



# RAPPORT

Samhällsekonomisk analys elväg E22

Projektet finansieras av Europeiska regionala utvecklingsfonden  
samt Region Blekinge



---

Publikation: Genomförbarhetsstudie elvägar E22 ”Riskanalys”– ”DELRAPPORT/ – AP  
Kostnadsintäktanalys”

Publiceringsdatum: 2023-02-23

Författare: Sällberg, H., Jienwatcharamonkhol, V.

Distributor: NetPort Science Park, Biblioteksgatan 4, 374 35, Karlshamn, Sweden

E-mail: info@netport.se, www.netport.se

## Sammanfattning

Investeringskostnaden i elvägsinfrastruktur per kilometer vägsträckning är betydande (12–25 MSEK). Trafikverkets planer om storskalig utbyggnad av mer än 3000 km elväg, etappvis i Sverige, innebär således en stor total investeringskostnad (> 400 MDSEK). Med tanke på alternativkostnaden för staten att genomföra en sådan satsning i syfte att reducera koldioxidutsläppen från tunga transporter, är det nödvändigt att kunna visa på satsningens ekonomiska lönsamhet. I denna delstudie analyseras därför samhällsekonomiska och företagsekonomiska effekter av en utbyggnad av elvägssystem som inbegriper elväg E22. Sträckningen mellan Karlshamn och Malmö fokuseras på som ett generaliserbart fall för hur ekonomiska förutsättningar för utbyggnad från primära motorvägar (E4, E6, E20) till sekundära motorvägar (inklusive E22) ser ut. I studien antas att det finns ett existerande elvägssystem på det primära motorvägsnätet. En ekonomisk metod för att analysera utbyggnad utvecklas och appliceras i denna rapport. Olika alternativ för tunga fordon (HGV40, HGV60– diesel, eldieselhybrid, och batterielektriska fordon). Resultaten visar att det är samhällsekonomiskt lönsamt att investera i elvägssystem jämfört med fortsatt med dieseldrift på sekundära motorvägsnätet. Resultaten visar vidare att högst samhällsekonomisk lönsamhet nås genom att omvandla fordonsparken till batterielektriska lastbilar med medelstora batterier. Dessa lastbilar kan då nyttja redan utbyggt elvägssystem på det primära motorvägsnätet och drivas med batterikraft på det sekundära motorvägsnätet. Känslighetsanalyser för erhållna resultat (investeringskostnad i elväg, drivmedelspriser, batteripackkostnad, brukaravgift för elväg) presenteras och rekommendationer för utbyggnad ges baserat på resultaten.

## 1. Utbyggnad av elvägssystem på svenska motorvägar

I denna rapport analyseras olika alternativ för utbyggnad av elvägssystem på svenska sekundära motorvägar. Sträckningen på Europaväg 22 (E22) mellan Karlshamn och Malmö analyseras specifikt, som ett generaliserbart fall för sekundära motorvägar i Sverige. I rapporten att ”*Analysera förutsättningar för och planera för utbyggnad av elvägar*” från år 2021 pekar Trafikverket på etappvis utbyggnad av elvägssystem för tung trafik på svenska motorvägar (Trafikverket, 2021). I en första fas omfattas de mest trafikerade motorvägarna E4, E6 och E20– som utgör triangeln Malmö–Göteborg–Stockholm. I en senare fas avses ett sådant elvägssystem skalas upp till att också inkludera sekundära motorvägar inklusive E22. Då investeringskostnaden i elväg per kilometer vägsträcka förväntas förbli hög (12–25MSEK) enligt tidigare studier (Ainalis et al., 2020; Taljegård et al. 2020; Börjesson et al., 2021) är det viktigt att analysera om det är samhällsekonomiskt lönsamt att skala upp elvägar till det sekundära motorvägsnätet i Sverige. Alternativkostnaden för offentlig sektor är således hög. Aktuell forskning pekar på elektrifiering av transporter som den mest lovande lösningen för att reducera koldioxidutsläpp från vägtransporter. Vägtransporter står för cirka 13% av de globala koldioxidutsläppen (Ritchie et al. 2020). Inom EU har ambitiösa utsläppsmål från denna sektor satts till år 2030 för att slutligen nå nollutsläpp omkring år 2050. För att nå dessa mål, krävs en relativt snabb omställning från dagens dieseldominerade tunga trafik till en lastbilsflotta som drivs av utsläppsåla drivmedel.

Ett huvudalternativ för elektrifiering av tunga godstransporter är att förse lastbilar med elmotorer och tillhörande stora batterier så att statisk laddning (laddning/ bränslepåfyllnad när fordonet står stilla) i depot eller vid destination blir tillräcklig. Det andra huvudalternativet är att ladda lastbilar dynamiskt (medan de är i rörelse på väg– elvägar). Vilket av dessa huvudalternativ som är att föredra samhällsekonomiskt är osäkert till följd av svårigheten att förutse teknologisk utveckling avseende fordon, och laddinfrastruktur. Annan komplexitet är hur bränslepriser kommer att förändras över tid (c.f. Zhang et al. 2019), hur batteriers effektivitet och prisbild förändras (Bloomberg, NEF, 2021) närmaste årtiondet, samt hur kostnaden för elvägsinfrastruktur förändras över tid (c.f. Ainalis, et al., 2020). Elvägsinfrastruktur innebär vidare påverkan på elnätskapacitet, samt inbegriper flertalet olika aktörer (e.g. vägghållare, teknologileverantör, elnätsbolag, kraftnätsägare, åkerier, operatör) med inverkan på kostnad och nyttjande.

Värdet av ett nätverk, så som ett elvägssystem, är beroende av dess omfattning (c.f. Birke, 2009). Detta för att skapa tillräckliga incitament för åkerier att nyttja nätverket och ställa om till förnybara drivmedelslösningar, samt för att få lastbilsproducenter att producera elvägskompatibla fordon i tillräcklig skala för att fordonspriser ska bli konkurrenskraftiga jämfört med dagens dieselfordon.

Ökade investeringar i och lanseringar av elektrifierade lastbilar av fordonstillverkare har skett på senare tid vilket pekar på behoven av utbyggnad av laddinfrastruktur för att möta förändrat fordonsutbud. Samtidigt, i avsaknad av elektrifierad lastbilsflotta i stor skala (i Sverige och globalt), samt i avsaknad av storskalig implementering av elvägssystem på motorväg i stor skala, kvarstår mycket osäkerhet kring elvägssystemens samhällsekonomiska lönsamhet. Denna rapport utgör därför kompletterande input till beslutsfattare vid bedömning i att investera i storskalig elvägsutbyggnad på motorväg eller ej i svensk kontext. Specifikt kommer följande huvudfrågeställning och delfrågeställningar att besvaras:

- Är det samhällsekonomiskt lönsamhet att bygga ut elvägsinfrastruktur för sträckningen Karlshamn-Malmö (E22) givet att triangeln Malmö-Göteborg-Stockholm redan är utbyggd (E4, E6, E18)?
  - Hur påverkar fordonsflottans egenskaper (batterielektriska fordon kontra eldieselhybrid?) denna lönsamhet?
  - Hur påverkas samhällsekonomisk lönsamhet av att istället för att utvidga elvägssystemet till sekundära motorvägar, förse lastbilar med större batterikapacitet som gör dynamisk laddning på sekundära motorvägar redundant?

Framför allt tung trafik, och då regional och långdistanstrafik kan ha ett stort behov av dynamisk laddning– det vill säga tankning/framdrift under färd. Detta då transporteffektivitet påverkas om lastbilar behöver stanna för att laddas statiskt, med konsekvenser för logistikkedjor. Stora batterier på fordon är vidare en kritisk fråga då EU-regler stipulerar total maxvikt för tunga fordon (framför allt HGV40 och HGV60 för regionala och långdistanstransporter). Stora batterier jämfört med mindre batterier minskar därför lastkapaciteten för fordonen (c.f. Den Boer et al. 2013) vilket potentiellt medför fler tunga fordon i transportsystemet, med ökad total transportkostnad som konsekvens.

Återstoden av denna rapport är organiserad som följer. I nästa avsnitt, går tidigare samhällsekonomiska analyser av införande av elvägssystem på motorväg igenom. Detta görs i syfte att motivera behovet av denna rapportens genomförda analyser. Därefter presenteras i avsnitt 3 den metodik som appliceras för att mäta samhällsekonomisk lönsamhet av expansion av elvägssystem till sekundära motorvägar. I avsnitt fyra presenteras resultaten inklusive genomförda känslighetsanalyser avseende viktiga indataparametrar. Rapporten avslutas med slutsatser och rekommendationer för utbyggnad av elvägssystem på E22.

## 2. Samhällsekonomisk analys av elvägsutbyggnad: relaterade studier

I svensk kontext har studier visat på samhällsekonomisk lönsamhet av storskaligt införande av elvägssystem för tung trafik. Taljegård et al. (2020), i en studie av det svenska och norska motorvägsnätet, visar att en utbyggnad av de 25 procent mest trafikerade vägstråken leder till att 70 procent av trafiken på dessa stråk elektrifieras. Detta motsvarar vidare 35 procent av totala antalet fordonskilometer sett till norska och svenska vägtransporter. Vidare visar studien att elektrifiering av 40 procent av europa- och riksvägar i Sverige skulle leda till 55 procent minskade koldioxidutsläpp från lastbilstrafik på dessa vägar. Författarna visar därutöver att personbilars användning av elvägssystemet bidrar till ytterligare sänkt infrastrukturkostnad per fordonskilometer samt minskade utsläpp. Möjligheten för personbilstrafik att också nyttja elvägssystemet är betingat elvägsteknisk lösning (c.f. Natanaelsson et al., 2021).

Natanaelsson et al., (2021) analyserar samhällsekonomiska lönsamheten av utbyggnad av ett storskaligt elvägssystem på svenska motor- och riksvägar omfattande 2000 km. I studien jämförs olika scenarier avseende mängden biodrivmedelsinblandning (dvs reduktionsplikt) i diesel över tid, investeringskostnaden i elvägsinfrastruktur per kilometer vägsträcka, samt olika grad av överflyttning av tung trafik från dieseldrift till eldrift. Resultaten av analysen

visar att enbart under gynnsamma förhållanden (anpassad reduktionsplikt, hög trafiköverflyttning till elväg, låg investeringskostnad i elväg), uppvisar ett storskaligt införande samhällsekonomisk lönsamhet. Mot denna bakgrund pekar författarna på att statisk laddning av tunga fordon i kombination med utökad biodrivmedelsinblandning som en effektiv lösning i närtid för att nå klimatnytta. Vid gynnsamma förhållanden för elvägssystem visar studiens resultat att utsläppsreduktion om 9-18 procent av totala utsläpp från tung trafik är möjlig år 2040. Detta skulle motsvara 12,5 – 25 procent av utsläppen från tung trafik år 2018. Den samhällsekonomiska analysen beaktar en 40 årig ekonomisk livslängd, investeringskostnad i elvägsinfrastruktur i spannet 10–21 MSEK per km vägsträckning (dubbelriktad), drivmedelskostnadsdifferens mellan diesel och el per fordonskilometer om 1.5–2SEK, merkapitalkostnad för elektrifierade fordon (120KSEK -350KSEK, samt andel ÅDT över tid som nyttjar elvägssystemet (25 procent år 2040). Studien visar således på komplexiteten i att analysera förutsättningar för införande av elvägssystem, där framtida priser och kostnader för e.g. fordon, elvägsinfrastruktur, drivmedel, underhåll och utsläpp är osäkra med konsekvenser för elvägars nyttjandegrad.

Börjesson et al. (2021) utvecklar och applicerar en metodik för att analysera den samhällsekonomiska lönsamheten av införande av elvägssystem på E4 och E6– stråket Göteborg-Malmö-Stockholm analyseras av författarna. Med hjälp av metodiken visar författarna på samhällsekonomisk lönsamhet (där diesel är benchmark) redan av en mindre elvägsutbyggnad (Stockholm-Norrköping). En storskalig utbyggnad om 1900km elväg på E4 och E6 uppvisar betydligt högre samhällsekonomisk lönsamhet. Författarnas analys skiljer sig från Natanaelsson et al (2021) i ett antal avseenden. Börjesson et al (2022) antar att dieselfordonen uppgraderas till dieselhybridfordon med pantografsystem som möjliggör nyttjande av konduktivt elvägssystem. Natanaelsson et al (2021) förhåller sig neutrala till elvägstekniklösning, samt antar elektrifiering av fordon utan att specificera hur fordonsflottan skiftar från dieseldrift till eldrift (eldieselhybrid eller batterielektriskt fordon). Vidare skiljer sig de båda analyserna avseende (i) antaganden om hur stor andel av den tunga trafiken på elektrifierade vägstråk som nyttjar infrastrukturen; (ii) metod för att sätta brukaravgiften för elvägssystemet där Börjesson et al (2022) applicerar en metod för att komma fram till denna avgifts storhet så att användarnas avgift sätts till marginalkostnad för staten (iii) ekonomisk livslängd om 15 år jämfört med 40 år för investeringen i elvägsinfrastruktur. Börjesson et al analyserar vidare om statisk laddning i kombination med stora batterier för tunga fordon (i stället för elvägsinfrastruktur och eldieselhybridfordon) är att föredra framför investering i ett omfattande elvägssystem. Givet aktuella batteripriser, statisk laddinfrastrukturkostnadsnivå och tillgänglighet i elnätskapacitet vid analysstidpunkten finner de inte att en sådan lösning vore att föredra framför att investera i elväg. Samtidigt pekar författarna på att mycket är osäkert avseende hur snabbt utvecklingen sker avseende batteriers vikt och pris över tid, samt hur kostnad för statisk laddinfrastruktur förändras, med konsekvenser för denna slutsats.

Analys av elvägsutbyggnad för tunga fordon i andra landskontexter har också uppvisat samhällsekonomisk lönsamhet. Ainalis et al (2020) argumenterar för elvägssystem på motorvägar som det mest energieffektiva, kostnadseffektiva, och snabbaste alternativet för Storbritannien att reducera utsläpp från godstransporter på väg. Författarna visar på hur en etappvis utbyggnad över 10 år kan skapa ett storskaligt elvägssystem om 7500km (dubbelriktad) år 2035. Författarnas analys visar att detta system skulle vara samhällsekonomiskt lönsamt. Analysen innefattar likt Börjesson et al. 2021 en övergång från dieselfordon till hybridfordon kompatibla med ett konduktivt elvägssystem. Till skillnad från Börjesson et al antas etappvis utbyggnad av elvägssystem i tre faser (Börjesson et al antar en

5-årig utbyggnadsfas i Sverige med start 2025), med en investeringskostnad i elvägsinfrastruktur per km om £1.5 i den initiala fasen som är avtagande ner till £1 i den tredje och sista utbyggnadsetappen (Börjesson et al. antar €2.5M/km).

Coban et al. (2022) analyserar samhällsekonomisk lönsamhet av att införa ett omfattande elvägsnätverk i Turkiet om 26 000 km, täckandes större delen av landets vägnät. Författarna visar på hur total energisystemskostnad kan minskas med upp till 8.5 procent genom att elvägsanpassa 50 procent av den turkiska fordonsflottan. Detta i jämförelse med ett antal scenarier för batterielektriska fordon med större batterier, samt fossildrivna fordon som alternativ. Vidare visar författarna analys på att om ett stort batteri ersätts med ett mindre batteri för varje sålt fordon i Turkiet, har tillräckliga besparingar i landet nåtts efter 3 år för att elektrifiera alla större inrikes vägar. Till skillnad från Börjesson et al och Ainalis et al beaktar Coban et al att flera olika fordonstyper (personbilar, bussar, och lastbilar) kan nyttja elvägssystemet.

Merparten av tidigare studier pekar på elvägssystem som ett samhällsekonomiskt attraktivt sätt att skapa klimatnytta i europeiska länder. Utöver landspecifika egenskaper, finns skillnader i antaganden mellan dessa studier. Specifikt gäller det: investeringskostnad, konstruktionslängd och livslängd för elvägsinfrastruktur, nyttjandegrad av infrastrukturen, samt elektrifieringskostnad och omställningstakt till elektrifierade fordon. Samtliga studier pekar unisont på osäkerheten kring batteriers utveckling och framtida prisbild.

Denna rapport kompletterar dessa tidigare studiers framsteg genom att beakta ytterligare dimensioner för elvägssystem vara eller inte vara i syfte att minska klimatpåverkan från tunga trafik. Dels fokuseras på uppskalning av elvägssystem givet att de mest trafikerade vägstråken redan elektrifierats. Det är således inte uppenbart att det bästa alternativet är att fortsätta bygga ut elvägsinfrastruktur till sekundära motorvägar givet att primära motorvägar redan är elektrifierade. Ett potentiellt mer samhällsekonomiskt lönsamt alternativ kan i stället vara att förse tunga fordon med något större batterier i kombination med depåladdning. I återstoden av denna rapport analyserar vi specifikt denna fråga. Då batterikostnaden är betydande för tunga fordon (c.f. Bloomberg, NEF, 2021) och då det råder hög osäkerhet avseende investeringskostnadens storlek per kilometer utbyggd elväg (c.f. Natanaelsson et al. 2021) är dessa bägge dimensioner viktiga att beakta. Återstoden av denna rapport fokuseras därför till att analysera om och hur fordon och/ eller väginfrastruktur bör elektrifieras.

### **3. Genomförande av samhällsekonomisk analys för elvägsuppskalning**

Kostnadsintäktsanalys genomförs genom att jämföra ett grundscenario med alternativa scenarion. Grundscenariot (i) utgörs av ett befintligt elvägssystem på det primära motorvägsnätet som binder samman triangeln Göteborg-Stockholm-Malmö. Detta scenario harmonierar med Trafikverkets planer (Natanaelsson et al., 2021) samt tidigare kostnadsintäktsanalyser i svensk kontext (Börjesson et al., 2022). I grundscenariot antas därför lastbilsflottan redan vara anpassad och kompatibel med elvägsnyttjande-eldieselhybridlastbilar antas i detta relativt tidiga skede. Dessa lastbilar antas nyttja

elvägssystemet på det primära motorvägsnätet, medan de drivs av dieselbränsle på det sekundära motorvägsnätet.

### 3.1 Uppskalningsscenarioer för sträckningen Karlshamn-Malmö

Vi definierar två alternativa scenarion i uppskalningsanalysen, (ii) och (iii). I scenario (ii) antar vi en utbyggnad av elvägssystemet till det sekundära motorvägsnätet, representerat av en 150km lång sträckning på E22 mellan Malmö och Karlshamn. I alla andra avseenden är scenario (i) och (ii) identiska. I scenario (iii) antar vi ingen utbyggnad av elvägssystemet till sträckningen Malmö-Karlshamn. I stället ersätts hybridlastbilar med batterielektriska lastbilar med större batterier (än för hybridvarianterna) så att de kan framföras med hjälp av batterikraft i stället för diesel på det sekundära motorvägsnätverket. I scenario (iii), analyseras därför till skillnad från tidigare scenarion inte längre den specifika vägsträckningen Malmö-Karlshamn. Detta då vi måste ta hänsyn till att de batterielektriska fordonen kan nyttja sin batterikraft närhelst den inte befinner sig på det primära motorvägsnätverket (där de drivs av den elektrifierade vägen). I scenario (iii) antar vi därför att 95 procent av alla lastbilar i Sverige är batteridrivna ellastbilar och att de nyttjar sin batterikraft på svenska sekundära motorvägsnätet (omfattande 1500km, det primära motorvägsnätet omfattar även det drygt 1500km). Scenarion för uppskalning är således:

- (i) Eldieselhybridlastbilar drivs med diesel mellan Malmö och Karlshamn. På det primära motorvägsnätet (Stockholm-Göteborg-Malmö) nyttjar dessa fordon elvägssystemet. (Grundscenario).
- (ii) Elvägsnätet byggs ut motsvarande 150km på E22 mellan Malmö- Karlshamn. Eldieselhybridlastbilar drivs av diesel när det inte befinner sig på denna sträckning eller på det primära motorvägsnätet som är elektrifierade. Allt annat lika som (i).
- (iii) Inget elvägssystem byggs ut mellan Malmö och Karlshamn. Dieselhybridlastbilar byts ut mot plug-in batterielektriska lastbilar (450kwh batteri för HGV40 och 675kwh för HGV60). Detta implicerar att fordonen kan färdas 360km med hjälp av sin batterikraft, så att de kan trafikera det sekundära motorvägsnätet. På det primära motorvägsnätet drivs de fortsatt av den elektrifierade vägen.

### 3.2 Kostnadsintäktmodell

En modifierad kostnadsintäktmodell, utvecklad av Börjesson et al. (2022) appliceras i denna studie. Denna modell appliceras till följd av dess höga grad av systematik och transparens, samt att den beaktar de viktiga påverkansfaktorerna för elvägssystemets samhällsekonomiska lönsamhet.

Vi jämför således scenario (i) med scenario (ii) och (iii). Vi antar att startåret för nyttjande av det uppskalade elvägssystemet är år 2030 vilken föregås av en konstruktionsperioden på 5 år med start 2025. För år 2030, antar vi att priset för koldioxidutsläpp är  $C$  (€/kg), och att det genomsnittliga antalet fordonskilometer per kilometer väg är  $V$ , samt att koldioxidutsläpp för diesellastbilar per fordonskilometer är  $F$  (kg/km). För startåret antar vi vidare att driftskostnaden är  $D+U$ , där  $U$  är brukaravgiften för elvägssystemet och  $D$  skillnaden i lastbilars bränslekostnad per kilometer för diesel gentemot el. Vi antar att differensen i dieselskatt och elskatt är  $T$ . Elvägssystemets storlek antas vara constant om  $L$  för analysens samtliga år. Vi antar en ekonomisk livslängd för elvägsinfrastrukturen om 15 år (2030 – 2044). Detta relativt modesta antagande är i linje med tidigare studier (c.f. Börjesson et al. 2021). Andelen svenska lastbilar (HGV40 samt HGV60) som är eldieselhybrider (samt batterielektriska fordon) är  $\theta$ . Det senare modelleras av Börjesson et al (2022) baserad på data från SAMGODS. Vi antar att marginalkostnaden för att underhålla elvägssystemet är  $M$



€/lastbil och km elväg. Vi antar vidare att  $U=M$ , vilket implicerar att användarna (åkerier) betalar samhällsekonomisk marginalkostnad för elvägsnyttjande. Vi applicerar samma procedur som Börjesson et al (2022) för att komma fram till denna marginalkostnad.

Ovan ger att samhällsekonomisk intäkt för startåret (2030) är:

$$W_{ii} = L \cdot V \cdot \theta (D + U) - L \cdot V \cdot \theta \cdot M + L \cdot V \cdot \theta \cdot C \cdot F + L \cdot V \cdot \theta \cdot T. \quad (1)$$

Det första matematiska ledet uttrycker företagsekonomisk lönsamhet för åkerier. Det andra matematiska ledet anger kostnaden för ägaren av elvägssystemet (som vi antar är staten baserat på resultat av workshops med elvägsintressenter, se Sällberg och Numminen, 2022). Den tredje termen mäter nyttan av minskade koldioxidutsläpp. Den fjärde och sista uttrycket i ekvationen mäter skatteintäktsbortfallet för staten. Nuvärdet av denna nytta måste tas, samt investeringskostnadens nuvärde subtraheras för att få samhällsekonomisk netto nytta av elvägsinvesteringen.

För jämförelse av (i) och (iii) beräknas samhällsekonomisk intäkt som följer:

$$W_{iii} = \tilde{L} \cdot V \cdot \theta \cdot D + \tilde{L} \cdot V \cdot \theta \cdot C \cdot F + \tilde{L} \cdot V \cdot \theta \cdot T - \theta \cdot K \cdot S, \quad (2)$$

$S$  Är den årliga merkapitalkostnaden för BETs (mestadels till följd av batteristorlek) jämfört med kapitalkostnad för hybridlastbil. Noteras bör för analysen att emedan större batteri medför lägre lastkapacitet, så medför övergången från hybridlastbil med dubbla motorsystem till enkom ett elmotorsystem en reducering av total fordonsvikt. För aktuella batteristorlekar för batterielektriska fordon antas utifrån (Den Boer et al. 2013) att dessa två lastkapacitetspåverkande faktorer utgör ett nollsummespel. Uttrycket  $\theta \cdot K$  är antalet eldieselhybridfordon som byts ut till batterielektriska motsvarigheter, där  $K$  är antalet tunga fordon (HGV40 och HGV60) i Sverige.  $\tilde{L}$  noterar längden (km) för det sekundära motorvägsnätet i Sverige.

Nuvärdet av samhällsnytta för scenario (iii) över investeringens ekonomiska livslängd mäts med hjälp av:

$$\Omega_b = \sum_{y=1}^Y (W) \frac{(1+g)^y (1+b)^y}{(1+r)^y}, \quad (3)$$

Där  $Y$  är investeringens livslängd (15 år), det vill säga antalet år investeringen förväntas generera värde. Notationen  $r$  är diskonteringsräntan för staten,  $g$  noterar trafik tillväxten per år, och  $B$  är BNP/capitatillväxt årligen. Vi antar således att värdet av elvägsinvesteringens skapade nyttor växer proportionerligt med BNP/capitatillväxt. Detta innebär således att driftskostnadsbesparingen av att lastbilar drivs med el istället för diesel ökar med BNP/capita. Detsamma gäller marginalkostnaden för att underhålla elvägssystemet ( $D+U$ ). Denna procedur är konventionell för samhällsekonomiska analyser.

För jämförelsen mellan scenario (i) och (ii) beräknas nettonuvärdeskvoten av investeringen som följer:

$$NBCR = \frac{\Omega_b - LI_b}{LI_b}, \quad (4)$$

Där nettonyttan utgörs av  $\Omega_b - LI_b$ , det vill säga skillnaden mellan investeringens uppsida för samhället och investeringskostnaden för elvägssystemet. För scenario (ii) beräknas ej nettonuvärdeskvot då investeringskostnaden är noll.

### *3.3 Parametrar och parametervärden*

Som tidigare nämnt är en av svårigheterna att skatta framtida värden för analysens ingående parametrar. Detta gäller till exempel hur drivmedelspriser (diesel, el) utvecklas över tid. Dessa priser tenderar att uppvisa volatilitet (c.f. Zhang et al. 2019.) vilket skapar osäkerhet för genomförd analys. En annan kritisk osäkerhetsfaktor är hur investeringskostnaden i elväg påverkas av storskalig utbyggnad. I avsaknad av större utbyggnad är sådana skalfördelar i dagsläget okända. Ytterligare en kritisk osäkerhetsfaktor är hur batteriers prisbild förändras över tid, med konsekvenser för fordonskostnader, där olika prognoser landar i divergerande estimat (c.f. Anculle et al., 2021; Bloomberg NEF, 2021). I svensk kontext är därutöver eventuell anpassning av reduktionsplikten, som Natanaelsson et al. 2021 också pekar på, ytterligare en osäker faktor med konsekvenser för samhällsekonomisk lönsamhet av elektrifiering av transporter. Vid val av indataparametervärden för denna studie har följande beaktats vid val mellan källor: (a) hur omfattande och robust analys som underliggör de prognosticerade värdena; (b) hur nutida de prognosticerade värdena är. På så vis har vi efter bästa förmåga försökt skatta de indataparametervärden för analysen som anges i Tabell I. Utifrån indata som anges i Tabell 1 har parametervärden endera direkt applicerats eller beräknats för parametrar i den ekonomiska modellen.

För att ytterligare beakta osäkerhet avseende parametervärden genomförs känslighetsanalyser avseende investeringskostnad i elvägsinfrastruktur, batteripris, statisk laddinfrastruktur, brukaravgift för elväg samt drivmedelspriser. Relevant vetenskaplig litteratur, och industrirapporter ligger till grund för de intervall för parametervärden som beaktas i känslighetsanalysen.

Tabell 1 Parametervärden för kostnadsintäktsanalysen (2030 års värden)

<b>Item</b>	<b>Värde</b>	<b>måttenhet</b>	<b>Källa</b>
<i>FORDON</i>			
Inköpspris diesellastbil	100,000	€	Taljegård et al. (2020)
Inköpspris eldieselhybridlastbil	125,250	€	Baserat på Hunter et al. (2021), och Kühnel et al. (2018)
Inköpspris batterielektrisk lastbil	136, 650		Baserat på Trafikverket (2020)
Fordons ekonomiska livslängd (tid)	8	years	Taljegård et al. (2020)
Fordons ekonomiska livslängd (km)	600,000	km	Trafikverket (2020), Taljegård et al. (2020)
Fordonsflotta HGV40 (n)	9,249	trucks	Baserat på Börjesson et al. (2021)
Fordonsflotta HGV60 (n9)	20,839	trucks	Baserat på Börjesson et al. (2021)
Andel dieselhybridfordon (batterielektriska fordon)	95	%	Baserat på Börjesson et al. (2021)
<i>BRÄNSLE</i>			
Dieselskatt	0.59	€/litre	Drivkraft Sverige (2021)
Bränsleekonomi dieselfordon	0.31	litre/km	Kühnel et al. (2018)
Dieselskostnad per fordonskilometer	0.48	€/km	Baserat på Drivkraft Sverige (2021), Kühnel et al. (2018),
Kostnad för el utan skatt	0.07	€/kWh	Börjesson et al. (2021), Vattenfall AB (2022)
Skatt på el	0.0347	€/kWh	Börjesson et al. (2021), Vattenfall AB (2022)
Bränsleekonomi el för fordon	1.51	kWh/km	Börjesson et al. (2021), Vattenfall AB (2022)
Elnätsavgift	0.01	€/kWh	Börjesson et al. (2021)
Brukaravgift elväg	0.109	€/km	Baserat på Börjesson et al. (2021)
<i>INFRASTRUKTUR</i>			
Investeringskostnad elvägsinfrastruktur	1,500,000	€/km	Based on Ainalis et al. (2020); Börjesson et al. (2021), Trafikverket (2021), Taljegård et al. (2020)
Statisk laddinfrastrukturkostnad (depå)	0.07	€/vkm	Karlström (2020)
<i>VÄGNÄT</i>			
Sekundära motorvägsnätet Karlshamn-Malmö	150	Km	Trafikverket (2021)
Totalt Sverige	1500	km	
<i>BATTERI</i>			
Kostnad batteripack	56	€/kWh	BloombergNEF (2021)
Livslängd batterier	5	years	Karlström (2020)
<i>ANDRA KI-PARAMETRAR</i>			
Diskonteringsränta	3.5	%	Börjesson et al. (2021)
Marginalkostnad offentliga medel	1.3	%	Swedish Transport Administration (2018)
konstruktionsstartsår	2025		
Startår för infrastrukturanvändning	2030		
Investerings ekonomiska livslängd	2025–2044		
BNP/capitatillväxt årligen ( <i>b</i> )	2	%	Swedish Transport Administration (2018)
Årlig trafikvolymstillväxt ( <i>g</i> )	1.8	%	Swedish Transport Administration (2021a)
Externa kostnader för elvägsslitage	0.088	€/vkm	Börjesson et al. (2021)
Externa kostnader för diesellastbilars koldioxidutsläpp	0.107	€/vkm	Based on Kühnel et al. (2018), Trafikverket (2020)

#### 4. Resultat och känslighetsanalys av elvägsuppskalning

Resultaten för kostnadsintäktsanalysen av en expansion av ett elvägssystem i Sverige från primära motorvägsnätet till det sekundära motorvägsnätet (här Karlshamn-Malmö) presenteras i Tabell 2 nedan. För att beräkna samhällsekonomisk intäkt användes (2), för att beräkna nettonuvärde användes (3) och för att beräkna nettonuvärdeskvot används (4). Kolumn 2 i Tabell 2 redovisar resultaten för scenario (ii)– hur utbyggnad av elvägssystemet från det primära motorvägsnätet till att också inkludera Karlshamn – Malmö står sig samhällsekonomiskt relativt grundscenariot (i) då eldieselhybridlastbilar drivs av diesel på denna 150km-sträckning. Resultatet av analysen visar på en samhällsekonomisk lönsamhet om €M174 för elvägsexpansion. Kostnadsbesparingar i form av bränslekostnader för åkerier driver denna lönsamhet. Företagsekonomiskt indikeras således att det finns potential att expandera elvägssystemet till sekundära motorvägar, givet att fordonsflottan primärt består av eldieselhybridfordon. Då åkeribranschen kännetecknas av relativt låga vinstmarginaler och hög konkurrens kan sådana kostnadsbesparingar vara viktiga för branschens aktörer (c.f. Långberg, 2021). Noterbart för scenario (ii) är att inga kapitalkostnader för fordon tillkommer då fordonen redan är anpassade till elvägsanvändning till följd av det befintliga elvägssystemet på primära motorvägsnätet.

Tabell 2: Resultat av kostnadsintäktsanalys av elvägsuppskalning, Malmö-Karlshamn (€M, 2030 års värden).

	Scenario (ii)	Scenario (iii)
Klimatnytta (koldioxidutsläppsminskning)	11.2	151.3
Skatteintäktsbortfall (staten)	-13.5	-220.0
Brukaravgifter elvägssystem	11.5	102.1
Driftskostnad elvägssystem	-11.5	-102.1
Vinst för åkerier	22.7	263
<i>Bränslekostnadsbesparing</i>	34.2	501
<i>Kapitalkostnadsbesparing (fordon)</i>		75
<i>Brukaravgifter</i>	-11.5	-102.1
<i>Batterikostnader</i>		-111.4
<i>Laddinfrastrukturkostnad (depå)</i>		-101.8
Ssmhällsekonomisk intäkt (2030)	20.4	194.5
NPV samhällsek. intäkt (2030–2044)	340.9	3243.7
NPV investeringskostnad (2025–2029)	-166.8	0
NPV Samhällsekonomisk lönsamhet	174.0	3243
Nettonuvärdeskvot (NBCR)	1.04	N/A

Kolumn 3 i Tabell 2 visar resultaten av att i stället för att bygga ut elvägssystemet från det primära till sekundära motorvägsnätet byta ut eldieselhybridlastbilsflottan mot batterielektriska lastbilar med större batterier än för hybridfordonen. Detta ger HGV40- och HGV60-lastbilar möjlighet att färdas med batterikraft om 360km på sekundära motorvägsnätet. I scenario (iii) jämförs därför ett motorvägsnät om 1500km primär elektrifierad motorväg samt 1500km sekundär motorväg mot ett scenario (i) där 1500km primär elektrifierad motorväg samt 1500km sekundär motorväg där elhybridlastbilar drivs av diesel på det sekundära motorvägsnätet. Detta görs då hänsyn behöver tas till att batterikraften kan nyttjas var som helst i vägnätet för batterielektriska fordonen. På så sätt är resultaten i (ii) inte jämförbara med de i

(iii). Då vägnätet är ungefär 10 gånger större i fallet (iii) än (ii) visar resultaten emellertid att samhällsekonomiska intäkt för de båda alternativen är jämförbar. Det som genererar högre samhällsekonomisk lönsamhet för (iii) gentemot (ii) är merinvesteringskostnaden i utbyggnad av ytterligare elväg jämfört med att investera i statisk depåladdinfrastruktur. Bortsett ifrån batterikostnad förväntas kapitalkostnaden för batterielektriskt fordon vara lägre än den för motsvarande eldieselhybridfordon (c.f. Hunter et al. 2021). Med hänsyn tagen till batterikostnad är dock investeringskostnaden i fordon högre för batterielektriska varianten.

Då varken depåladdinfrastruktur för tung trafik, eller annan statisk laddinfrastruktur för tunga fordon så som privat och publik snabbaddning, byggts ut i större skala är skattningarna högst osäkra. Motsvarande gäller investeringskostnaden i elvägssystem som vid expansion kan ges skalfördelar i form av lägre marginell investeringskostnad per km, så som antas av bland andra Ainalis et al. (2020). Sett till den applicerade kostnadsintäktsmodellen, och valda indataparametrar och drivlinor för de två alternativa scenarierna, förefaller det superiora alternativet vara att inte bygga ut elvägssystemet till sekundära motorvägsnätet. Såväl företagsekonomiskt (för åkerinäringen) men också samhällsekonomiskt erhålls störst lönsamhet för (iii). Bränslekostnadsbesparingar för åkerier är det som främst driver resultaten. Utöver drivmedelspriser, är som tidigare nämnt batteripriser, och investeringskostnaden i elväg högst osäker. Därför genomförs känslighetsanalyser härnäst i syfte att utvärdera resultatens robusthet.

#### *4.1 Känslighetsanalys av elvägsuppskalning*

Ett flertal olika estimat för investeringskostnaden i elväg (€/km), för batteriers prisnivå år 2030 (€/kwh), för drivmedelskostnad (€/km för el och diesel) och laddinfrastrukturkostnad (depå) har angivits i tidigare studier. Natanaelsson et al. (2021) påpekar osäkerhet kring brukaravgifters storlek vid elvägsnyttjande, och infrastrukturkostnader för statisk laddinfrastruktur varierar beroende på källa. Till följd av osäkerhet kring dessa kritiska parametrar, med konsekvenser för elvägssystemets samhällsekonomiska lönsamhet, görs känslighetsanalyser i detta avsnitt. De intervall för parametervärden som beaktas är preciserade i Tabell 3. Ett brett intervall har valts för att kunna identifiera kritiska brytpunkter där investering i elvägssystem förblir eller inte längre förblir samhällsekonomiskt lönsam.

Känslighetsanalyserna genomförs så att värden för alla parametrar utom en hålls konstanta. Det vill säga en parameters värde i taget varieras medan ursprungsindata bibehålls för övriga parametrar. Detta görs för att isolera effekten av enskilda parametrar på den samhällsekonomiska lönsamheten av investeringen i elväg på sekundära motorvägar. I realiteten kan interaktionseffekter mellan olika parametervärdesförändringar förekomma. Exempelvis kan investeringskostnaden i elväg per km vara avhängig hur kostnaden för statisk laddinfrastruktur förändras. Detta kan få utbuds- och efterfrågekonsekvenser för laddinfrastruktur. På samma sätt kan brukaravgiften för elvägssystemet vara avhängig nyttjandegraden och hur mycket elvägsinfrastruktur som byggs ut. Dessa komplexiteter är bortom analysen för den innevarande studien, men är likväl värdefulla att beakta i framtida simuleringsmodeller.

Tabell 3: Intervall för parametervärden i känslighetsanalysen (2030 års värden).

Item	Parameter	Distribution*	måttenhet	Källor för att motivera distribution
Bränslekostnadsdifferens (diesel minus el)	$D$	0.10–0.80	€/fkm	Basma et al. (2021); Mohammed Badr and Wadi (2021); Naimoli and Storti (2021).
Brukaravgift (elväg)	$U$	0.05–0.20	€/km	Swedish Transport Administration (2021); Börjesson et al. (2021)
Investeringskostnad (elväg)	$I$	1.0–2.6	€/km	Bateman et al. (2018); Ainalis et al. (2020); Taljegård et al. (2020); Coban et al. (2022)
Batterikostnad (pack)		40–140	€/kWh	Anculle et al. (2021); BloombergNEF (2021); Beaty (2021); Vijayagopal and Rosseau (2021)
Nyttjandegrad/fordonsandel	$\theta$	0.20–0.95	Andel lastbilar	Swedish Transport Administration (2021); Börjesson et al. (2021)
Statisk laddinfrastruktur (depå)		0.05–0.15	€/fkm	Ainalis et al. (2020); Karlström (2020)

Tabell 4: Resultat av känslighetsanalys för parametervärden för scenario (ii) och (iii) (2030 års värden).

Parameter	Parametervärde*	Lönsamhet (€M) scenario ii**	Lönsamhet (€M) scenario iii
Investeringskostnad (I)	€1.0M	229	324
	€1.8M	140	324
	€2.6M	51	324
Bränslekostnadsdifferens (D)	€0.10 / fkm	(228)	363
	€0.40 / fkm	271	541
	€0.70 / fkm	814	1123
Brukaravgift, elväg (U)	€0.05 / fkm	278	417
	€0.13 / fkm	139	293
	€0.20 / fkm	17	184
Statisk laddinfrastruktur	€0.05 / fkm	174	373
	€0.13 / fkm	174	225
	€0.20 / fkm	174	3
Batterikostnad	€40 / kwh	174	376
	€100 / kwh	174	180
	€140 / kwh	174	48

\*fkm= fordonskilometer, M= miljoner, Kwh= kilowattimmar; \*\* Då ett ungefär 10 gånger så stort vägnät analyseras i scenario (ii) jämfört med scenario (iii) har nuvärdet av lönsamheten för scenario (iii) dividerats med tio för att skapa jämförbarhet för det sekundära motorvägsnätet för de två scenarierna; Värden i parantes noterar negativ samhällsekonomisk lönsamhet

Elvägssystemets uppskalning till sekundära motorvägar är mest känslig för skillnaden i drivmedelspris mellan diesel och el. För att uppskalning ska vara samhällsekonomiskt lönsam får inte bränslekostnadsbesparingen av el jämfört med diesel understiga €0.22 / fkm. Med nuvarande turbulens på energimarknader och behovet av utbyggnad av kraftnät och energikällor, är nivån på framtida elpriser osäker (c.f. Cohen et al. 2022). Denna aspekt är således viktig att beakta för en utbyggnad. De flesta studier pekar dock på prognoser om en bränslekostnadsskillnad som överstiger €0.22/fkm. Elvägssystemets uppskalning uppvisar också känslighet för brukaravgiftens storlek. Så länge denna avgift understiger €0.21/km elvägsfärd är investeringen i scenario ii lönsam. Natanaelsson et al. (2021) pekar på att kontrollsystem och administrativa hanteringskostnader för betalsystem kan komma att medföra att brukaravgiftsnivån når denna nivå. De flesta tidigare studier prognosticerar dock en lägre brukaravgift (c.f. Börjesson et al. 2021). Noterbart är vidare att uppskalningens lönsamhet är mindre känslig för elvägsinvesteringskostnadens storlek. Givet att det finns ett primärt motorvägsnätverk som är utbyggt är detta således mindre kritiskt än vad som hade varit fallet utan existerande elvägssystem på det primära motorvägsnätverket. Denna slutsats är viktig att ta med sig vid eventuell uppskalning.

Det batterielektriska fordonsalternativet, utan uppskalning av elväg, uppvisar främst känslighet för packprisnivåer för batterier och för prisnivå för statisk depåladdinfrastruktur. Bloomberg NEF (2021) prognosticerar packpriser för batterier om €56/kwh år 2030, medan andra prognoser estimerar betydligt högre prisnivåer (c.f. Vijayagopal och Rousseau, 2022). Så länge packpriset understiger €145/kwh uppvisar det batterielektriska alternativet samhällsekonomisk lönsamhet. Mycket är dock osäkert avseende batterier, så som effektivitetsförbättringar, densitet, tillgång till produktionsmaterial, och prisbild för tunga kontra lätta fordon. En prisnivå om €145/kwh får ändå betecknas som relativt hög givet de prognoser som finns att tillgå. Det batterielektriska fordonsalternativet är vidare känsligt för investeringskostnaden i depåladdinfrastruktur. Mycket är än så länge osäkert avseende dylik kostnad, så som överkapacitetsbehov (möjlighet för fordon att dela infrastruktur), begränsningar avseende elnätskapacitet med ökade kostnader som konsekvens, samt kostnadsnivå för investering i denna laddinfrastruktur per KW – då produktion i mindre skala hittills förekommit. Vidare kännetecknas åkeribranschen av många mindre aktörer, vars kapitalkostnad och möjlighet till att låna medel ger en ökad investeringskostnad i dylik laddinfrastruktur, värd att beakta. Så länge laddinfrastrukturkostnaden understiger €0.21/fkm, vilket sett till Karlström (2020) får betecknas som en hög nivå, förblir investeringen samhällsekonomiskt lönsam. Noterbart är att den batterielektriska fordonslösningen enligt scenario iii är relativt okänslig för kostnadsdifferensen per fkm för diesel kontra eldrift. Så länge eldrift är €0.03 billigare per km uppvisar (ii) samhällsekonomisk lönsamhet. Denna nivå är mycket låg sett till tidigare studiers estimat.

I en jämförelse mellan scenario (ii) och scenario (iii), båda var för sig relativt scenario (i), framträder kritiska nivåer för indataparametrars värden som leder till preferensskiften mellan dessa båda alternativ. Investeringskostnaden i elvägssystem behöver understiga €0.3/km för att uppskalning av elväg ska ge högre samhällsekonomisk lönsamhet än det batterielektriska alternativet. Det senare förefaller mindre sannolikt sett till befintliga estimat för investeringskostnaden i elväg. Bränslekostnadsdifferensen för diesel kontra el premierar konsekvent det batterielektriska alternativet eftersom det medger eldrift även utanför elvägssystemet. Samtidigt har denna differens stor påverkan på den samhällsekonomiska lönsamheten för de båda alternativa scenarierna. Relativt stor differens gör således dessa båda alternativ mindre känsliga för osäkerhet avseende andra indataparametrar.

## 5. Slutsatser och rekommendationer för elvägsuppskalning till det sekundära motorvägsnätet

Denna studie har analyserat uppskalning av elvägssystem till det sekundära svenska motorvägsnätet givet att 1500km av det primära motorvägsnätet (Malmö-Göteborg-Stockholm redan är elektrifierat. Sträckningen Malmö-Karlshamn utmed E22 har använts utifrån vilket inferenser görs till för det sekundära motorvägsnätet. Denna sträckning utgör 150km och därmed cirka 10 procent av det sekundära svenska motorvägsnätet. I utgångsläget antas att eldieselhybridfordon nyttjar elväg på det primära motorvägsnätet, medan de framförs med dieselbränsle på det sekundära motorvägsnätet. Valet av eldieselhybridfordon som utgångspunkt är gjord på basis att det i en första fas medför en mindre omställning för åkerinärningen jämfört med direkt övergång till batterielektriska fordon. Det senare ställer större krav på (tillgänglig) laddinfrastruktur. I stället för att bygga ut elvägsinfrastruktur till sekundära motorvägsnätet, är likväl ett alternativ att förse fordon med större batterier så att de inte behöver en dieselmotor (och därmed dubbla motorlösningar). På så sätt undviks den relativt höga investeringskostnaden i elväg. Å andra sidan tillkommer ökade batterikostnader och ökade kostnader för statisk laddinfrastruktur.

För att analysera uppskalningsalternativets respektive det batterielektriska fordonsalternativets samhällsekonomiska lönsamhet, givet befintlig elväg på det primära motorvägsnätet, appliceras en modifierad metodik utvecklad i Börjesson et al. (2021). Indataparametrar för analysen har ingående utvärderats och valts ut baserat på befintlig vetenskaplig litteratur samt industrirapporter. Resultaten visar att elvägsuppskalning är samhällsekonomiskt lönsamt gentemot att eldieselhybridfordon drivs med diesel på sekundära motorvägar. Framför allt är det sänkta driftkostnader för åkerier till följd av eldrift i stället för dieseldrift som skapar denna lönsamhet. Det batterielektriska alternativet uppvisar också samhällsekonomisk lönsamhet jämfört med att eldieselhybridfordon nyttjar elväg på det primära motorvägsnätet och drivs av diesel på det sekundära motorvägsnätet. I jämförelse mellan att elektrifiera det sekundära motorvägsnätet och att förse tunga fordon med elmotorer och större batterier som gör dieselmotorlösning och elväg på sekundär motorväg överflödigt, indikeras det senare vara att föredra för merparten av analyserade intervall för indataparametrar.

### 5.1 Rekommendationer till beslutsfattare

Utifrån erhållna resultat av denna analys rekommenderar vi följande för statliga beslutsfattare avseende uppskalning av elvägssystem till sekundära motorvägsnätet:

- a) Så länge packpriser för batterier till år 2030 utvecklas i paritet med prognoser av Bloomberg NEF (2021) förefaller det bättre att omvandla tunga fordon till att bli batterielektriska än att elektrifiera det sekundära motorvägsnätet.
- b) Att investera i elvägssystem på motorväg indikeras vara samhällsekonomiskt lönsamt jämfört med att tunga fordon drivs av diesel på det motorvägsnät som inte är elektrifierat. Detta resultat är robust så länge skillnaden i drivmedelskostnad €/fkm för diesel gentemot el inte minskar betänkligt jämfört med dagens nivåer. Noteras ska också att en relativt kort livslängd om 15 år för elvägsinvesteringen beaktats i denna studie. Det vill säga, elvägssystemet skapar nytta över en relativt kort tidshorisont.
- c) Det som kan göra uppskalning av elvägssystem till det sekundära motorvägsnätet till ett överlägset alternativ gentemot omvandling till batterielektrisk fordonsflotta är endera att batteripackpriser för tunga fordon blir högre än förväntat, eller att



kostnad för statisk laddinfrastruktur blir högre än prognosticerat. Mycket är osäkert avseende dessa båda aspekter, vilka behöver följas ingående i närtid för att välja elektrifieringsstrategi för tunga transporter.

- d) Att fortsätta avvakta utvecklingen över längre tid för att elektrifiera tunga transporter senare förefaller samhällsekonomiskt ofördelaktigt jämfört med att välja endera elektrifieringsalternativ (dynamisk eller statisk laddinfrastrukturinvestering) för tunga transporter.

## 5.2. Begränsningar med analysen och förslag till fortsatt forskning

Slutsatser och rekommendationer för denna studie ska beaktas med försiktighet följt av en rad begränsningar med studien. Nedan listas de mest kritiska begränsningarna:

- En snabb omvandling från eldieselhybriddominant fordonsflotta till en batterielektrisk dominant tung fordonsflotta antogs i denna studie. I realiteten är denna omvandlingstakt osäker och inte nödvändigtvis enbart en funktion av kostnadsbesparingar för åkerier. Lövstål et al. (2023) finner emellertid i en studie av åkerier indikationer på det senare. Därutöver är produktionsvolymerna av batterielektriska tunga fordon ännu i sin linda och i vilken omfattning utbudet av dylika fordon är tillgängliga år 2030 är i dagsläget osäkert. Den höga nyttjandegraden av elvägssystem är således en kritisk faktor.
- Många av de indataparametrar som denna analys bygger på (drivmedelspriser, packpriser för batterier, investeringskostnad i elväg, kostnad för statisk depåladdinfrastruktur) är beskaffat med osäkerhet då elektrifiering av tung trafik än så länge skett i mycket liten omfattning.
- En annan begränsning med innevarande studie är antagandet om att befintlig tung lastbilsflotta till 95 procent utgörs av eldieselhybridfordon. Nuvarande satsningar av såväl svenska som internationella fordonsleverantörer pekar snarare i en riktning mot batterielektriska tunga fordon. En initial fas med dieselelektriska fordon som ett första steg att elektrifiera tunga transporter är därmed högst osäker. Därtill är andra drivmedelsteknologiska lösningar under utveckling så som biogas och bränsleceller, vilka kan komma att vinna marknadsandelar.
- Denna studie är begränsad till en specifik situation där det redan finns en relativt storskalig utbyggnad av elvägssystem. Då detta i dagsläget är hypotetiskt, behöver ingående analyser göras om nyutbyggnad av elvägssystem. Detta innefattar även hur synergieffekter och utträngningseffekter av att bygga ut såväl statisk laddinfrastruktur (snabbbladdning, depåladdning, destinationsladdning) som dynamisk laddinfrastruktur parallellt. För en samtida sådan analys i svensk kontext hänvisas till Rogstadius et al (2022).
- Denna studie är också begränsad till att elvägsinfrastruktur enbart kan nyttjas av tunga fordon. Vissa studier och tekniker för elvägssystem medger även att lätta passagerarfordon kan nyttja elvägssystem. Å ena sidan har passagerarfordon potentiellt lägre intresse av att nyttja elvägssystem då de körs kortare distanser och är stillastående större delen av dygnet, i kontrast till tunga fordon som transporterar gods. Å andra sidan, kan långsam batteriutveckling och flexibilitet och kostnad för statisk laddning medföra ett intresse även för personbilsnyttjande av elvägssystem. Några internationella studier har beaktat elvägssystem för lätta fordon (c.f Sachan et al. 2020.). Detta bör även analyseras i svensk kontext.

Det är vår förhoppning att denna rapport tillsammans med andra genomförda analyser kan utgöra underlag för att inom närtid elektrifiera tunga transporter. De flesta analyser i svensk kontext pekar på att sådan elektrifiering av tunga transporter är samhällsekonomiskt lönsamt (Taljegård et al., 2020; Börjesson et al., 2021; Natanaelsson et al., 2021). Om EU's ambitiösa utsläppsmål från transportsektorn ska nås till år 2030, krävs att beslut tas i närtid.

## Referenser

- Ainalis, D.T., Thorne, C. and Cebon, D. (2020) *Decarbonising the UK's long-haul road freight at minimum economic cost*. Available at: <https://www.csrf.ac.uk/wp-content/uploads/2020/11/SRF-WP-UKEMS-v2.pdf> (Accessed: 28 May 2022).
- Anculle, E., Bubna, P. and Kuhn, M. (2021) E-Truck Virtual Teardown Study: Final Report. Michigan. Available at: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/Final-Report-eTruck-Virtual-Teardown-Public-Version.pdf> (Accessed: 4 May 2022).
- Beaty, K. (2021) *Commercial Vehicle Battery Cost Assessment: Industry Report*. California. Available at: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/Final-Report-eTruck-Virtual-Teardown-Public-Version.pdf> (Accessed: 3 May 2022).
- Basma, H., Saboori, A. and Rodríguez, F. (2021) *Total cost of ownership for tractor-trailers in Europe: Battery electric versus diesel*. Available at: <https://theicct.org/publication/total-cost-of-ownership-for-tractor-trailers-in-europe-battery-electric-versus-diesel/> (Accessed: 25 April 2022).
- Birke, D. (2009). The economics of networks: A survey of the empirical literature. *Journal of Economic Surveys*, 23(4), 762-793.
- BloombergNEF (2021) Hitting the EV Inflection Point: Electric vehicle price parity and phasing out combustion vehicle sales in Europe. Available at: [https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/08/2021\\_05\\_05\\_Electric\\_vehicle\\_price\\_parity\\_and\\_adoption\\_in\\_Europe\\_Final.pdf](https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/08/2021_05_05_Electric_vehicle_price_parity_and_adoption_in_Europe_Final.pdf) (Accessed: 3 May 2022).
- Börjesson, M., Johansson, M. and Kågeson, P. (2021) 'The economics of electric roads', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 125, p. 102990. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.102990>.
- Coban, H.H., Rehman, A. and Mohamed, A. (2022) 'Analyzing the Societal Cost of Electric Roads Compared to Batteries and Oil for All Forms of Road Transport', *Energies*, 15(5), p. 1925. Available at: <https://doi.org/10.3390/en15051925>.
- Cohen, S. M., Dyreson, A., Turner, S., Tidwell, V., Voisin, N., & Miara, A. (2022). A multi-model framework for assessing long-and short-term climate influences on the electric grid. *Applied Energy*, 317, 119193.
- 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](https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/CE_Delft_4841_Zero_emissions_trucks_Def.pdf) (Accessed: 4 May 2022).
- Drivkraft Sverige (2021) Årsmedelpriser motorbränslen. Available at: <https://drivkraftsverige.se/statistik/priser/mer-prisstatistik/arsmedelpriser-motorbranslen/> (Accessed: 3 May 2022).
- Hunter, C. et al. (2021) Spatial and Temporal Analysis of the Total Cost of Ownership for Class 8 Tractors and Class 4 Parcel Delivery Trucks. Golden, CO. Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/71796.pdf>
- Karlström, M. (2020) Kunskapssammanställning stationär laddning till tunga lastbilar. Lindholmen.
- Kühnel, S., Hacker, F. and Görz, W. (2018) Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr. Freiburg. Available at: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/StratON-O-Lkw-Technologievergleich-2018.pdf> (Accessed: 4 May 2022).
- Långberg, U. (2021). Åkerinäringen med verksamhetsområden: nyckeltal för lönsamhet och tillväxt. Rementum/Sveriges åkeriföretag.

- 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.
- Mohammed Badr, M.A. and Wadi, W.A. (2021) ‘Standard analysis of factors affecting oil prices in the world market under the theory of rational expectations’, *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 12, pp. 1913–1935.
- Natanaelsson, K., Lindgren, M., Rydén, E. Hasselgren, B. Palo, K. och Grudemo, S. (2021). Analysera förutsättningar och planera för utbyggnad av elvägar, Trafikverket, rapport 4498.
- Naimoli, A. and Storti, G. (2021) ‘Forecasting Volatility and Tail Risk in Electricity Markets’, *Journal of Risk and Financial Management*, 14(7), p. 294. Available at: <https://doi.org/10.3390/jrfm14070294>.
- Ritchie, H., Roser, M. and Rosado, P. (2020). CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
- Sachan, S., Deb, S., & Singh, S. N. (2020). Different charging infrastructures along with smart charging strategies for electric vehicles. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102238. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102238>
- Sällberg, H. och Numminen, E. (2022). Riskanalys för elvägssystem på motorväg. Rapport xxx.
- Taljegård, M. et al. (2020) ‘Large-scale implementation of electric road systems: Associated costs and the impact on CO<sub>2</sub> emissions’, *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(8), pp. 606–619. Available at: <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1595227>.
- Trafikverket (2020) Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.0. Available at: [https://bransch.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-2021/asek-7\\_0-hela-rapporten-210601.pdf](https://bransch.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-2021/asek-7_0-hela-rapporten-210601.pdf) (Accessed: 4 May 2022).
- Vattenfall AB (2022) *Timpriser på nordiska elbörsen*. Available at: <https://www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/timpris-pa-elborsen/> (Accessed: 3 April 2022).
- Vijayagopal, R. and Rousseau, A. (2021) ‘Electric Truck Economic Feasibility Analysis’, *World Electric Vehicle Journal*, 12(2), p. 75. Available at: <https://doi.org/10.3390/wevj12020075>.
- Zhang, M. M., Wang, Q., Zhou, D., & Ding, H. (2019). Evaluating uncertain investment decisions in low-carbon transition toward renewable energy. *Applied Energy*, 240, 1049-1060.