsvilja kunder) som kapital- och driftskostnader är därför av störst vikt för att få åkerier att välja fossilfria framför fossila drivmedelsalternativ. En annan viktig input är att om endera av dessa

faktorer är viktiga för ett åkeri, så förväntas övriga kassaflödesfaktorer också vara betydande för samma åkeri.

Segmentet 'effektivitet' innefattar kritiska nyckelfaktorer som fångar huruvida transporter genomförs på rätt sätt. Olika dimensioner innefattas i segmentet så som bekvämlighet för förare, tidsåtgången för en transport, och att inte bidra till utsläpp av växthusgaser. Särskilt intressant är att för de åkerier som upplever fordonsrelationen som särskilt viktig vid fordonsanskaffning, kan positiva följd effekter nås avseende att attrahera chaufförer till åkerinäringen, uppnå miljövänliga transporter, och efterfråga för effektiv bränslepåfyllnad. Detta segment av åkerier kan således vara drivande för diffusionen av drivmedel med låga utsläppsnivåer.

Segmentet extern påverkan indikeras i jämförelse med övriga segment ha mindre betydelse vid fordonsanskaffning för åkerier. Inte desto mindre, för de åkerier som förväntar sig förändrade lagkrav i framtiden ges styrmedel (beskattningar, subventioner), certifieringar, och konkurrenters fordonsval relativt större vikt vid fordonsanskaffningsbeslut. I dess nuvarande utformning indikeras dock extern påverkan till följd av konkurrenters fordonsval, statliga interventioner, och tillhörighet till gröna branschorganisationer ha marginell effekt vid fordonsanskaffning.

AP2 Utveckling och test av prototyp för beslut av fossilfri drivmedelsteknologi

Från beskrivna enkätstudier, intervjuer och synteser av svar i AP1 identifieras ett antal mer kritiska faktorer för val av drivmedelsteknologi. Framförallt pekas faktorer som lastkapacitet, fordons- och batterikostnader, drivmedelskostnader (laddningskostnader för elektriska alternativ), och förarvärde ut. Det prototypverktyg som utvecklats inom förstudien har utgått ifrån flera av de nämnda kritiska faktorerna, men främst utifrån dess påverkan på kostnadsbilden för elektrifierade drivmedelsteknologier. Prototypverktyget innehåller en mängd parametrar (cirka 200) för såväl prestanda som kostnader för olika lastbilstyper och drivlinor, batterier, laddinfrastruktur, elnät, förare med mera. En majoritet av de parametervärden och beräkningsmodeller som används i studien kommer ifrån tidigare genomförd studie (Rogstadius, 2022) inom projektet ”Genomförbarhetsstudie elvägspilot E22” (NetPort Science Park, 2022), vilket också är ett samarbetsprojekt mellan bland annat RISE, BTH och Netport Science Park. Nedan följer beskrivning av de huvudsakliga komponenter som ingår i prototypverktyget.

Fordon

Lastbilar i fyra viktklasser ingår enligt Tabell 5: MGV16, MGV24, HGV40, HGV60. Dessa är samma definitioner som används av Trafikverket i ASEK 7.0 – *analysmetoder och samhällsekonomiska kalkyler för transportsektorn* (Trafikverket, 2020) och således finns det mycket att hämta vad gäller parametervärden för dessa. En närmare beskrivning av respektive viktklass enligt tabellen nedan:

Tabell 5: Beskrivning av inkluderade lastbilsviktklasser enligt definition från Trafikverket.

MGV16	Medeltung lastbil, 3,5–16 ton, 4% av tunga fordon
MGV24	Medeltung lastbil, 16–24 ton. 4% av tunga fordon
HGV40	Tung lastbil, 24–40 ton, 33% av tunga fordon
HGV60	Tung lastbil, 25–60 ton, 59% av tunga fordon

Parametervärden för dessa viktklasser kommer dels ifrån Trafikverkets ASEK 7.0, dels ifrån dialog med experter, dels andra övriga källor följt av vissa kvalificerade antaganden. Vidare då vissa ASEK-värden är baserade på fossildrivna lastbilar med förbränningsmotor (ICEV) så har en del ”översättningar” behövt göras för att få motsvarande värden för batterielektriska varianter (BEV). Exempelvis saker som gäller underhåll, energiförbrukning, drivlina, eller batteripack.

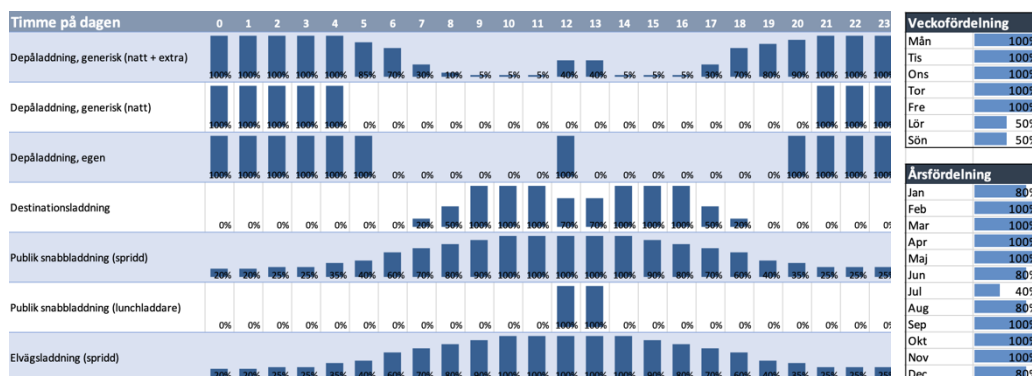
Fordonskostnader (exklusive batterier) som presenteras i prototypverktyget inkluderar avskrivning, kapitalränta, underhåll och däck. Vidare, för varje fordonstyp i Tabell 5 finns uppskattningar på förarkostnader (SEK/h) enligt Trafikverkets ASEK. Totala förarkostnader beräknas och presenteras som en separat post i prototypverktyget.

Laddinfrastruktur

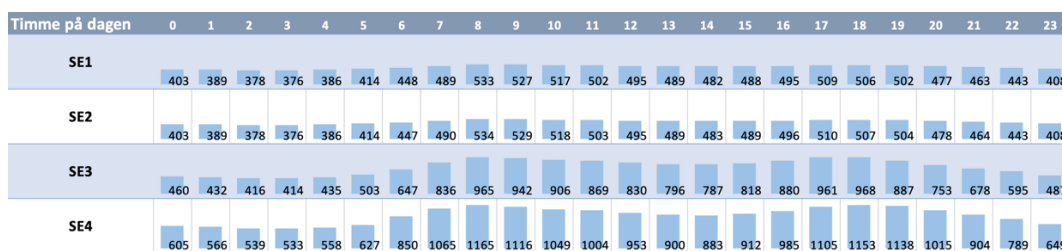
Fyra typer av laddinfrastrukturlösningar kan testas i prototypverktöget. Dessa inkluderar depåladdning (typiskt för nattladdning då lastbilarna är stillastående), destinationsladdning (exempelvis vid av-/på- eller omlastning hos kund), publik snabbbladdning (vid rast-/lunchstopp eller i form av extraladdning under dagen vid behov), samt elväg.

Prototypen innehåller beräkningsmodeller för både kapitalkostnader (CAPEX) och operationella kostnader (OPEX) för byggande och nyttjande av respektive infrastrukturtyp. CAPEX inkluderar kostnader för hårdvara, kablage, strömvtagare (om elväg), elnätsanslutning, underhåll och ränta. OPEX inkluderar kostnader för elnätsavgifter och elpriser inkl. energiskatt, med hänsyn till hur nyttjandegrad varierar. Enligt Figur 1 nedan finns en lista med ett flertal förinställda nyttjandegradsfördelningar över dygnet för olika infrastrukturlösningar. Till samtliga fördelningar adderas även vecko- och årsfördelning (månader). I prototypverktöget finns sedan möjlighet att välja infrastrukturlösning från denna lista.

Hur nyttjandegraden varierar påverkar, utöver mängden energi som kan levereras, även till vilket elpris som laddning sker. Elprisdata har hämtats in i form av genomsnittligt timpris (år 2021) via Nordpool (Nordpool, 2021) för samtliga elområden SE1-SE4, se Figur 2. Detta möjliggör analys av operationella kostnader baserat på vilket elområde som åkeriet/transportören och infrastrukturen befinner sig i.

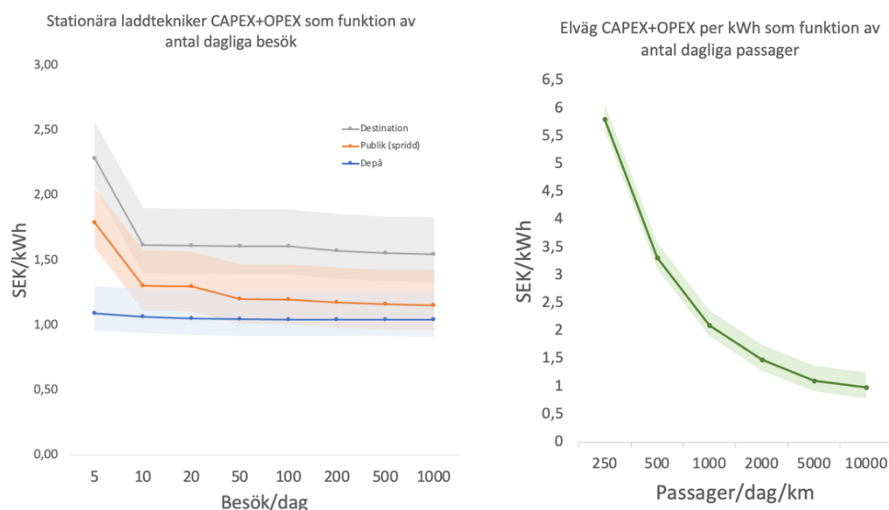


Figur 1: Förinställda fördelningsfunktioner för nyttjandegrad per timme över dygnet per infrastrukturlösning, per veckodag och månad.



Figur 2: Genomsnittligt timpris (Nordpool, 2021) för elområden SE1-SE4. Värdet i SEK/MWh.

För jämförelse mellan olika infrastrukturlösningar beräknas totalkostnad per levererad kilowattimme (kWh) som funktion av antal fordonsbesök per dag (eller antal passager per km och dag för elväg), under antagande om genomsnittligt laddad energimängd per besök. I Figur 3 nedan illustreras ett antal estimeringar på hur totalkostnaden kan variera för statisk respektive elvägsinfrastruktur, samt för olika elprisområden (färgat spann).



Figur 3: Estimerad totalkostnad per levererad kWh från statisk resp. elvägsinfrastruktur. Färgat spann representerar skillnader mellan elprisområden.

I de fall då infrastrukturen är icke-publik (alltså att åkeriet/transportören själv äger infrastrukturen), typiskt egen depålösning, så presenterar prototypverktyget utöver kostnad per laddad kWh även årlig kapitalkostnad för infrastrukturen. Detta under antagande om saker som avskrivningstider och räntesatser.

Batterier

De parametrar som använts för att beskriva kostnader och prestanda för fordonsbatterier inkluderar; anskaffningspris per kWh batterikapacitet, kalenderlivstid, cykellivstid, ur- och uppladdningshastigheter (C-rate), specifik energi (Wh/kg), energidensitet (Wh/liter), produktionsutsläpp (kgCO₂/kWh), samt tillåtet State-of-Charge (SoC) fönster. Det sistnämnda används eftersom det brukar rekommenderas att inte ladda ur batterier för djupt eller ladda upp för högt, då detta kan innebära ökat slitage. Exempelvis; om man vill ha 100 kWh användbar batterikapacitet motsvarande ett SoC-fönster på 60% (ex hålla sig mellan 20%-80%) så behövs en bruttobatterikapacitet på $100/0.6 \approx 167$ kWh.

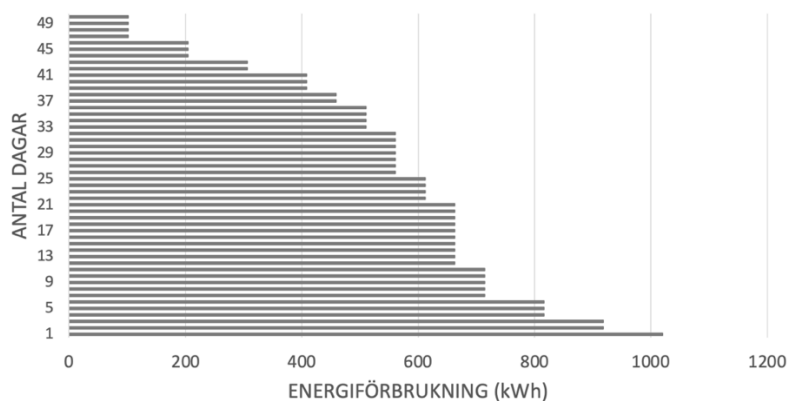
Beroende på hur fort fordonsbatterierna cyklas enligt de inställningar som görs i prototypverktyget kan saker som kalenderlivstid och cykellivstid komma att förändras, vilket i sin tur påverkar resulterande kostnader för användning av batteriet. Detta eftersom parametrarna initialt gäller för ett referensfall. Utöver kostnader för att äga och använda fordonsbatterier så beräknar prototypverktyget andra "batterirelaterade" kostnader, dels för potentiellt förlorad lastvikt/lastvolym som kommer av den vikt och plats som batteriet upptar. Dels då kombinationen av

vald batteristorlek och daglig energiförbrukning eventuellt leder till behov av extra laddstopp, vilket associeras med extrakostnader för att föraren står stilla och väntar (i de fall då extra laddstopp ej kan kombineras med naturlig rast/paus). I prototypverkyget antas elväg inte leda till batterirelaterade kostnader i form av extrastopp för laddning alls, vilket indirekt innebär att vi förutsätter att elväg finns strategiskt placerad längs de vägar som ”ändå körs” och i tillräckligt stor utsträckning. För att bedöma rimligheten av detta så presenteras användaren (ex. ett åkeri) istället med en estimering på behov av andel av daglig körsträcka respektive antal kilometer som behöver köras på elväg för att få den laddning som skulle krävas.

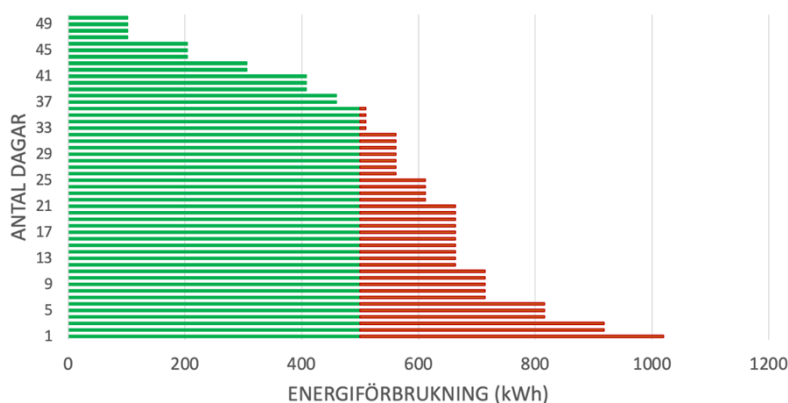
Hantering av laddningsbehov

För att förstå vad energibehovet blir för ett visst fordon krävs (utöver fordonets prestanda) vetskap om hur lång dess dagliga körsträcka är, samt vilka körvägar/rutter som opereras (topografi, hastigheter etcetera). Vidare, för att kunna prediktera hur och var laddning fördelaktigt bör finnas så behöver energibehovet kombineras med information om vart fordonet stannar samt hur länge (även här faktiska körvägar för eventuell placering av elväg). Att få tillgång till större mängder fordonsdata kan dock ofta vara utmanande; hur och i vilken utsträckning som data kan tillgängliggöras kan skilja sig mycket från åkeri till åkeri. Eftersom prototypverkyget i denna studie inte ska rikta sig till något specifikt åkeri, utan snarare lägga grunden för ett tillvägagångsätt som kan vara användbart för ett ”godtyckligt” åkeri att förstå effekterna av olika val av drivmedelsteknologi, så har vi valt att fokusera på just daglig körsträcka.

Metoden tar inspiration från tidigare angreppssätt (CLOSER, 2020) där data för fördelning av daglig körsträcka över ett antal dagar används för att klassificera olika fordon och dess behov av energitillförsel. Denna metod säger inget om vart fordonen kör och således inte heller vart laddning skulle kunna ske, utan ger framför allt storleksmässiga indikationer på exempelvis vilka fordon som bör kunna elektrifieras, i vilken utsträckning det går att förlita sig till depåladdning, eller hur mycket extraladdning det kan komma att krävas under dagen för att klara av vissa dagar. I denna förstudie definieras två begrepp; ”primär laddning” och ”sekundär laddning”, där det förstnämnda representerar den energimängd som potentiellt skulle kunna tillföras innan arbetsdagens start (typiskt nattladdning på depå), vilket styrs av såväl hur hög förbrukningen är som storleken på fordonsbatteriet. Sekundär laddning är den energimängd som blir över, alltså det som minst kommer behöva extraladdas under dagen på något vis. Om extraladdning behövs, och i så fall hur mycket, varierar från dag till dag beroende på hur lång körsträckan är, och således hur stor energiförbrukningen blir. I Figur 4 nedan illustreras ett exempel på hur energiförbrukning (från körsträcka multiplicerat med förbrukning per km) varierar över ett 50-tal dagar för ett hypotetiskt fordon. Vidare i Figur 5 har en batteristorlek på 500 kWh valts vilket skapar uppdelningen mellan behov av primär (grön) och sekundär (röd) energitillförsel. Figur 5 ska alltså tolkas som att det hypotetiska fordonet behöver någon mängd extraladdning vid cirka 37 av de totalt 50 antal dagarna i fördelningen.



Figur 4: Exempelfördelning energiförbrukning per dag över ett 50-tal dagar för en hypotetisk lastbil.



Figur 5: Illustration av behov av primär och sekundär energitillförsel vid 500 kWh vald batterikapacitet (användbar) baserat på exempelfördelningen i Figur 4.

Prototypens logik

I prototypverktyget (Excel) möts användaren av tre flikar där olika typer av inställningar kan göras; FORDON, LADDNING, RESULTAT.

Under FORDON-fliken i Figur 6 finns det möjlighet att ange tre olika fordonsgrupper genom att specificera fordonstyp, batteristorlek (användbar), körsträckafördelning (från förinställda/hypotetiska fördelningar, eller framöver från åkeriers egna data), samt antal fordon i flottan som matchar dessa specifikationer. Ett antal resulterande uträkningar presenteras här dynamiskt;

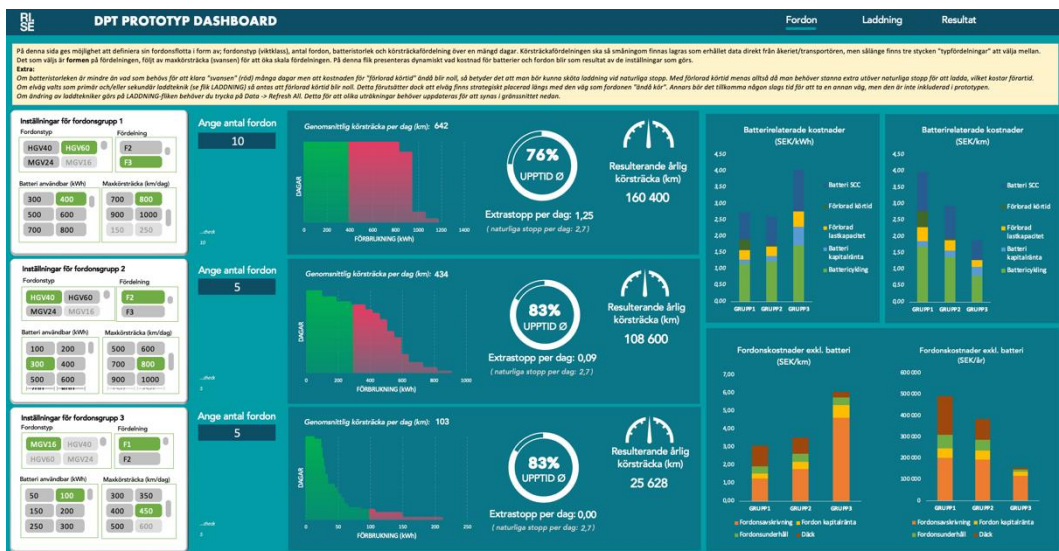
- Batterirelaterade kostnader per fordonsgrupp (per cyklad kWh, eller per km).
- Fordonskostnader per fordonsgrupp (per km, eller per år).
- Genomsnittlig upptid per fordonsgrupp under en dag. Detta beskriver andelen aktiv körtid av arbetsdagens timmar. I uträkningen har en

arbetsdag definierats som 12 h, och enligt lag ska föraren ta 45 minuter rast efter en sammanlagd körperiod på 4,5 h (Transportstyrelsen, 2023). I prototypen nås som bäst en upptid på,

$$100\% - \frac{\left(\frac{12 \text{ h}}{4,5 \text{ h}} * 0,75 \text{ h}\right)}{12 \text{ h}} \approx 83\%$$

Beroende på hur batteristorlek och körsträckafördelningar anges kan denna procentsats minska som resultat av att man behöver göra extrastopp för laddning utöver naturliga raster. Antingen för att det krävs fler laddstopp än antal naturliga raster, eller för att det inte finns tillgång till laddare på samma plats som de naturliga rasterna sker.

I Figur 6 har användaren ställt in tre olika fordonsgrupper med olika lastbilstyper (HGV60, HGV40 resp. MG16), antal lastbilar av respektive typ, samt vilken av körsträckafördelningarna (förinställda i prototypen) som tillhör vilken fordonsgrupp. Som syns i exemplet minskar genomsnittlig upptid för fordonsgrupp 1, vilket betyder att ytterligare stopp för laddning behöver göras utöver naturliga raststopp för att säkra energitillförsel motsvarande medeldygnsförbrukningen.



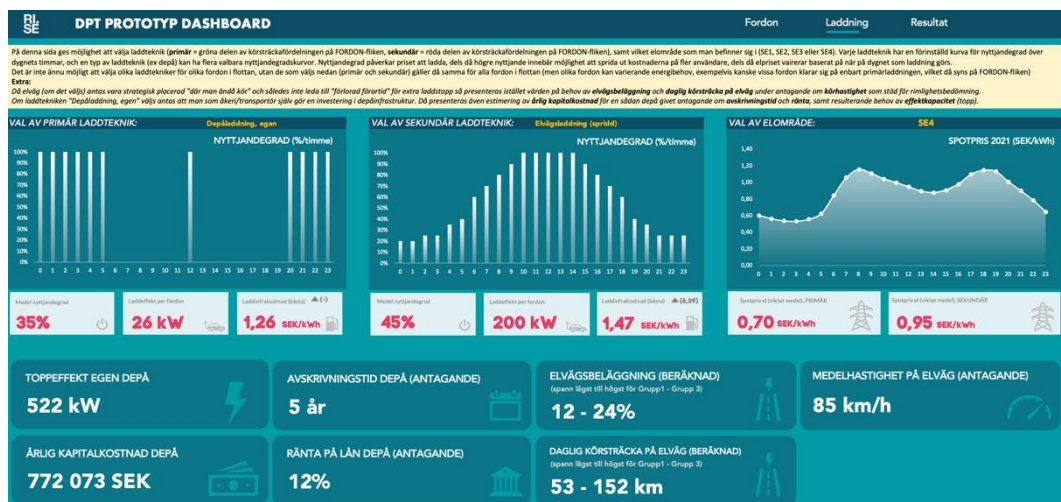
Figur 6: Exempelinställning på FORDON-fliken. Här har tre fordonsgrupper adderats med olika lastbilstyper, antal lastbilar av respektive typ, samt deras körsträckafördelningar (se uppskalad FORDONS-fliken i Bilaga A: Prototypverktygets gränssnitt).

Under LADDNING-fliken finns det möjlighet att välja primär laddteknik, sekundär laddteknik, samt elområde. Valda laddtekniker presenteras i form av en nyttjandegrad-profil. Vidare anges den laddeffekt per fordon som använts, samt vad den resulterande laddningskostnaden blir per kWh. För alternativet ”Depåladdning, egen” presenteras laddningskostnaden som ett beräknat värde baserat på angivet antal fordon i åkeriets flotta, vilket dagligt energibehov de har och hur depån används. För övriga alternativ är laddningskostnaden beräknad på ett intervall med antal dagliga besökare (eller passager om elväg). Den siffra som presenteras (i rött) är beräknad på flest antal användare i intervallet, och således

den billigaste (kostnaderna sprids ut på flest användare), men en siffra ges även (i grått) för lägst antal besökare och således dyraste laddningskostnad. Hur stor del av laddningskostnaden som elpriset (spotpris) står för ges av rutorna under priskurvan. Dessa ges som viktade medel för primär- respektive sekundär laddteknik baserat på dess nyttjandegrads-profiler.

Nederst på fliken presenteras även ett flertal rutor som hör till alternativen ”Depåladdning, egen” samt ”Elvägsladdning”. För det förstnämnda handlar det om estimerad topp effekt som behöver investeras för, samt årlig kapitalkostnad för depåinfrastrukturen under antagande om avskrivningstid och ränta. Detta då det torde vara intressant för åkeriet att utöver den utslagna laddningskostnaden även få information om vad de årliga kostnaderna kan bli för att äga infrastrukturen. För elvägsladdning (icke-ägd) presenteras vilken beläggning och motsvarande daglig körsträcka (km) på elväg som skulle krävas för att få en energitillförsel som krävs för att möta behovet. Eftersom prototypverktyget endast utgår ifrån dagliga körsträckor utan vetskap om vilka rutter som fordonen kör, så får användaren själv resonera kring exempelvis huruvida resulterande daglig körsträcka på elväg kan bli rimligt i framtiden givet dennes vetskap om sina fordon och rutter. Parametervärdet ges som spann för fordonsgрупп 1–3 då de kan ha olika energiförbrukning och körsträckaprofiler, vidare har ett antagande om körhastighet på elvägen gjorts för beräkningarna då prototypverktyget inte har någon vetskap om hastigheter.

I Figur 7 har användaren valt egen depå som primär laddteknik, och elvägsladdning som sekundär laddteknik, samt elområde SE4. Som en följd av elvägsladdning under dagtid kommer exempelvis minskningen i upptid som observerades enligt inställningarna i Figur 6 att återställas. Återigen förutsätter alltså prototypverktyget att elvägsladdning finns strategiskt placerad längs de rutter som fordonen kör, och att inga avvikelser behöver göras för att ta sig till elvägen (vilket eventuellt skulle kräva extra tid att genomföra uppdragen och således öka kostnaderna).

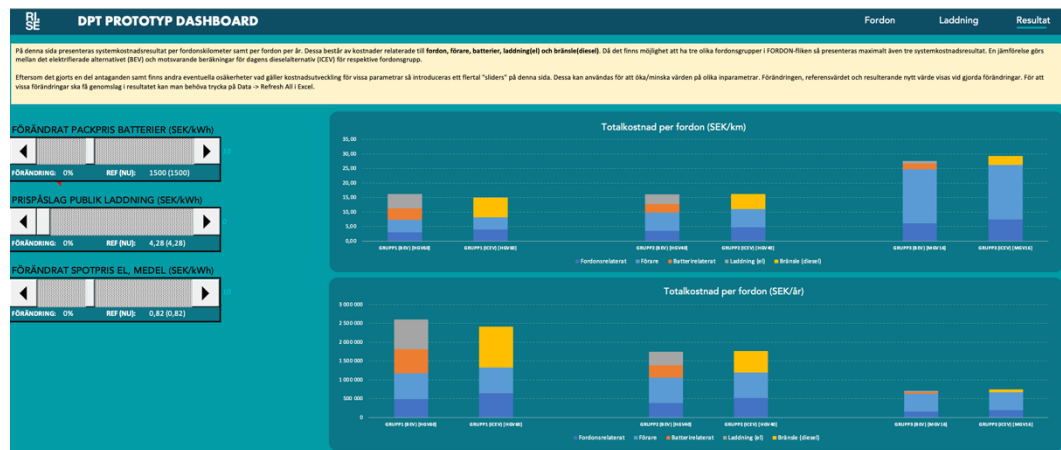


Figur 7: Exempelinställning på LADDNINGSS-fliken i prototypverktyget. Här har laddning vid egen depå angetts som primär laddteknik, och elvägsladdning som sekundär laddteknik. (se uppskalad LADDNINGSS-fliken i Bilaga A: Prototypverktygets gränssnitt)

Under RESULTAT-fliken i Figur 8 summeras alla kostnadsparametrar till en totalkostnad per lastbil för respektive fordonsgrupp. Dessa är uppdelade i kostnader för fordon, förare, batteri och laddning. Totalkostnaden presenteras dels som en kilometerkostnad, dels som en årlig kostnad.

För varje fordonsgrupp görs dessutom en jämförelse med dagens dieselalternativ, vilket innehåller kostnader för fordon, förare och bränsle. Fordonskostnader är beräknat som tidigare utifrån existerande värden från exempelvis Trafikverkets ASEK. Förarkostnader är samma för batteri- och dieselalternativet, uträknat baserat på antagande om timkostnader hos förare, antal arbetstimmar per dag, antal arbetsdagar per år, samt körsträckor (för att få kostnad per km). Dieselkostnader är uträknade baserat på uppgifter om dagens bränslepriser, inklusive skatt (exkl. moms) (Ekonomifakta, 2023).

Då resultaten bygger på en del antaganden kring indata-parametrar såväl som andra osäkerheter så har implementerades ett antal ”reglage” i demonstrativt syfte i prototypverktyget enligt Figur 8. Exempelvis syns reglage för packpriset på batterier, prispåslag för publik laddning, och förändrat elpris. Dessa tillåter användaren att göra känslighetsanalyser och förstå vad händer med totalkostnaden ifall förändringar sker, alternativt om referensvärdet enligt antagande anses behöva korrigeras. I fortsättningen föreslås tillägg av reglage även för dieselalternativet då dessa kostnader troligtvis är sådana som användaren (typiskt ett åkeri) själv har bra koll på. Även fler reglage för det batterielektriska alternativet kan vara av intresse.



Figur 8: Exempelresultat på RESULTAT-fliken i prototypverktyget. Här visas totalkostnader per lastbil i respektive fordonsgrupp, samt att användaren ges möjlighet att genomföra känslighetsanalyser genom att ändra på indata- eller andra kostnadsparametrar. (se uppskalad RESULTAT-fliken i Bilaga A: Prototypverktygets gränssnitt)

Sammanfattningsvis har förstudien tagit fram ett prototypverktyg, vilket ska ses just som en prototyp. Beräkningar och antaganden behöver verifieras, samt att det finns förbättringspotential gällande utökad funktionalitet och hantering av fler av de identifierade nyckelfaktorerna från AP1. Vidare ska faktiska åkeriers data gällande körsträckor integreras i prototypen för att kunna analysera

lösningalternativ för just deras flotta. Denna typ av data har erhållits i slutet av förstudien, men har av tidsbegränsande skäl inte anpassats för prototypen, och visas således inte heller i denna rapport av eventuella känslighets skäl gällande data.

Trots detta anses denna typ av verktyg kunna bli mycket användbart i framtiden då det på ett enkelt sätt paketerar komplexa beräkningar och beroenden till något som är lättare att förstå och experimentera med. Exempelvis genom att testa hur känslig kostnadsbildningen är för förändringar av olika parametrar. Det kan vara svårt för ett enskilt åkeri att fullt förstå inverkan som exempelvis förändrade elpriser och bränslepriser, batterikostnader eller teknikutveckling, val av laddningslösning, förlorad lastkapacitet, etcetera har, och hur det i sin tur påverkar de ekonomiska incitamenten att välja en viss drivmedelsteknologi.

Kort om teknologier som exkluderats i förstudien

Som tidigare nämnt har alternativet bränsleceller (och därmed vätgas) exkluderats ur det prototypverktyg som utvecklats. Bränsleceller omvandlar vätgas till el som kan ladda fordonets batterier under drift. Restprodukten blir vatten. Komprimerad vätgas har ett högt energiinnehåll per viktenhet. Bränsleceller i kombination med vätgastank kan användas för att minska behovet av tunga batterier och möjliggöra långväga transporter med elektriska fordon. Infrastrukturen för att tanka vätgas i tunga fordon är dock dåligt utbyggd.

Vätgas kan framställas via elektrolys av vatten men kräver stora mängder el. Verkningsgraden för att med el tillverka vätgas som sedan åter skall bli el i fordonet är ca 30 %. Det kan jämföras med laddning och urladdning av batterier som har en verkningsgrad på 80 – 90%. Vid användning av vätgas från fossila källor kvarstår utsläppen av växthusgaser om inte dessa tas om hand via koldioxidlagring vid produktionsstället.

Flera stora tillverkare har batterielektriska lastbilar i sitt erbjudande och laddpunkter finns. Detsamma gäller inte kommersiellt tillgängliga lastbilar med bränslecell som primär drivkälla så estimering av kostnadsparametrar för inköp, drift och underhåll blir i nuläget alltför spekulativa för att inkluderas i förstudiens prototypverktyg.

Ytterligare en drivmedelsteknologi som skulle kunna undersökas i kommande studier är batteribyteteknik vilket innebär att man för att slippa långa stopp för laddning i stället byter fordonets batteri mot ett fulladdat. Denna modell kräver viss teknik för att automatisera bytet av batteri och en annan affärsmodell där åkeriet inte äger batteriet eftersom det byts ut med jämna mellanrum. Fördelen är snabba tankstopp och möjlighet att optimera laddningen av batterierna med hänsyn taget till åldringseffekter och variationer i elpris.

Slutdiskussion

En rad olika drivmedelsteknologier med låga utsläpp av koldioxidhalter är under utveckling (ex. bränsleceller, batteridrift med tillhörande dynamisk (elväg) och/eller statisk laddinfrastruktur, vätgas). I dagsläget finns en avsaknad av

teknologisk standard på (fossilfria) drivmedelsmarknaden. Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv kan det å ena sidan ses som positivt med konkurrens mellan olika drivmedelsteknologier för att främja innovation. Å andra sidan skapar det osäkerhet för såväl statliga beslutsfattare som åkerinäringen. För staten blir det en kritisk fråga att investera i drivmedelsinfrastruktur, alternativt att skapa förutsättningar för privata aktörer att göra detta. Sådana infrastrukturinvesteringar är betydande. Exempelvis uppskattas ett 2000 km elvägssystem på det mest trafikerade motorvägsnätet i Sverige (E4, E6) uppgå till 300–400 MDSEK (Natanaelsson et al. 2021). Den stora utmaningen för staten är att investeringar i en specifik drivmedelsinfrastruktur är irreversibel – den har ingen alternativ användning om infrastrukturen visar sig bli underlägsen annan drivmedelsinfrastruktur. Vidare är samhällsekonomisk nytta avhängig hur prisbild för drivmedel, fordon, och infrastruktur förändras över tid, vilket utgör investeringsrisk. För att undvika att en för samhället underlägsen investering görs finns därför för statliga beslutsfattare (politiska) motiv till försiktighet. Effekten kan bli att mindre infrastruktursatsningar görs i många olika drivmedelsteknologier. Dels för att undvika offentlig opposition, dels för att skapa optionsvärde i form av att ytterligare lära och se innan storskaliga beslut tas. Om EU:s utsläppsmål för transportsektorn ska nås till år 2030, och sedermera nå en nollnivå år 2050 är det sannolikt att storskaliga infrastrukturbeslut för drivmedelsteknologi behöver fattas snarast. Partiöverskridande överenskommelser är därför kritiska. Att flera EU-länder går samman och gör liknande satsningar kan ytterligare reducera denna risk.

Ur åkerinäringens perspektiv blir den avvaktande approachen i offentligt infrastrukturbeslutsfattande en riskfaktor. Många olika drivmedelsteknologier är under utveckling, samtidigt som infrastruktur för att tanka/ladda fordon inte är utbyggd i den utsträckning att åkerier vågar ta risken att byta från nuvarande, för dem fungerande dieseldrift, till alternativ drivmedelsteknologi. Flertalet av de intervjuade åkerierna framhåller detta. De påpekar också att de är skeptiska till om infrastruktur för alternativa drivmedel kommer att finnas på plats i tillräcklig utsträckning till år 2030. Vidare uttrycker de också osäkerhet över hur skatter och subventioner av olika drivmedel kommer att förändras, och uttrycker att politiken vacklar över tid. I stället önskar de att politiken tar ställning och satsar långsiktigt på ett eller några få alternativ. Först då är de beredda att ställa om. Med tanke på de låga vinstmarginalerna och den hårda inhemska konkurrensen för åkerier är det avgörande för diffusionen av alternativa drivmedel att dessa ger dem kostnadsfördelar gentemot nuvarande dominerande diesellösning. De mest kritiska nyckelfaktorerna för åkerier vid nyanskaffning av fordon (drivmedelsval) vi har identifierat i denna studie är lastkapacitet, drivmedelskostnad, och inköpspris, jämte förarvärde. För omställning till fossilfrihet behöver därför såväl styrmedelsanvändning av staten, som fordonstillverkare och drivmedelsteknologileverantörer inriktas på att visa på kostnadsfördelar för åkerinäringen med att ställa om.

Utöver att kostnadseffektiviserande nyckelfaktorer verkar mest kritiska för åkerier, så samspelar dessa med hur viktiga identifierade effektivitets- och externa påverkansfaktorer (så som ex. tankningseffektivitet, miljövänlighet, styrmedel och

certifieringar) är för åkerier vid fordonsanskaffning. Denna komplexitet visar på behovet av beslutsstöd för åkerinäringen. Det framtagna prototypverktöget i detta projekt är ett första steg mot detta. Ett fullskaligt verktyg skulle i reell användning med tillhörande datainsamling kunna ge input om vilken av konkurrerande fossilfria drivmedelsteknologier som lämpar sig bäst för vilken typ av godstransport (gods, typ av trafik, typ av transport) för enskilda åkerier. Ett sådant verktyg behöver emellertid i större utsträckning fånga samspelet mellan nyckelfaktorer än vad prototypen gör i nuvarande form. Värdet av ett sådant fullskaligt verktyg är utöver att stödja åkerinäringen också erhålla förståelse om storleken på efterfrågan av olika fossilfria drivmedelsalternativ. Det skulle också kunna medge känslighetsanalyser av kritiska parametervärden för nyckelfaktorer och hur förändrade värden för nyckelfaktorer leder till preferensskiften mellan drivmedelsteknologier.

Slutligen, i genomförda intervjuer och i diskussioner med fordonstillverkare framträder elektrifiering av väggodstransporter som det mest troliga framtida drivmedelsalternativet. Elektrifiering av godstransporter får konsekvenser för behovet av elnätscapacitet. Statisk kontra dynamisk (elväg) laddning ställer därutöver olika krav på sådan kapacitet. Investeringar i elnät och energikällor är likt drivmedelsinfrastrukturinvesteringar stora till sin karaktär, och graden av ökad elektrifiering i samhället är svårprognosticerad. För ett hållbart energisystem behöver det tas höjd för att godstransporter (och persontransporter) på väg, kommer att elektrifieras. Särskilt då fordonstillverkare på utbudssidan för närvarande investerar i utveckling av elfordonsvarianter. Beslut om laddinfrastrukturutbyggnad behöver harmonieras med beslut om kapacitetsutbyggnad i elnätet. En annan konsekvens av elektrifiering av transporter är frågan om hur el som drivmedel kontra el för annan användning (e.g. uppvärmning) ska beskattas, med konsekvenser för statliga intäkter. Hur elektrifiering av godstransporter påverkar utbud och efterfrågan av el, samt när och hur transporter genomförs är andra komplexa frågor. Detta är bara några av de kritiska konsekvenser av elektrifierade godstransporter som mer ingående behöver analyseras och beaktas vid beslutsfattande om infrastruktursatsningar.

Det naturliga steget vidare är att validera prototypen med data ifrån användare. Valideringen skulle påvisa prototypens användning men också hur den skulle kunna vidareutvecklas till ett fullskaligt beslutsverktyg för åkerier.

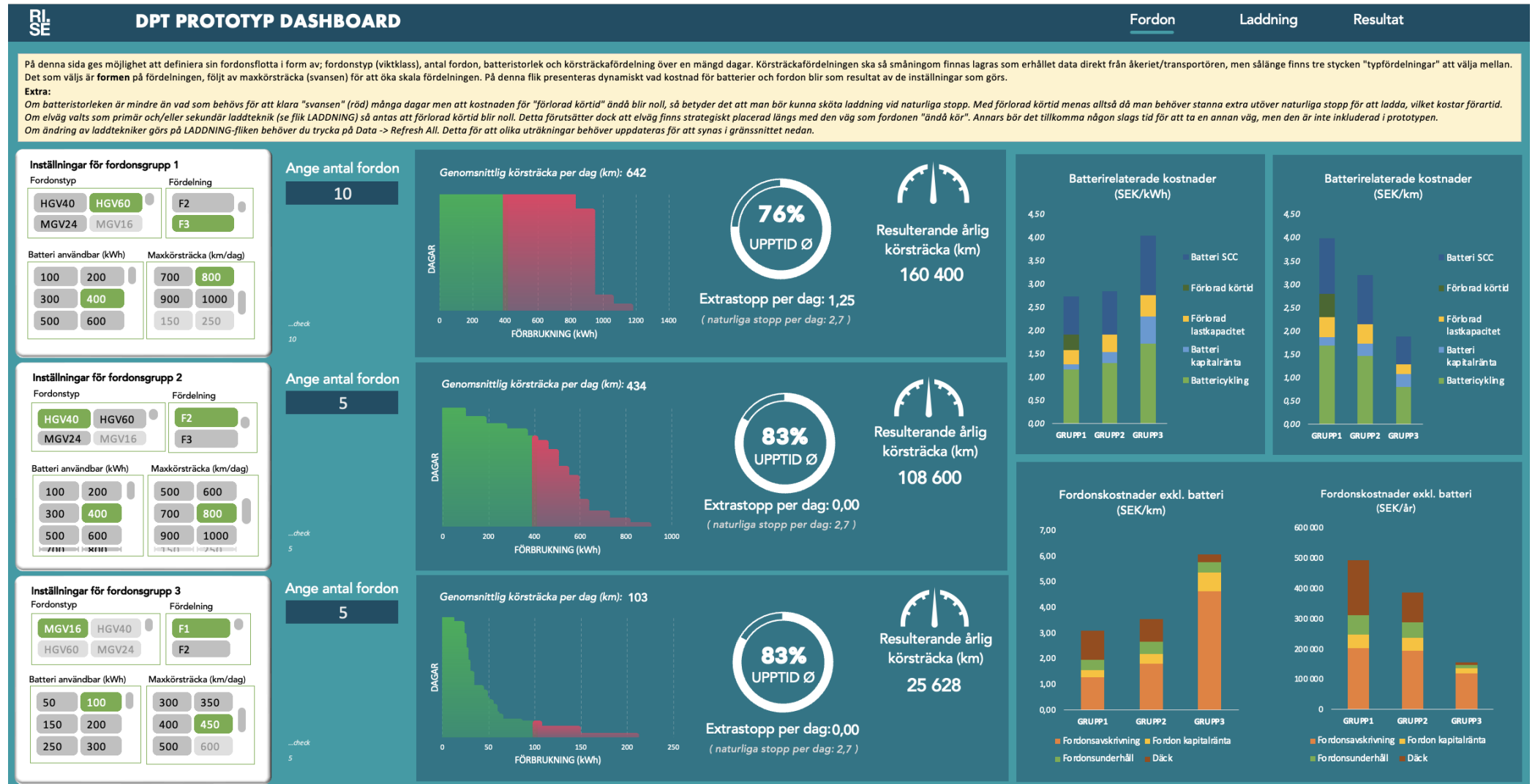
Referenser, källor

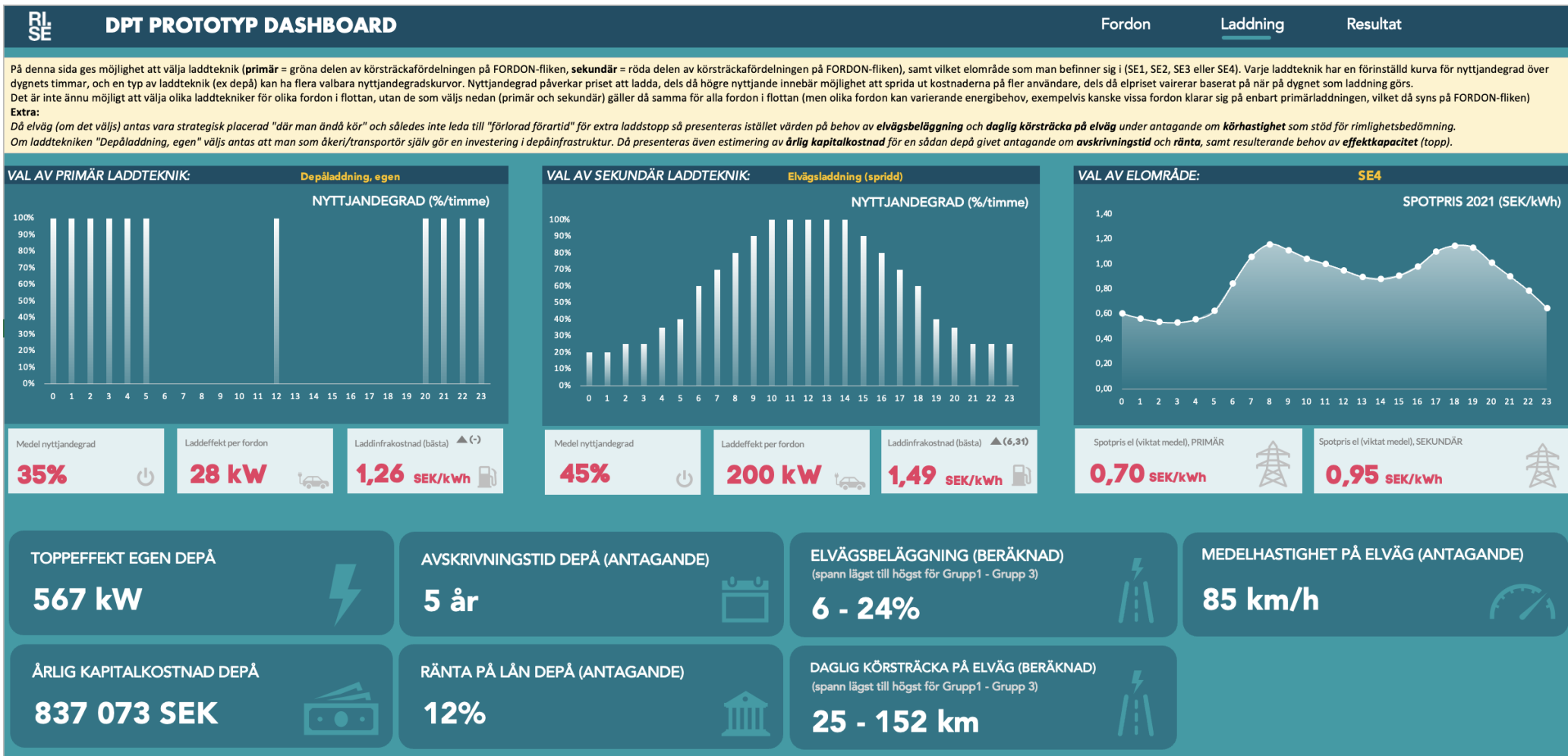
Rogstadius, J. (2022). *Interaktionseffekter mellan batterielektriska lastbilar, elvägar och statisk laddinfrastruktur: Resultat från högupplöst simulering av godstransporter på det svenska vägnätet under perioden 2020-2050*. RISE Research Institutes of Sweden, RISE Rapport 2022:110, ISBN: 978-91-89711-61-7, 2022.

- NetPort Science Park (2022). *GFS - Genomförbarhetsstudie elvägpilot E22*.
<https://gfs.netport.se/>.
- Trafikverket (2020). ASEK 7.0. *Kapitel 14 Operativa trafikeringskostnader för godstransporter*.
https://bransch.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-2021/asek-7_0-hela-rapporten-210601.pdf
- Nordpool (2021). *Day-ahead prices*. <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/SE/Hourly/?view=table>
- CLOSER (2020), *Hur får vi laddinfrastrukturen på plats*. Tillgänglig online:
<https://www.youtube.com/watch?v=7DS-sObX5tU&feature=youtu.be>
- Transportstyrelsen (2023). *Regler om kör- och vilotider. Gemensamma regler för EU*. <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Kor--och-vilotider/regler-om-kor--och-vilotider/>
- Ekonomifakta (2023). *Dieselskatt*.
<https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Styrmedel/Konsumtionsskatter-pa-diesel/>
- Dagens Nyheter (2021). *Bristen på lastbilschaufförer kan slå hårt mot Sverige*.
<https://www.dn.se/ekonomi/bristen-pa-lastbilschaufforer-kan-sla-hart-mot-sverige/>
- Basma, H., Saboori, A. and Rodriguez, F. (2021). Total cost of ownership for tractor-trailers in Europe: Battery electric versus diesel.
<https://theicct.org/publication/total-cost-of-ownership-for-tractor-trailers-in-europe-battery-electric-versus-diesel/>
- Bloomberg NEF. (2021). Hitting the EV inflection point: Electric vehicle price parity and phasing out combustion vehicle sales in Europe.
https://www.transportenvironment.org/wpcontent/uploads/2021/08/2021_05_05_Electric_vehicle_price_parity_and_adoption_in_Europe_Final.pdf
- Börjesson, M., Johansson, M., and Kågeson, P. (2021) “The economics of electric roads.” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 125: 102990.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.102990>.
- den Boer, E. et al. (2013) Zero emission trucks: An overview of state-of-the-art technologies and their potential. Delft. Available at: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/CE_Delft_4841_Zero_emissions_trucks_Def.pdf.
- Lövstål, E., Sällberg, H. och Wrenne A. (2023). Determinants of Electric Road System Adoption by Road Freight Companies. *International Journal of Innovation and Technology Management*. Forthcoming,
[10.1142/S0219877023500323](https://doi.org/10.1142/S0219877023500323)

Natanaelsson, K., Lindgren, M., Rydén, E., Hasselgren, B., Palo, K., and Grudemo, S. (2021). Analysera förutsättningar och planera för utbyggnad av elvägar. Trafikverket. Available at diva.org.

Bilagor

Bilaga A: Prototypverktygets gränssnitt




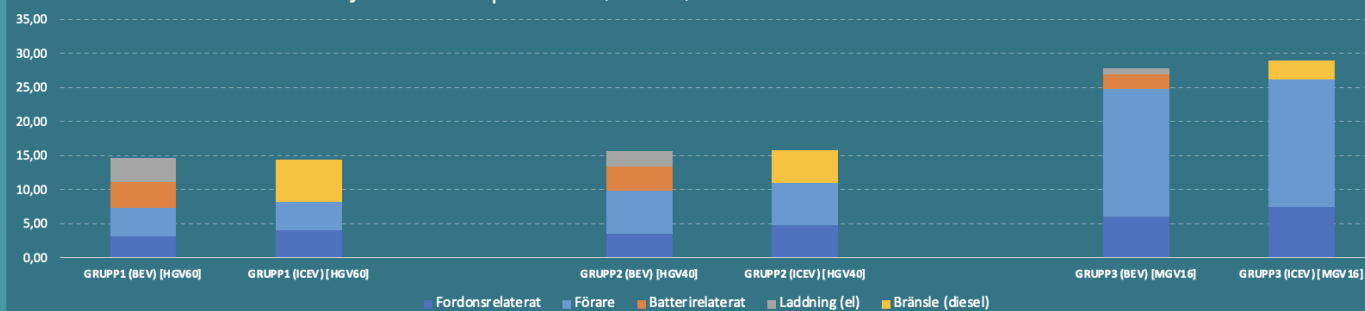
På denna sida presenteras systemkostnadsresultat per fordonskilometer samt per fordon per år. Dessa består av kostnader relaterade till **fordon, förare, batterier, laddning(el) och bränsle(diesel)**. Då det finns möjlighet att ha tre olika fordonsgupper i FORDON-fliken så presenteras maximalt även tre systemkostnadsresultat. En jämförelse görs mellan det elektrifierade alternativet (BEV) och motsvarande beräkningar för dagens dieselalternativ (ICEV) för respektive fordonsgrupp.

Eftersom det gjorts en del antaganden samt finns andra eventuella osäkerheter vad gäller kostnadsutveckling för vissa parametrar så introduceras ett flertal "sliders" på denna sida. Dessa kan användas för att öka/minska värden på olika inparametrar. Förändringen, referensvärdet och resulterande nytt värde visas vid gjorda förändringar. För att vissa förändringar ska få genomslag i resultatet kan man behöva trycka på Data -> Refresh All i Excel.

FÖRÄNDRAT PACKPRIS BATTERIER (SEK/kWh)

PRISPÅSLAG PUBLIK LADDNING (SEK/kWh)

FÖRÄNDRAT SPOTPRIS EL, MEDEL (SEK/kWh)

Systemkostnad per fordon (SEK/km)

Systemkostnad per fordon (SEK/år)
