

Samhällsekonomiska kalkyler för elvägar

Maria Börjesson, VTI och KTH, Stockholm, Sverige
Magnus Johansson, VTI, Stockholm, Sverige
Per Kågeson, Nature Associates, Stockholm, Sverige

Working Papers in Transport Economics 2020:2

Abstract

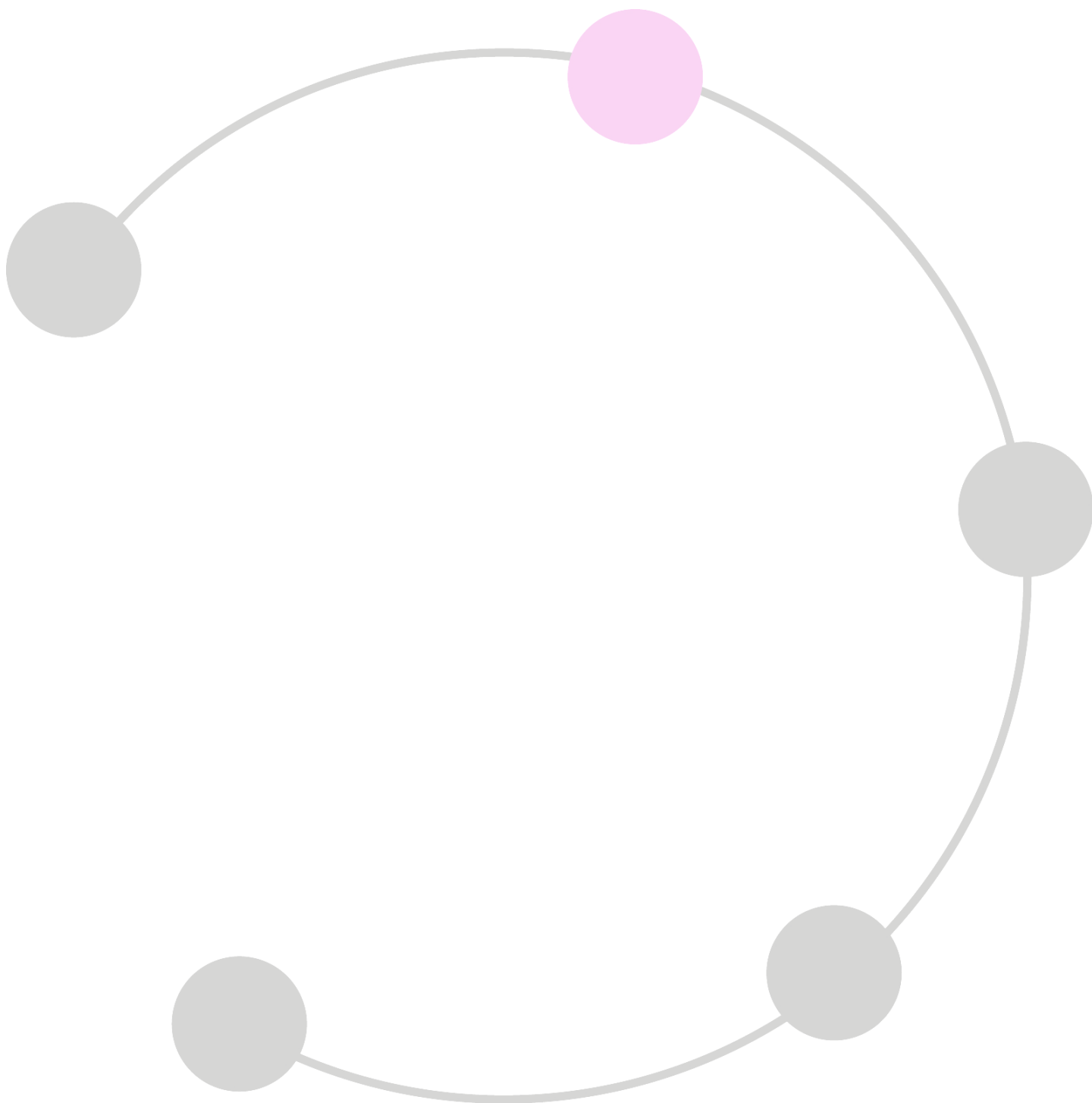
Vi analyserar effekter av och samhällsekonomisk lönsamhet för elvägar på systemnivå. Vi använder Samgods för att prognostisera vilka fordonskilometer som skulle genomföras på elvägarna beroende på vilken del av nätet som elektrifieras. Med dagens värdering av koldioxidutsläpp i transportsektorn på 1,14 kr/kg är alla elvägssträckor som analyserats samhällsekonomiskt lönsamma. Om brukaravgiften sätts samhällsekonomiskt optimalt så täcker den nätt och jämnt marginalkostnaden för slitaget på elvägen. I alternativet där utbyggnaden omfattar Stockholm-Malmö, Malmö-Göteborg och Göteborg-Jönköping minskar utsläppen med ca 1,2 miljoner ton år 2030, vilket motsvarar ungefär en tredjedel av utsläppen från tunga lastbilar i Sverige. Detta elvägsnät ser ut att nästan helt kunna brukarfinansieras om brukaravgiften sätts företagsekonomiskt optimalt, men vi lyfter fram fler argument för ett offentligt ägande av elvägar om de genomförs. Argumenten mot elvägar är att de är förenade med åtminstone två större risker. Den ena risken består i att kostnaderna är svåra att uppskatta, eftersom det ännu inte finns något fullskaligt elvägsnät i drift än. Den andra risken är att batteriutvecklingen på sikt gör att hundraprocentig batteridrift eller laddhybrider blir billigare för åkerierna.

Keywords

Elvägar, Prissättning, koldioxidutsläpp, transportsektorn, tung trafik, lastbilar, klimat, prissättning, Samhällsekonomiska kalkyler

JEL Codes

R41, R42, R12



Samhällsekonomiska kalkyler för elvägar

Maria Börjesson
Magnus Johansson
Per Kägeson

Förord

Elvägar utgör en potentiellt intressant lösning för att elektrifiera delar av tunga vägtrafiken. Olika koncept för elvägsteknologi har också testats i Sverige. Det har dock saknats en bedömning av elvägars samhällsekonomiska lönsamhet i ett större perspektiv, där systemeffekter tas i beaktande. I denna rapport redovisas en beräkning av lönsamheten i att investera i längre sträckor utmed Sveriges europavägnät. Beräkningarna har avgränsats till europavägarna mellan Sveriges storstadsområden. En avgörande fråga har varit hur omfattande utbyggnaden av elvägar måste bli för att det ska bli företagsekonomiskt rationellt för åkerierna att i någon större utsträckning investera i hybridlastbilar som kan utnyttja elvägens infrastruktur. I rapporten presenteras ett sätt att estimeras detta. Studien är finansierad av Trafikverket.

Stockholm, mars 2020

Namn

Maria Börjesson

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	8
1. Bakgrund	11
1.1. Klimatmål.....	11
1.2. Pågående elvägsprojekt.....	12
1.3. Rapportens syfte och metod.....	12
1.3.1. Syfte.....	12
1.3.2. Metod.....	14
2. Samgods	15
2.1. Modellsystemet.....	15
2.2. Trafikprognos.....	16
3. Antaganden och indata	18
3.1. Elvägnätets utsträckning	18
3.2. Elpris	18
3.3. Dieselpris	19
3.4. Drivmedelsförbrukning.....	21
3.5. Kapitalkostnad	21
3.6. Brukaravgift	22
3.7. Investeringskostnad elväg.....	24
4. Scenarier	26
4.1. Huvudscenario	26
4.2. Kalkylparametrar	26
4.3. Känslighetsanalyser	27
5. Resultat: Trafikeffekter	33
6. Effekt på koldioxidutsläppen	36
7. Resultat: Samhällsekonomisk kalkyl.....	37
7.1. Huvudscenario	37
7.2. Känslighetsanalyser	39
8. Avslutande diskussion.....	45
8.1. Överflyttning till järnväg	45
8.2. Batterier och vätgas som alternativ till elvägar.....	46
8.3. Konduktiv laddning från skena i vägbanan.....	46
8.4. En modell med lägre andel elektrifierad vägsträcka	47
8.4.1. Vilka motorvägar bör elektrifieras?.....	48
8.5. Affärsmodeller och ansvarsförhållanden	48
Referenser	50
Appendix	52

Sammanfattning

Samhällsekonomiska kalkyler för elvägar

av Maria Börjesson, Magnus Johansson och Per Kågesson

Riksdagens målsättning är att växthusgasutsläppen från den inhemska trafiken (exkl. flyget) år 2030 ska ha reducerats med minst 70 procent jämfört med 2010 för att senast år 2045 vara helt eliminerade. För personbilar och andra lätta fordon är hundra procentig batteridrift eller laddhybrider möjliga lösningar. Även för kortväga distributionstrafik torde sådana lösningar vara möjliga. För tung fjärrtrafik skulle batterierna bli så stora och tunga att kontinuerlig laddning (konduktivt eller induktivt) framstår som mer effektivt. Eftersom produktion och återvinning av batterier i stor skala är en utmaning och dessutom energi- och resurskrävande kan det försörjningsmässigt vara en fördel om en del av fordonstrafiken kan drivas genom kontinuerlig matning av el.

Mot denna bakgrund framstår elvägar som en potentiellt intressant lösning för att elektrifiera delar av vägtrafiken. De analyser som hittills gjorts av elvägars samhällsekonomiska lönsamhet avser mindre delsträckor och tar inte hänsyn till de systemeffekter som kommer att visa sig vara avgörande för elvägarnas möjligheter att mera påtagligt bidra till en fossilfri fordonstrafik. I detta projekt analyseras därför elvägarnas effekter och lönsamhet på systemnivå.

En avgörande fråga är hur omfattande utbyggnaden av elvägar måste bli för att det ska bli företagsekonomiskt rationellt för åkerierna att i någon större utsträckning investera i hybridlastbilar som kan utnyttja elvägens infrastruktur. Det finns en brytpunkt i form av den andel av lastbilens årliga körsträcka som behöver kunna ske på elväg för att merkostnaden för dubbla drivlinor ska uppvägas av lägre drivmedelskostnader. Brytpunkten påverkas av vilka sträckor och hur lång sträcka som elektrifieras.

För att analysera systemeffekten studerar vi effekter på minskningar av koldioxidutsläpp och samhällsekonomisk lönsamhet av tre olika elvägssträckor:

- Ett litet nät som utgörs av E4 mellan Stockholm och Norrköping med en längd av 31,5 mil (båda riktningarna)
- Ett medelstort nät som utgörs av europavägen mellan Stockholm och Malmö med en längd av 121,1 mil (båda riktningarna)
- Ett stort nät som utgörs av europavägen mellan Stockholm och Malmö, europavägen mellan Malmö och Göteborg samt riksvägen mellan Göteborg och Jönköping. Total längd 191,4 mil (båda riktningarna).

Vi använder trafikverkets nationella prognosmodell för godstransporter, Samgods, för att prognostisera vilka fordonskilometer som skulle komma att genomföras på elvägarna beroende på vilken del av nätet som elektrifieras. Vi tar hänsyn till att det är den företagsekonomiska lönsamheten för åkerierna som kommer att avgöra i vilken utsträckning hybridbilar kommer att förekomma, vilket i sin tur är beroende av elvägens sträckning. Vi antar att brukaravgiften är satt så att dieseldrift och elvägsdrift har samma internaliseringsgrad, vilket ger den mest effektiva second-best prissättningen av de externa effekterna. Då täcker brukaravgiften Trafikverkets kostnader för drift och underhåll men inte den fasta investeringskostnaden (enligt den princip som generellt används för statens investeringar i spår- och väginfrastruktur).

Följande slutsatser kan dras av analyserna

- Med dagens värdering av koldioxidutsläpp i transportsektorn på 1,14 kr/kg är alla elvägssträckor som analyserats samhällsekonomiskt lönsamma. Om brukaravgiften sätts samhällsekonomiskt optimalt så täcker den nätt och jämnt marginalkostnaden för slitaget på elvägen.
- Den största effekten på utsläppsminskningar i förhållande till elvägssträckans längd uppnås med mellannätet. Den samhällsekonomiska lönsamheten är, liksom minskning av koldioxid per elvägskilometer, robust högst för mellannätet. Nettonuvärdeskvoten för det medelstora nätet blir 0,89. Att utvidga elvägen till ett stort nät om det medelstora nätet redan vore utbyggt skulle också vara lönsamt, men mindre lönsamt (nettonuvärdeskvot 0,25). Även det lilla nätet skulle vara svagt lönsamt.
- I alla analyser är lönsamheten högst för det mellanstora elvägsnätet mellan Stockholm och Malmö. Där får man också högst minskning av koldioxidutsläpp per investerad krona.
- Alla elvägsnät är lönsamma med dagens koldioxidvärdering trots att koldioxidutsläppen från diesellastbilarna är internaliserade av drivmedelsskatten och trots att en relativt hög investeringskostnad förklaras till stor del av de stora bränslekostnadsbesparingarna för åkerierna. Analysen visar att den högre kapitalkostnaden för hybridlastbilarna är en liten kostnad för åkerierna i jämförelse med minskningen av kostnaden för drivmedel (inklusive brukaravgiften) på elvägen (under förutsättning att utbyggnaden av elvägsnäten är så omfattande som i vår analys).
- Om värderingen av koldioxidutsläpp sätts till fyra kronor per kilo, vilket motsvarar Energimyndighetens val av nivå för den sanktionsavgift som drivmedelsleverantörer måste betala om de inte klarar reduktionsplikten för diesel, så vore en investering i det mellanstora elvägsnätet klart lönsamt (NNK 1,97). En än högre värdering av koldioxidutsläppen ökar lönsamheten ännu mer.
- Lönsamheten och effekten av en utbyggnad av elvägar förefaller vara relativt robust även vid antaganden om stora variationer i framtida diesel- och elpris.
- En utbyggnad av elvägarna med luckor i eltillförseln, intermittent eldrift, vilket medför att hybridlastbilarna måste vara utrustade med ett batteri med räckvidd på 100 km, ger genomgående högst samhällsekonomisk lönsamhet oavsett värdering av koldioxid. I detta fall uppstår dessutom en extra samhällsekonomisk nytta som inte finns med i analysen, eftersom samgodsmodellen inte kan beräkna den, och som består i att de större batterierna också kan användas för eldrift på vägar som inte är elektrifierade.
- Utsläppsminskningen sjunker med 20-25 procent i känslighetsanalyserna som antar brukarfinansiering. Det beror på att en högre brukaravgift gör det minde lönsamt för åkerierna att investera i hybrider.
- Det mellanstora elvägsnätet går nästan, för en privat eller en offentlig elvägsoperatör, att finansiera med brukaravgifter; baserat på våra antaganden om kostnader för elväg och hybridlastbilar. Analysen indikerar dessutom att för det mellanstora och det stora elvägsnätet med intermittent eldrift, vilket kräver att hybridlastbilarna måste vara utrustade med ett batteri med räckvidd på 100 km, skulle intäkterna från brukarna gott och väl täcka investerings- och underhållskostnaden.

- Trots att de större elvägsnäten ser ut att kunna brukarfinansieras finns flera argument för ett offentligt ägande. Dels är det inte troligt att en elektrifiering av elvägarna skulle komma till stånd av enbart privata initiativ. De relativt omfattande skal- och nätverkseffekterna (dvs att elvägsnätet behöver vara relativt omfattande för att nyttorna ska realiseras) gör investeringen mer riskabel för en privat elvägsoperatör. Detta demonstreras av att det minsta nätet inte i något fall går att brukarfinansiera helt och hållet. Dels är en investering i elvägar förenad med åtminstone två större risker som en privat investerare sannolikt inte skulle vara beredd att ta. Den ena risken består i att investerings- och underhållskostnaderna är svåra att uppskatta, eftersom det ännu inte finns något fullskaligt elvägsnät i drift. Den andra risken för en investerare är att batteriutvecklingen på sikt gör att hundra procentig batteridrift eller laddhybrider blir en billigare lösning för åkerierna.
- Andra argument som talar för en offentligt ägd elväg består i problemen med en monopolprissättning av elvägen. Så länge dieslbilar finns kvar som konkurrent till elvägsdrift (som i våra scenarier) kommer dessa att sätta en gräns för hur mycket en privat elvägsoperatör, en monopolist, kan höja brukaravgiften. Men om dieseldriften helt fasas ut kan en monopolist sätta brukaravgiften orimligt högt om detta inte regleras. Ytterligare en faktor som talar mot en privat elvägsoperatör är att staten äger vägen, så att huvudmannskapet skulle i så fall bli tudelat, vilket kan leda till olika typer av effektivitetsförluster, risker och annan ansvarsfördelningsproblematik.
- Investeringar i elvägar kommer att medföra en påtaglig reduktion av utsläppen av koldioxid från tung trafik. I alternativet där utbyggnaden omfattar Stockholm-Malmö, Malmö-Göteborg och Göteborg Jönköping minskar utsläppen med ca 1,2 miljoner ton år 2030, vilket motsvarar ungefär en tredjedel av utsläppen från tunga lastbilar i Sverige. Det är svårt att klara en så stor reduktion genom biodrivmedel, eftersom tillgången inte räcker för att ersätta mer än en mindre del av användningen av fossil energi i Sverige, Europa och världen. En överflyttning av godstrafik till andra trafikslag kan heller inte förväntas ge bidrag av denna storleksordning. Enligt Sverigeförhandlingens slutbetänkande skulle höghastighetsbanor reducera utsläppen med bara 205 000 ton per år till följd av överflyttning av trafik från flyg och väg.

Sammanfattningsvis ser sig elvägar som ett kostnadseffektivt sätt att minska koldioxidutsläppen från den tunga lastbilstrafiken. Huvudargument mot en satsning är att investerings- och underhållskostnaderna är svåra att uppskatta samt att batteriutvecklingen på sikt kan göra att hundra procentig batteridrift eller laddhybrider blir en billigare lösning för åkerierna. Vi har försökt att ta hänsyn till den senare risken genom att anta en kalkylperiod på endast 15 år, fram till 2040, men det är icke desto mindre en risk.

Summary

The economics of electric roads

by Maria Börjesson, Magnus Johansson and Per Kågesson

There has been a surge of interest in reducing carbon emissions from heavy trucks in recent years, largely due to ambitious emission targets for transport in many countries as well as in the European Union. While light traffic and probably also regional freight distribution trucks can be electrified using batteries, this is a bigger challenge for long range heavy trucks. The latter would need heavy batteries or frequent recharging incurring delays. For this reason, electric roads, with continuous electricity transmission, has been developed and tested in Sweden and in Germany. In this paper we present a method for evaluating social benefits of electric roads and apply it to the Swedish highway network. Together with the investment cost this can be used to produce a cost benefit analysis.

The electric road is characterized by economies of scale (high investment cost and low marginal cost) and considerable economies of scope (the benefit per kilometre electric road depends on the size of the network), implying that the market will produce a smaller network of electric roads, or charge higher prices for its use, than what is welfare optimal. For this reason, it is relevant for governments to consider investing in electric roads, making the cost-benefit analysis a key decision support. There is, however, prior to this paper, no literature developing methods for assessing the economic rationale of electric roads.

We assume that all trucks that can receive electric power while in motion are hybrids, such that they also have a diesel engine to be used on non-electrified parts of the road network. This makes the hybrids more expensive to buy than a conventional diesel truck. The user charge of the electric road can either be set as to optimize welfare or to optimize the profit for the operator of the road. We calculate the net benefit cost ratio (NBCR) and cost recovery in both cases. We also outline arguments for private and publicly owned electric roads.

The benefit of the electric roads depends on the number of trucks using them. The use depends on the total volume of trucks and the number of these that are (electric-diesel) hybrids. The number of diesel trucks that haulage companies would eventually replace by hybrids will be determined by the profit that they can make from such replacements, assuming that they behave to optimize their profits. The carriers' optimal number of hybrids depend on a) the spatial distribution of freight flows by commodity, b) the spatial distribution of the electric road network c) the difference in driving cost per kilometre between using diesel and electric power received from the electric road, and d) the difference in capital cost between the diesel and the hybrid truck.

We model the behaviour of the carriers using the Swedish national freight model system, SAMGODS, determining the optimal shipment sizes, transport chain and route, including the mode (road, rail, sea) and vehicle type (Diesel60, Hybrid60, Diesel40, Hybrid40, Diesel24)¹ choices of the carriers for a given electric road network. Hence, we take into account that freight transport can divert also from rail and sea to road, if electric roads make freight transport by road cheaper. We make extensive sensitivity analyses with regard to factors b)-d) above.

The impact of the spatial distribution of the electric road network is analyzed by assuming three different network scenarios: small, medium and large. The difference in driving cost per kilometre

¹ Heavy goods vehicles, diesel vehicles and hybrids, respectively, having total weight 60-ton, 40-ton and 24-ton. We assume that the 24-ton vehicle are diesel only trucks.

of using diesel or the electric road depends on the prices of diesel and electricity, respectively, and on the energy consumption of diesel trucks versus trucks powered by electricity. The operation cost will also be determined by the user charge on the electric roads. We will therefore vary future electricity prices, diesel prices and analyze the difference between welfare optimal and profit maximizing user charges.

When assessing the cost of the electric road we assume the technology for overhead power lines because this is presently the most mature technology (there are other technologies using conduction or electromagnetic induction from below). In future years, electric roads using other technologies might also be relevant to analyze. Moreover, we assume that no electric roads exist outside of Sweden, which would likely increase the benefit of them in Sweden due to economies of scope and scale. Economies of scope and scale across Europe would be relevant to evaluate if countries choose to collaborate on the implementation of electric highways. The methodology of this paper could, however, still be used if extending the analysis or changing cost assumptions in this way.

For all the electric road scenarios that we analyse, the social benefits of the electric road are larger than the social cost. The largest benefit stems from operation cost savings for carriers, simply because it is cheaper to fuel the trucks on electricity than on diesel. The second largest benefit is the reduction of carbon emissions. The NBCR and the reduction in carbon emissions per invested euro is highest for the medium-sized network, indicating economies of scope up to a network size threshold.

The reduction of carbon emissions and NBCR is relatively robust in sensitivity analysis one-two, based on fairly large variations in diesel and electricity prices. Intermittent electric transmission increases the NBCR due to lower investment cost, though this alternative requires larger batteries and thereby increases the costs of hybrid trucks.

If the user charge is set to optimize welfare, the revenues cover the marginal cost of the wear and tear on the electric road. Assuming a profit maximizing operator of the electric road, the revenue from the user charges almost covers the investment and maintenance costs for the medium-sized network. If we assume intermittent electric transmission, the investment and maintenance costs are fully covered in all electric road scenarios. However, if user charges are set by a profit maximizing monopolist, the reduction in carbon emissions decreases by 20-25 percent, as it becomes more costly for carriers to use the electric road.

Several arguments can be made for public operation and ownership of electric roads. First, it is unlikely that private investors would be willing to take the risks of such an investment. There are at least two major investment risks. The first is that investment and maintenance costs become larger than estimated. Costs are uncertain as there is no full-scale electric grid network in operation yet. The second risk is that the battery development may in the longer run enable 100 percent battery operation. The use of fuel cells is another competing technology, currently too expensive but perhaps gaining ground in the long term.

Second, the large economies of scale and scope (i.e. that the electric road network are extensive for the potential benefits to be fully realized) make the investment risky and probably to extensive for a private investor. This is demonstrated by the result that the smallest electric road network is least profitable and cannot be fully financed by user charges.

Third, a private operator would eventually need to be regulated. As long as diesel trucks remain, the user charges set by the monopolist electric road operator are restricted by the competition from them. However, if the diesel trucks are completely outcompeted, the pricing of the electric road needs to be publicly regulated.

Forth, private ownership of the electric infrastructure on a publicly owned road implies divided ownership and responsibility for maintenance. This can lead to losses in efficiency and raise liability issues and associated risk management.

In summary, electric roads appear to provide a cost-effective means to significantly reduce carbon emissions from heavy trucks. In the scenario where the expansion connects the three biggest cities in Sweden, emissions will be reduced by approximately 1.2 million tonnes in 2030, which corresponds to approximately one-third of emissions from all heavy trucks in the country. The main argument against a commitment to electric roads is that investment and maintenance costs are uncertain, and that in the long run, battery development or hydrogen fuel cells can reduce the benefit of electric infrastructure. We have tried to take the latter risk into account by assuming a calculation and depreciation period of only 15 years, until 2040, but it is nonetheless a risk.

It remains an open question as to whether this result can be transferred to other countries. On the one hand, Sweden has low electricity prices increasing the benefits of electric roads. On the other hand, Sweden has also long distances compared to its small population, reducing the benefits. Finally, the large economies of scope indicate the benefit of coordinated expansion of electric roads in Europe.

1. Bakgrund

1.1. Klimatmål

Riksdagens målsättning är att utsläppen av växthusgaser från den inhemska trafiken till år 2030 ska ha reducerats med minst 70 procent jämfört med 2010 för att senast år 2045 vara helt eliminerade. År 2017 hade utsläppen minskat med 15-16 procent,² dock till övervägande del till följd av en omfattande import av biodrivmedel (Kågeson, 2019).

Energimyndigheten föreslår en kraftigt ökad användning av biodrivmedel via reduktionsplikten för att öka chanserna att nå målet (Energimyndigheten, 2019). Dock råder brist på biodrivmedel som inte konkurrerar med livsmedelsproduktion eller baseras på palmolja (palmolja eller PFAD³), vilka bidrar till avskogning i Indonesien och Malaysia och därmed kan ge större utsläpp av koldioxid än fossil diesel (European Commission, 2019). I dagsläget baseras en tredjedel av den svenska konsumtionen av biodrivmedel på palmolja (Energimyndigheten, 2019). Med tanke på att Sverige har ca tio gånger mer skogsmark per invånare än genomsnittet i Europa kan en politik som leder till en fortsatt och omfattande nettoimport av biodrivmedel ifrågasättas.

De berörda svenska myndigheterna bedömer gemensamt att den totala svenska nettoproduktionen av biodrivmedel avsedd för vägtransporter maximalt kan uppgå till 17–18 TWh år 2030 (Energimyndigheten, 2016). Därtill kommer någon eller några TWh för användning i arbetsmaskiner. Det innebär att den inhemska produktionspotentialen på medellång sikt motsvarar mindre än en fjärdedel av den nuvarande förbrukningen av drivmedel i Sverige.

En rimlig slutsats blir att merparten av vägnas person- och godstrafik sannolikt kommer att behöva elektrifieras om potentiellt tillgänglig bioenergi ska räcka till att ersätta fossila bränslen inom de samhällssektorer där elektrifiering är svårast och dyrast, inklusive bl.a. luft- och sjöfart. Detta gäller både Sverige och övriga Europa. Således framstår en elektrifiering av vägtrafiken som huvudalternativet på sikt.

För personbilar och andra lätta fordon är hundraprocentig batteridrift eller laddhybrider möjliga lösningar. Även för kortväga distributionstrafik torde sådana lösningar vara möjliga. För tung fjärrtrafik skulle batterierna med dagens teknik bli så stora och tunga att kontinuerlig laddning (konduktivt eller induktivt) framstår som mer effektivt. Eftersom produktion och återvinning av batterier i stor skala på kort sikt är en utmaning och dessutom energi- och resurskrävande kan det försörjningsmässigt vara en fördel om en del av fordonstrafiken kan drivas genom kontinuerlig matning av el.

Mot denna bakgrund framstår elvägar som en potentiellt intressant lösning för en del av vägtrafikens elektrifiering. Viktigt i en sådan analys är förstås att beakta skillnaden i kostnad mellan elvägar och andra alternativ till koldioxidfri fjärrtrafik med tunga lastbilar. Biogasmarknadsutredningen (2019) föreslår att biogas som används i fordon fortsatt ska vara skattebefriad och vill dessutom införa ett stöd till förgasning av gödsel på 40 öre/kWh, en uppgraderingspremie av sådan gas på 20-30 öre/kWh och en förvätskningspremie på 10-15 öre/kWh så att gasen kan användas som LBG (Liquefied biogas) i tunga fjärrbilar. Det innebär en kostnad för staten avseende subventioner och skattebortfall för varje liter diesel som ersätts av fordonsgas på 11-12 kronor, vilket motsvarar ca 4,50 kr per kilo CO₂. För att elvägar eller andra

² När hänsyn tagits till att en del av de biodrivmedel som tillförs den svenska marknaden används i arbetsmaskiner (som inte tillhör vägtrafiken).

³ PFAD står för Palm Fatty Acid Distillate och är en biprodukt från framställning av palmolja.

former av eldrift av tunga lastbilar ska framstå som rimliga alternativ bör de inte vara totalt sett dyrare än användning av biodiesel eller LBG.

1.2. Pågående elvägsprojekt

Regeringen bedömde i den nationella godstransportstrategin att elvägar kan bidra till att effektivisera godstransporterna och minska utsläppen av växthusgaser. En långsiktig plan för uppförande och utbyggnad av elvägar ska därför tas fram. Regeringen skriver i godstransportstrategin att viktiga godsstråk, som exempelvis Europavägarna mellan Stockholm, Göteborg och Malmö och kopplingarna till viktiga hamnar, bör prioriteras (Näringsdepartementet, 2018). Att satsa på dessa vägar vore logiskt eftersom de utgör delar det europeiska nätverket TEN-T. I tidningen Ny Tekniks enkät till de politiska partierna inför valrörelsen 2018 svarade samtliga partier utom miljöpartiet att de vill se en satsning på elvägar.⁴

I juni 2013 inledde Trafikverket, Energimyndigheten och Vinnova *Elvägsupphandlingen* med syfte att studera överföringsteknikerna i verklig trafik samt pröva säkerhet och tillförlitlighet som underlag för en bedömning av vad som kan behöva förbättras. Upphandlingen resulterade i två försökssträckor som ännu inte slutgiltigt utvärderats.

Trafikverket upphandlar för närvarande ytterligare demonstrationssträckor, och genom regeringens beslut i den nationella infrastrukturplanen för 2018–2029 har myndigheten därtill fått uppdrag att bygga och driftsätta minst en kortare *elvägs*pilot senast år 2021. Den statliga finansieringen är enligt beslutet begränsad till 50 procent av den totala kostnaden med ett tak på 300 miljoner kronor för statens andel. Byggandet av pilotsträckan förutsätter således en betydande medfinansiering från kommuner och regioner och/eller kommersiella intressenter.

I december 2018 gick Trafikverket ut med en förfrågan för att få in förslag på lämpliga pilotsträckor. Två av dessa har nu valts ut för att gå vidare i processen:

E20 sträckan Hallsberg – Örebro

Väg 73 sträckan Nynäshamn – Västerhaninge

I nästa steg ska Trafikverket ta fram en vägplan för respektive sträcka. Parallellt med vägplanen genomförs fördjupade studier kring förutsättningar som finansiering, krafttillförsel, teknik etc. Efter godkänd vägplan följer upphandling, projektering och byggnation.

Trafikverket (2017) har tagit fram en färdplan för arbetet med elektrifiering av delar av vägnätet. Färdplanen redovisar emellertid ingen tidplan för när de första längre vägsträckorna ska vara elektrifierade.

1.3. Rapportens syfte och metod

1.3.1. Syfte

Vi bedömer att det är osannolikt att elvägar skulle komma till stånd genom enbart privata initiativ och privat finansiering. Detta på grund av relativt omfattande skal- nätverks- och systemeffekter (dvs att elvägsnätet behöver vara relativt omfattande för att nyttorna ska realiseras) vilka gör investeringen mer riskabel för en privat elvägsoperatör. Dessutom ägs vägarna av staten, så det offentliga behöver vara inblandade i utbyggnaden av elvägar. Därför behövs offentliga beslutsunderlag som ställer elvägarnas samhällsekonomiska kostnader och nyttor mot varandra. Syftet med denna rapport är att utveckla en metod för hur den samhällsekonomiska nyttan av en given elvägssträckan kan beräknas. Vi gör det med utgångspunkt från Trafikverkets nationella

⁴ <https://www.nyteknik.se/samhalle/alla-partier-utom-mp-vill-satsa-pa-elvagor-6927672>

godstransportmodell och kalkylvärden från ASEK (Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn)⁵.

Rapportens utgångspunkt är att utveckla ett beslutsunderlag som är relevant för beslut om elvägar i närtid, med syfte att kunna bidra till att uppfylla målet om minskade koldioxidutsläpp till 2030. Det innebär att vi utgått från den tekniska lösning som innebär konduktiv överföring från en kontaktledning ovanför motorvägens högra körfält. Det är den tekniken som skulle vara relevant om man börjar bygga ut elvägar inom ett par år, och som prövats i Sandviken och även används på en rad provsträckor i Tyskland och Italien.

Vi har i analysen utgått från att inget annat land i Europa har byggt elvägar, eftersom några sådana beslut inte finns ännu. Om elvägar finns i omgivande länder kommer sannolikt nyttan av de svenska elvägarna att vara större på grund av nätverkseffekterna. Dessutom påverkas i så fall valet av teknik i Sverige av vilken teknik som valts i andra länder.

Om man väntar fem till tio år eller mer kommer sannolikt förutsättningar för elvägar ha förändrats. Då finns mer information om elvägar i grannländerna och mer utvecklade tekniker. Att vara först är förenat med större risker och kostnader, men att avvakta innebär att utsläppsminskningen av koldioxid skjuts upp och inte kan bidra till att uppfylla målet till 2030.

De analyser som hittills gjorts av elvägar avser mindre delsträckor och tar inte hänsyn till de nätverks- och systemeffekter som kan visa sig vara avgörande för elvägarnas möjligheter att mera påtagligt bidra till en fossilfri fordonstrafik. I detta projekt analyseras därför elvägarnas effekter och lönsamhet på systemnivå.

En avgörande fråga är hur omfattande utbyggnaden av elvägar måste bli för att det ska bli företagsekonomiskt rationellt för åkerierna att i någon större utsträckning investera i hybridlastbilar som kan användas på elvägen. Det finns en brytpunkt i form av den andel av lastbilens årliga körsträcka som behöver kunna utnyttja elvägen för att merkostnaden för dubbla drivlinor ska uppvägas av lägre drivmedelskostnader.

Vi har valt att studera effekterna av att elektrifiera delar av det svenska motorvägsnätet. Det är de mest högtrafikerade delarna av vägnätet som har störst potential att fånga upp en tillräckligt hög andel av fjärrbilarnas årliga körsträckor (fjärrbilar är långtradare som kör över långa avstånd mellan regioner, till skillnad från distributionsbilar som normalt kör inom regioner). En avsikt med vår studie är att undersöka hur stort det elektrifierade vägnätet behöver vara för att uppnå samhällsekonomisk lönsamhet.

Följande antaganden kommer att göras i hela analysen

- Vi kommer att studera elektrifiering av europavägarna och därmed ha fokus på fjärrtrafik. För regional distributionstrafik är möjligheten till elektrifiering med batterier större, eftersom transportavstånden är kortare, bilarna lättare och drifttider samt distributionsmönster kan planeras på ett sätt som medger laddningsmöjligheter.
- Lastbilar som använder elvägen kommer att vara hybrider, dvs de kommer också att vara utrustade med en dieselmotor. Vi bedömer att framtiden än så länge är svårbedömd för helelektriska tunga fordon, särskilt för långväga transporter av tungt gods där vikten hos batterierna reducerar fordonets lastkapacitet.

⁵ ASEK är Trafikverkets plattform för att ge rekommendationer angående vilka ekonomiska analysmetoder och kalkylprinciper som bör tillämpas vid samhällsekonomiska analyser av åtgärder inom transportområdet. ASEK-arbetet ska bidra till samordning av de forsknings- och utvecklingsinsatser som genomförs inom området och resultaten ska baseras på allmänt etablerad kunskap, vetenskap och praxis, inom området samhällsekonomi.

Vi studerar den samhällsekonomiska lönsamheten hos tre elvägsscenarioer och genomför ett stort antal känslighetsanalyser för att besvara i huvudsak fyra frågor.

1. Hur ska man metodologiskt analysera den samhällsekonomiska lönsamheten för elvägar?
2. Finns det någon del av vägnätet i vilket elvägar är lönsamma?
3. Om lönsamhet kan uppnås, vilken del av vägnätet bör man elektrifiera först för att få så hög lönsamhet som möjligt?
4. Går det att för privata företag få lönsamhet i investeringar i elvägar – dvs kan de finansieras med brukaravgifter?

För att kunna beräkna den samhällsekonomiska lönsamheten av elvägar behöver vi göra prognoser för vilka fordonskilometer som skulle komma att genomföras på elvägarna beroende på vilken del av nätet som elektrifieras. De tre elvägsscenarioerna vi sätter upp är:

- Ett litet nät som utgörs av E4 mellan Stockholm och Norrköping med en längd av 31,5 mil (summan av båda riktningarna)
- Ett medelstort nät som utgörs av europavägen (E4) mellan Stockholm och Malmö med en längd av 121,1 mil (båda riktningarna)
- Ett stort nät som utgörs av europavägen mellan Stockholm och Malmö (E4), europavägen mellan Malmö och Göteborg (E6) samt riksvägen mellan Göteborg och Jönköping (Rv 40). Total längd 191,4 mil (båda riktningarna).

1.3.2. Metod

Elvägens samhällsekonomiska lönsamhet kommer att bero på vilka fordonskilometer som är företagsekonomiskt lönsamma att utföra med elvägsdrift. Detta analyseras i denna rapport genom att använda Samgodsmodellens nätverk och beräknade transportefterfrågevolymerna. Samgod är Trafikverkets nationella godstransportmodell. Målet med analysen är att beräkna i vilken utsträckning transportörer, givet ett högre inköpspris men en lägre driftskostnad, skulle välja att utnyttja hybridlastbilar till sina transporter samt hur stor del av den årliga körsträckan som skulle ske med eldrift. Analysen tar därmed i beaktande att det ska vara företagsekonomiskt lönsamt för transportörerna att investera i lastbilar som har dubbla drivlinor. Utfallet beror på hur stort nät som elektrifieras, vilka vägsträckor som väljs samt på skillnader i drifts- och kapitalkostnad mellan dieselfordon och elvägsdrivna fordon.

Samgodsmodellen tar hänsyn till att elvägens sträckning kan påverka rutt- och färdslagsval för godstransporterna i hela Sverige. Den kan alltså fånga systemövergripande effekter av den analyserade elvägssträckningen. Om kilometerkostnaden reduceras till följd av elektrifieringen kan detta påverka konkurrensen mellan trafikslagen och deras framtida marknadsandelar. Detta påverkar i sin tur den samhällsekonomiska analysen.

2. Samgods

2.1. Modellsystemet

Vi använder Trafikverkets nationella godstransportmodell (Samgods) för att analysera hur stort trafikarbete som kommer att utföras på elvägarna för varje givet elvägsnät. Samgods är ett modellverktyg för systemstudier av svenska godstransporter på nationell nivå. Trafikslagen sjö, lastbil och järnväg ingår. Både utrikes och inrikes transporter som körs på det svenska vägnätet ingår. Den geografiska upplösningen är på kommunnivå i Sverige, motsvarande länsnivå i Sveriges grannländer och landsdelar/länder vid längre geografiskt avstånd från Sverige. Trafikverket är ansvarigt för utvecklingen av modellen, liksom för dess systemmodell för persontransporter: Sampers. Modellens primära syfte är att vara ett stöd för effektanalyser av olika policyåtgärder och styrmedel, som skatter och avgifter för olika fordonsslag, och förändringar i infrastrukturen. Centrala frågeställningar är ofta hur åtgärderna påverkar transporterens fördelning mellan de olika trafikslagen (väg, järnväg, sjötrafik och flygfrakt), godsflödenas geografiska fördelning, totala systemkostnader samt klimat och miljö.

Vi använder den vid tillfället aktuella modellversionen 1.1.1. Uppgifter för beräkning av efterfrågevolymerna hämtas i huvudsak från nationalräkenskaper, varuhandelsstatistik, industrins varuproduktion, industrins insatsförbrukning samt sysselsättningsstatistik. Funktioner för geografisk fördelning har skattats med hjälp av information från bland annat varuflödesundersökningen för det brutna undersökningsåret 2004/2005. Prisnivån i modellen motsvarar år 2014. Samgodsmodellen består av en efterfrågemodell, en logistikmodul och en nätverksmodell. Efterfrågemodellerna beräknar hur mycket transporter (mätt i ton per varugrupp) som efterfrågas i ett givet basår (2014) samt för ett prognosår (i nuvarande modell 2040). I beräkningarna av hur mycket elvägarna kommer att utnyttjas har modellens basår använts eftersom detta är kalibrerat mot tillgänglig transportstatistik.

Logistikmodulen beräknar optimala sändningsstorlekar, sändningsfrekvenser, transportkedjor, val av terminaler. Valet påverkas av möjligheten till samlastning i terminaler. Logistikmodulen skapar därmed O/D-flöden för fordon med utgångspunkt i P/C-flöden mellan företag. Nätverksmodellen beräknar sedan vilka rutter som väljs. Andelen transportarbete (tonkilometer) som görs av olika färdslag påverkas av godstransportefterfrågans fördelning på varugrupper, eftersom grupperna har olika genomsnittliga varuvärden per viktenhet och har mer eller mindre inslag av bulk. Modellen arbetar med 32 varugrupper. Transportuppläggen görs så att transport- och logistikkostnaderna minimeras på systemnivå. Det görs deterministiskt, dvs det finns ingen slumpfaktor i modellen. Val av transportkedja och rutt sker simultant. Volume-delay funktioner används för att ta hänsyn till att mindre vägar vid hög trafik kan ge reducerad hastighet och avgränsningar i järnvägskapaciteten hanteras via en särskild modul som vid överbelastning på vissa sträckor söker alternativa transportupplägg som avlastar sträckorna till minsta möjliga alternativkostnad. Samgodsmodellen beräknar tonkilometer, fordonskilometer och transportkostnader per sändning, länk samt start och -målkommunpar.

I samgodsmodellen finns inte färdslaget ”ellastbil” eller ”elväg” och en stor del av arbetet med detta projekt har varit att lägga till färdslaget elvägslastbil i Samgods. Att implementera detta i Samgodsmodellen har krävt en hel del omprogrammering och bearbetning av indata och nätverk. Ellastbilen eller hybridlastbilen läggs till genom att konvertera en diesellastbil till en hybridlastbil som har både en diesel och en elmotor, och därmed kan använda både elvägen och det vanliga, icke-elektrifierade, vägnätet. Elvägens sträckning längs vägnätet anges också i Samgods nätverksdatabas, och hybridlastbilen kan bara köra på eldrift längs denna sträckning. I originalversionen av modellen ingår 5 ordinarie diesellastbilar av olika storlek plus en ännu inte aktiverad 74-tons lastbil. I denna analys har 74-tons lastbilen plus en av de mindre ordinarie

lastbilarna gjorts om för att motsvara en 40-tons och en 60-tons elhybrid. Istället för 5 diesellastbilar har modellen därmed reviderats till att innehålla 4 diesellastbilar och 2 elhybrider.

Konverteringen av en diesellastbil till en hybridlastbil görs genom att förändra drifts- och kapitalkostnaden. Kapitalkostnaden per år skiljer sig mellan diesel- och hybridlastbilen eftersom den senare är dyrare. Dessutom skiljer sig körkostnader (bränslekostnader och brukaravgifter) beroende på om lastbilen körs på elväg eller på diesel. Vi antar att slitaget per kilometer är lika för alla lastbilar. Nästa kapitel redovisar antaganden om drifts- och kapitalkostnader för diesel- och hybridlastbilar.

Den totala skillnaden i drifts- och kapitalkostnader mellan hybridlastbilarna och diesellastbilarna samt elvägens sträckning påverkar huruvida det är företagsekonomiskt lönsamt att välja ett hybridfordon eller annat färdslag/fordon för varje transport. Flera olika effekter beaktas simultant i modellen:

- Balansen mellan trafikslagen – för transporter som kan utnyttja elvägarna blir vägtransporter billigare och tar volymer från järnväg och sjö
- För transporter som kan utnyttja elvägarna vinner lastbilarna volymer inte bara från motsvarande diesellastbilar utan även från de mindre lastbilskategorierna (med maximala bruttovikter upp till 16 respektive 24 ton)
- Att transporter med hybridlastbilar blir billigare enbart på elvägssträckorna gör att optimala ruttval förändras. Jämfört med tidigare kan en sändning gå en något längre väg för att utnyttja den lägre kostnaden per kilometer på elvägen.

2.2. Trafikprognos

Samgods basprognos för 2014 används för att beräkna effekten av elvägarna, eftersom det är det senast kalibrerade basåret. Den totala volymen resor i basprognosen kalibreras sedan in för 2018 genom trafikarbetsberäkningar från Trafikanalys, eftersom det totala trafikarbetet är något för lågt i Samgods. Trafikutveckling mellan 2018 och 2040 har sedan antagits sammanfalla med Trafikverkets godsprognos (Trafikverket, 2018a, 2018b). Trafikverket (2018b) beräknar tillväxttalen för användning i Sampers till 1,78 procent per år för lastbilar med släp och 0,86 procent per år för lastbilar utan släp. Uppdelat i de fordonsklasser som används i Samgods beräknas tillväxttalen till de nivåer som redovisas i

Tabell 1. För att beräkna nyttorna av elvägen för andra år antar vi åter att nyttorna förändras proportionellt mot trafikmängden för varje år.

Trafikverkets godstrafikprognos innebär en snabbare ökning av vägtransporterna jämfört med de senaste årens trend. I en känslighetsanalys antar vi en betydligt lägre tillväxttakt baserad på en genomsnittlig årlig tillväxttakt över perioden 2000 till 2018. Det är svårt att fastställa en tillförlitlig historisk trend då variationen i tillväxttakt är stor över tid, delvis till följd av att tidsperioden innehåller en ekonomisk avmattning i form av finanskrisen. Det är också svårt att utifrån statistiken fördela fordonskilometer över de fordonsklasser som används i Samgods. En utveckling som framgår av flera olika källor är emellertid att körda kilometer med de lastbilar som har en totalvikt under 26 ton trendmässigt minskat under perioden och att körda kilometer med de tyngsta ekipagen ökat. I den alternativa prognosen tar vi fasta på detta.

Tabell 1. Beräknad årlig tillväxttakt för trafikarbete på väg för olika lastbils kategorier

Lastbilskategori	Årlig tillväxt TRV (%)	Årlig tillväxt Trend (%)
60-ton	1,65	1,33
40-ton	1,84	0,13
Övr. tunga lastbilar	1,10	-0,52

Källa: Trafikverket samt egna beräkningar baserade på Trafikanalys statistiska undersökningar Lastbilstrafik, Utländska lastbilar samt Trafikarbete på svenska vägar

Även järnvägstrafiken påverkas av elvägar, eftersom lägre transportkostnader på väg ger en viss överflyttning. För järnvägstrafiken antas en årlig tillväxttakt av transportarbetet på 1,4 procent per år enligt Trafikverkets prognos (2018b). Eftersom elvägar i södra Sverige inte kommer att påverka trafiken med järnmalm på Malmbanan utgår beräkningarna från transportarbete på järnväg exklusive järnmalm. För sjöfart beräknas motsvarande siffra till 1,9 procent per år.

3. Antaganden och indata

Alla samhällsekonomiska kalkyler måste göras utifrån ett prognosår. Utifrån detta härleds den totala nyttan av investeringen genom att anta att nyttor och kostnader för prognosåret ökar linjärt med efterfrågan under kalkylperioden. Vi antar prognosåret 2030, vilket innebär att alla indata avser det året.

3.1. Elvägnätets utsträckning

Elvägar för fjärrtransporter karakteriseras av stora nätverkseffekter. Om bara en liten del av vägnätet är elektrifierat så kommer få lastbilar köra någon längre sträcka på elvägen, vilket innebär att få transportörer kommer finna det företagsekonomiskt lönsamt att investera i de dyrare hybridlastbilarna. Ju större del av vägnätet som elektrifieras, desto fler lastbilar kommer transportörerna finna lönsamma att köpa som hybrider, vilket kommer att öka det totala antalet kilometer som körs på elvägen. Och på samma sätt kommer inkluderande av vägar med höga trafikflöden innebära att det blir lönsamt att konvertera fler lastbilar. Det betyder att det spelar stor roll vilken del av vägnätet som elektrifieras – inte bara hur stort nätet är.

3.2. Elpris

År 2019 var energiskatten på el 34,7 öre/kWh för södra Sverige (Energimyndigheten, 2019). Vi antar att denna skatt kommer vara oförändrad fram till 2030. Vi antar vidare att nätavgiften⁶ är 7 öre/kWh och att den är oförändrad över tid. Vi antar att elcertifikatet är borttaget år 2030, eftersom vind- och solkraftens lönsamhet ökar över tid.

Dagens elpris är ca 35 öre/kWh, och kommer enligt Energimyndigheten (2019) att ha ökat till 38,50 öre/kWh år 2030 eftersom bränslepriserna antas stiga och priset på utsläppsrätter antas öka i takt med att taket successivt sänks i EUs handelssystem EU-ETS. Elproduktionen ingår i handelssystemet vars utgivning av utsläppsrätter successivt minskar till noll år 2057. Dessa antaganden ger ett elpris på totalt 78,60 öre/kWh år 2030 för stora förbrukare (skatt, nätavgift och spotpris).

Det råder dock en betydande osäkerhet kring framtida elförsörjning och elpris, speciellt vintertid. Om utsläppsrätternas pris stiger snabbare än förväntat kommer priset på el att stiga snabbare även i Sverige. Detta eftersom den internationella handeln med el gör att elpriset påverkas av priset på utsläppsrätter även i länder utan fossil kraftproduktion. Av det skälet gör vi en känslighetsanalys med ett fördubblat elpris jämfört med idag: 70 öre/kWh, vilket ger ett elpris på totalt 1,12 kr/kWh inklusive skatt och elnätavgift.

Tabell 2 Elpris 2030 i huvudscenario samt känslighetsanalys; kr per kWh i 2019 års prisnivå

	Huvudscenario	Känslighetsanalys
Spotpris	0,385	0,700
Energiskatten på el	0,347	0,347
Nätavgift	0,07	0,07
Totalt	0,786	1,117

⁶ Det motsvarar Vattenfalls nuvarande regionnätstariff (Vattenfall Eldistribution AB, 2019). Även Sundelin (2018) antar denna nätavgift.

3.3. Dieselpris

För att prognostisera dieselpriiset år 2030 behöver vi göra antaganden om hur reduktionsplikten, priset på biodrivmedel och priset på fossil diesel kommer att utvecklas fram till dess. Kvartal 1 2019 var det obeskattade dieselpriiset 8,39 kronor per liter (baserat på priset till privata kunder hos Circle K och Preem, efter avdrag av moms och punktskatter). Detta pris inkluderar kostnaden för den biodiesel som krävs för att undvika reduktionspliktens sanktionsavgift under antagandet att biodrivmedel inte ger upphov till några koldioxidutsläpp alls.⁷

Den extra kostnaden för biodiesel jämfört med fossil diesel uppskattar vi genom att jämföra listpriser på HVO100 och diesel vid pump. Vi tar hänsyn till att höginblandad biodiesel HVO100 är skattebefriad. Dock är inte inblandad HVO skattebefriad. Beräkningarna i Tabell 3 ger en merkostnad för biodiesel jämfört med fossil diesel på 6,62 kronor per liter. Detta ska jämföras med sanktionsavgiften (4 kronor /kilo koldioxidekvivalent x 2,6 kg koldioxidekvivalent per liter = 10,4 kronor/liter). 19,3 procents inblandning ger alltså en extra kostnad för diesel på 1,27 kronor/liter. Det innebär i sin tur att fossil diesel obeskattat kostar 7,12 kronor/liter att producera.

Vi räknar vidare med att kostnaden för bränslebolagens inköp av fossil diesel stiger realt med 17 procent fram till 2030, främst till följd av ökad konkurrens från sjöfarten. Detta på grund av de nya svavelregler som den internationella sjöfartsorganisationen (IMO) satt upp och som träder i kraft år 2020. Vi antar att biodiesel fortsatt kan produceras till samma merkostnad jämfört med fossil diesel som nu, dock med viss osäkerhet för eventuell uppkomst av knapphetsprisättning.

En majoritet i riksdagen vill att punktskatten ska öka realt med 2 procent per år. Låt oss anta att de orkar genomföra detta åtminstone till 2025.⁸ Det innebär att dagens totala punktskattenivå ökar från 4,72 till 5,31 kronor per liter.

En viktig fråga för en bedömning av priset på diesel vid pump är också om riksdagen kommer att fastställa en långsiktig reduktionsplikt som inte kan klaras av utan fortsatt nettoimport av biodrivmedel. En annan aspekt av stor betydelse är om riksdagen vid brist på biodrivmedel, som driver upp priset, verkligen är beredd att låta energimyndigheten sätta sanktionsavgiften till 4 kronor per kilo koldioxidekvivalent. Det innebär en hög värdering och leder till en extremt hög betalningsvilja inom transportsektorn som gör att bioenergi allokeras till drivmedel trots att den kanske hade gjort större klimatnytta i andra samhällssektorer. Så kan t.ex. effekten bli att spån kommer att användas för framställning av biodrivmedel till priset av stora omvandlingsförluster och reducerad produktion av spånskivor (som i många applikationer utgör en kolsänka). Av detta skäl bortser vi från sanktionsavgiften och försöker bara bedöma hur priset på fossil diesel kan komma att utvecklas på grund av den merkostnad som en viss inblandning av biodiesel kan få.

Det krävs en omfattande elektrifiering av vägtrafiken för att de maximalt ca 20 TWh biobränsle som kan klaras av utan nettoimport ska räcka till en reduktionskvot som är högre än 0,25 och avser all försäljning av diesel och bensin oavsett sektor (alltså inklusive arbetsmaskinernas

⁷ Den verkliga climateffektiviteten av biodrivmedel är svår att uppskatta i förväg eftersom den beror på bränslets ursprung. Vi har räknat på 100 procents effektivitet, eftersom vi inte vet vilken den framtida genomsnittseffektiviteten kan bli. Med all sannolikhet blir den dock lägre än 100.

⁸ Vi bortser i denna beräkning från att riksdagen sänker koldioxidskatten för att uppväga merkostnaden för den biodiesel som behövs för att klara reduktionsplikten. Det kan ske så länge inte den samlade beskattningen av diesel (med låginblandning av biodiesel) hamnar under energiskattedirektivets miniminivå. Att vi bortser från denna sänkning av koldioxidskatten kan leda till att vi överskattat skillnaden i beskattning mellan diesel och el, vilket dock inte påverkar det samhällsekonomiska utfallet annat än om det leder till att något färre åkare byter till elhybrider. Vår känslighetsanalys innehåller ett alternativ som kan sägas avspegla en större skillnad.

förbrukning). Just nu är reduktionsplikten mycket högre för diesel än för bensin, vilket långsiktigt med stor sannolikhet är kostnadsineffektivt. Om vi antar att riksdagen inför en gemensam kvot före 2025 och inte baserar den på en acceptans av långsiktig nettoimport, så förefaller det rimligt att utgå från att den inte kan bli högre än 0,25. För att ens detta ska uppnås krävs omfattande investeringar, och det återstår att se om de realiserar. Osäkerhet råder i branschen om den framtida marknaden för biodrivmedel eftersom 73-punktsuppgörelsen⁹ innehåller en punkt om att förbjuda försäljning av nya bensin- och dieslbilar 2030. Det förefaller alltså som kvoten 0,25 är den maximala under förutsättning att vi inte ska förlita oss på nettoimport. Vi antar därför att diesel som säljs vid pump har 25 procents inblandning av biodiesel år 2025-2030.

Med 25 procents inblandning av biodiesel år 2030 kommer dieselpriiset vid pump att vara 10,00 kronor per liter i 2019 års penningvärde, se tabell 3. Inklusivt skatt, men exklusivt moms ger det 15,30 kronor per liter.

Tabell 3 Beräkning dieselpriis vid pump 2030 för huvudanalys samt två känslighetsanalyser; kr/l i 2019 års prisnivå

	Huvudanalys	K1	K2
Listpris inkl. moms/skatt diesel (19,3%) ¹⁰	16,39		
Listpris inkl. moms HVO100	17,18		
Listpris exkl. moms/skatt diesel (19,3%)	8,39		
Listpris exkl. moms HVO100	13,74		
Pris fossil diesel	7,12		
Skillnad HVO100 jmf med fossil diesel	6,62		
Merkostnad vid pump pga inblandning HVO 19,3%	1,27		
Punktskatt diesel vid pump 2019 SPBI	4,72		
Produktionskostnad fossil 100% 2030	8,33		
Dieselpriis pump vid inblandning av 25% HVO 2030	9,99	13,50	7,90
Punktskatt 2030	5,32	5,32	5,32
Pris diesel inkl. skatt 2030 (men exkl. moms)	15,30	18,82	13,22

Eftersom bedömningen med nödvändighet blir osäker har vi som känslighetsanalys antagit att priset på diesel ökar till 13,5 kronor per liter alternativt sjunker till 7,9 kr per liter. Det senare

⁹ Januariöverenskommelsen eller 73-punktsuppgörelsen är en skriftlig sakpolitisk överenskommelse mellan riksdagspartierna Socialdemokraterna, Centerpartiet, Miljöpartiet och Liberalerna som togs fram för att kunna utse socialdemokraten Stefan Löfven som statsminister och regeringsbildare efter riksdagsvalet 2018.

¹⁰Listpriser samma för Preem o Circle K

https://m.circlek.se/cs/Satellite/m/SE1/sv_SE/pg1332347381321/pg1334077249884/Priser.html?c=Page&hildpagename=SE1%2FMobileLayout&cid=1334077249884&d=Touch&lang=sv_SE&p=1332347381321&packedargs=lang&pagename=SE1MobileWrapper&sitepfx=SE1&sitepfx=SE1

<https://www.preem.se/foretag/kund-hos-preem/listpriser/listpriser-foretagkort/>

skulle kunna bero både på en större ökning av priset på fossil diesel och på knapphetsprissättning av biodiesel. Vi antar dock att priset på HVO inte ökar så mycket mer att merkostnaden för HVO överstiger de 10,4 kronor per liter, vid vilken prisnivå det blir förmånligare att betala sanktionsavgiften.

3.4. Drivmedelsförbrukning

Enligt Kühnel m. fl. (2018) så kommer en 40-tons lastbil som körs på elväg att förbruka 1,51 kWh/km år 2030. Baserat på en muntlig konversation med Scania antar vi att drivmedelsåtgången för en diesellastbil är dubbelt så hög. Vi antar därför att diesellastbilen drar 3 kWh/km, dvs 3,1 liter diesel per mil år 2030. Enligt ASEK 6 (Trafikverket, 2018c) så är drivmedelsåtgången för en 60-tons lastbil 1,8 gånger högre än för en 40-tons lastbil. Det finns dock inget underlag för detta antagande i ASEK 6, och i (det icke-beslutade) förslaget till ASEK 7 anges en mindre merförbrukning i 60-tonslastbilen. Enligt Closer (2013) drar en 60-tons lastbil bara 1,3 gånger mer än en 40-tons lastbil, vilket är mer i linje med förslaget till ASEK 7. Vi antar därför att 60-tons lastbilar drar 1,3 gånger mer bränsle än 40-tons lastbilar.

3.5. Kapitalkostnad

Enligt Sveriges Åkeriföretag har lastbilar en livslängd på fem till tio år. Avskrivningstiden är ofta kortare än livslängden, och lastbilen har därför ett restvärde när den skrivits av. Kühnel m.fl. (2018) antar en avskrivningstid på fem år (avsnitt 4.1 och 4.4, figur 4–2) och ett restvärde på 24,9 procent av det ursprungliga inköpspriset för fordonet. De poängterar dock att det är osäkert hur restvärden kommer att utvecklas. Av dessa skäl antar vi en avskrivningstid på 7 år och noll¹¹ i restvärde för den tillkommande kapitalkostnaden.

Kühnel m.fl. (2018) räknar i alternativet elhybrid (O-HEV) med en lastbil som drivs av en dieselmotor på 350 kW och som dessutom har en elmotor med samma effekt. De inkluderar ett batteri med en räckvidd på endast 10 till 20 kilometer. Skillnaden i kostnad 2025 mellan elhybriden och en traditionell diesel antas vara cirka 500 000 kronor. Strömvatagaren förefaller svara för en betydande del av hybridbilens merkostnad, runt 280 000 kronor år 2025. Men elmotorn är billig! Kühnel m.fl. räknar med att en motor på 350 kW bara kostar 50 150 kronor år 2025. Siffrorna stämmer väl med muntligt kommunicerade siffror från Scania. Enligt Scania är det tänkbart att merkostnaden för en elbil jämfört med referensbilen faller ner mot 100 000 kronor till 2030. Ett skäl till att skillnaden minskar är att förbränningsmotorn väntas bli dyrare på grund av högre avgaskrav. Men eftersom det senare är mer osäkert antar vi siffrorna från Kühnel m.fl. för 2025, med en avskrivningstid 7 år, ränta 4 procent och merkostnad 500 000 kronor. Detta ger en extra fordonskostnad på 83 000 kronor per år.

Under antagandet att den årliga körtiden är 3 500 timmar för de två tyngsta lastbilskategorierna (siffran är hämtad från ASEK 6.1 och är densamma som används vid beräkningar av tidskostnader för de tyngsta standardlastbilarna) och att den årliga kostnaden för standardlastbilen (inkluderat kapitalkostnad och förarkostnad) är 1,1 Mkr för 40-tons och 1,2 Mkr för 60-tons lastbilar, så blir kostnaden per timme för hybridlastbilen 8 respektive 7 procent högre jämfört med standardlastbilen.

I en känslighetsanalys kommer vi att analysera effekten av att lastbilarna behöver ha ett större batteri, för att klara ett infrastrukturalternativ där luckor lämnas i elektrifieringen av vägen. Detta minskar elvägens investeringskostnad men ökar lastbilarnas kapitalkostnad för batterier. Kühnel m.fl. anger att ett batteri på 175 kWh skulle tillåta en körsträcka på 100 km. Kostnaden för ett

¹¹ I de ingångsvärden som används i Samgodsanalysen för standardlastbilar används en avskrivningstid på 7 år och ett restvärde på ca tio procent enligt ASEK 6.1.

sådant batteri anger de vara €60 000 år 2015. De uppskattar att kostnaden sjunker till €25 000 år 2025, och till €19 000 år 2030. Därför antar vi att merkostnaden för att uppgradera batteriet till att klara 100 km blir €19 000 år 2030. Hela merkostnaden för lastbilen blir då $0,19 + 0,5 = 0,69$ Mkr eller 0,11 Mkr per år (jämfört med 0,083 Mkr per år för hybridlastbilen utan det större batteriet).

3.6. Brukaravgift

Elvägens samhällsekonomiska lönsamhet blir högst om vi antar att brukarna får betala en samhällsekonomiskt optimal brukaravgift. Då betalar de lastbilarnas fulla externa kostnader, dvs samhällets totala marginalkostnad för transporten. Sedan slutet av 1980-talet är den uttalade principen i Sverige att trafik ska beskattas så att användarna möter den kortsiktiga samhällsekonomiska marginalkostnaden (Regeringen, 1988).¹²

Ett vanligt problem vid analyser av prissättning i transportsektorn är dock att inte alla trafikslag fullt ut betalar för sina externa kostnader. För prissättningen av elvägen är problemet att övriga godstransporter inte möter en optimal prissättning. Både godståg och lastbilar betalar idag betydligt mindre via skatter eller banavgifter än den externa kostnad de ger upphov till. Därför antar vi att brukaravgiften på elvägen sätts samhällsekonomiskt optimalt, givet den prissättning som redan råder för diesellastbilar, en så kallad "second-best" prissättning.

Under förutsättning att den totala efterfrågan på lastbilskilometer inte påverkas av att elvägen byggs, dvs helt oelastisk efterfrågan, så innebär en optimal "second-best" prissättning av elvägen att brukaravgiften sätts till skillnaden mellan de ej internaliserade externa kostnaderna per kilometer för elvägs- och diesellastbilar. För att visa detta, anta att det totala antalet lastbilskilometrar som körs på elvägen (V_e) eller drivs på diesel (V_d) är $V = V_e + V_d$. Efterfrågakurvan $d(V)$ visar det negativa sambandet mellan pris (d) och efterfrågade lastbilskilometrar (V). Den totala kostnaden som bärs av transportörerna när lastbilen körs på elvägen exklusive brukaravgift är $c_e(V_e)$. För en lastbil som körs på diesel är motsvarande kostnad $c_d(V_d)$. Den externa kostnaden (som inte internaliserats genom beskattning av diesel och el) är e_e för en varje elvägskilometer och e_d för varje diesellastbilskilometer.

Anta nu att varje transportör kan välja att använda elvägen eller att köra på diesel, och att valet mellan dessa bara bestäms av lägsta kostnad (Wardrops princip, som även Samgods antar). Låt τ vara den optimala brukaravgiften på elvägen, givet en viss ej internaliserad extern kostnad av diesellastbilen. I jämvikt är då den optimala användningen av elvägen $d_e(V_e) = c_e(V_e) + \tau$. Den optimala brukaravgiften, givet beskattningen av diesellastbilen är

$$\tau = e_e - e_d \frac{-\frac{\partial d}{\partial V}}{\frac{e_d}{V_d} - \frac{\partial d}{\partial V}}$$

Kvoten är alltid under ett om efterfrågan på lastbilstransporter är elastisk, dvs ökar om priset d faller.¹³ Vi antar istället helt oelastisk lastbilstrafik, eftersom överflyttningen till/från sjöfart och

¹² Denna princip tillämpas dock inte på flyg och sjöfart, som via avgifter mestadels måste stå även för de fasta infrastrukturkostnaderna, och bara delvis på väg- och tågtrafik.

¹³ Med elastisk efterfrågan blir den optimala brukaravgiften alltså större än skillnaden i extern kostnad. Det beror på att om efterfrågan är elastisk så innebär en ökad kostnad för elvägslastbilen färre lastbilskilometrar totalt, och därmed minskar den externa kostnaden. I extremfallet att $-\frac{\partial d}{\partial V} \rightarrow 0$, dvs efterfrågan är helt elastisk, då vore den optimala brukaravgiften på elvägen lika med hela den externa kostnaden på elvägen e_e .

järnväg är liten. Det betyder att för varje lastbil som väljer bort elvägen tillkommer istället en lastbil som kör på diesel. Med oelastisk efterfrågan, dvs $-\frac{\partial d}{\partial v} \rightarrow \infty$, blir kvoten 1 och den optimala brukaravgiften för elvägen skillnaden mellan de externa kostnaderna för elväg respektive diesel: $e_e - e_d$. Eftersom efterfrågan är helt oelastisk så påverkas inte den totala externa kostnaden om brukaravgiften höjs eller sänks marginellt; ett minskat/ökat antal elvägskilometer innebär då en lika stor ökning/minskning av antalet dieselkilometer.

Antag vidare att de externa kostnaderna för elvägs- och diesellastbilarna är r_e och r_d , och den internaliserande beskattningen t_e och t_d (dvs el och dieselskatter som gör att brukarna internaliserar de externa kostnaderna i sitt beslutsfattande) enligt vad som visas i tabellen nedan. De icke internaliserade externa kostnaderna för elvägs- och diesellastbilar beräknas i tabell 4 som $e_e = r_e - t_e$ och $e_d = r_d - t_d$.

De externa kostnaderna för 40- och 60-tons lastbilar redovisas i tabell 4. De externa kostnaderna för vägslitage, olyckor och buller för 40- och 60-tons lastbilar är tagna från Johansson och Johansson (2018) som räknat om de externa kostnaderna från SAMKOST 3 (som inte skiljer på 40- och 60-tons lastbilar) till att gälla 40- och 60-tons lastbilar (som finns i Samgods). Vi antar att slitagekostnaden inte skiljer sig mellan elvägsdrift och dieseldrift, eftersom vi bedömer att risken för ökad spårbildning är låg om el tillförs uppifrån (vilket vi antar, se avsnitt 3.7). Kostnaden för koldioxidemissioner är beräknade från antaganden om drivmedelsförbrukning redovisade i tidigare kapitel och värderingen av koldioxidutsläpp från ASEK 6 (1,14 kronor per kilo koldioxidekvivalenter). Alla betalningsviljebaserade värderingar är dessutom uppräknade till 2030, genom antagande om en årlig ökning på 1,5 procent enligt ASEK 6.

De externa kostnaderna för vägslitage, buller och olyckor i tabell 4 är genomsnitt för det statliga vägnätet. Den externa kostnaden av buller beror på vägsträckningen i förhållande till bebyggelse så vi använder ett genomsnitt för det statliga vägnätet. SAMKOST har inte differentierat skillnader i slitage eller olycksexponering mellan olika typer av statliga vägar (det har inte heller ASEK) så även dessa speglar ett genomsnitt för statliga vägar.

Marginalkostnaden av slitaget på elvägsanläggning, främst kontaktledningen, är tagna från uppskattningar av slitage på elanläggningen för tåg. Det beror på att det finns så lite evidens för slitaget för elvägsanläggning. Odolinski (2018) visar att marginalkostnaden för tågtrafikens slitage på elvägsanläggningen (från det regionala nätet) är cirka 0,5 kronor per kilometer.

Med diesel och elpriser enligt tabell 2 och 3 samt förbrukning enligt avsnitt 3.4, får vi ej internaliserade kostnader uttryckta i kronor per kilometer enligt tabell 4. Den visar att beskattningen av en ellastbil via elskatten uppgår till cirka en tredjedel av beskattningen av en diesellastbil. Den externa kostnaden för elvägsdrift är bara cirka 20-60 öre per kilometer lägre än för dieseldrift – den lägre externa kostnaden för koldioxidutsläpp äts delvis upp av kostnaden för slitaget på elvägsanläggningen. Den optimala brukaravgiften för elvägen, givet antagen beskattning av diesellastbilen, $e_e - e_d$, blir runt 1 krona per kilometer för både 40- och 60-tons lastbilar.

Tabell 4: Externa kostnader för lastbilar 2018 och 2030, kronor per kilometer i 2019 års penningvärde

	40-tons lastbil 2018	60-tons lastbil 2018	40-tons lastbil 2030	60-tons lastbil 2030
Vägsitage, diesel och elväg	0,84	1,28	0,84	1,28
Olyckor, diesel och elväg	0,25	0,25	0,30	0,30
Emissioner utanför tätort, diesel	0,01	0,01	0,01	0,01
Buller, diesel och elväg	0,05	0,05	0,06	0,06
Koldioxid, diesel	0,88	1,15	1,06	1,37
Marginalkostnad elvägsanläggning			0,9	0,9
Summa extern kostnad diesel, r_d			2,3	3,0
Summa extern kostnad elväg, r_r			2,1	2,5
Skatt diesel, t_d			1,6	2,1
Skatt elväg, t_e			0,52	0,68
First-best brukaravgift diesel, e_d			0,63	0,89
First-best brukaravgift elväg, e_e			1,6	1,9
Second-best brukaravgift elväg (givet nuvarande beskattning av diesel och ingen brukaravgift för dieseldrift), $e_e - e_d$			0,93	0,95

3.7. Investeringskostnad elväg

Osäkerheten om vad elvägar kan komma att kosta är betydande. Kostnaden för de båda svenska provsträckorna har varit hög,¹⁴ men de ansvariga konsortierna räknar med betydligt lägre kostnader vid storskalig utbyggnad. RUAB bedömer att den positiva effekten av en framtida lärlärd kurva kan bli betydande och på sikt resultera i en investeringskostnad kring 10 miljoner kronor per km vid matning från skena i vägbanan.¹⁵ Det kan dock visa sig vara en överdriven förhoppning. I Tyskland räknar man med betydligt högre kostnader för alternativet med konduktiv matning till motorväg från kontaktledning. Boston Consulting Group och Prognos (2019) bedömer kostnaden till i genomsnitt motsvarande 25 miljoner kronor per km vid en storskalig utbyggnad (250 mil), medan Fraunhofer Institute m.fl. (2018) uppskattar den till motsvarande drygt 17 miljoner kronor per km. Sundelin m.fl. (2017) anger kostnaden, inklusive lågspänningsdelen av kraftöverföringen, till drygt 17 miljoner kronor per km.

¹⁴ Trafikverket uppger att det "kunskapsunderlag" som den förkommersiella upphandlingen avser kostat ca 93,5 Mkr för Region Gävleborg och 56,5 Mkr för Rosersberg Utvecklings AB. Därtill kommer initiativtagarnas egna bidrag. Utgifterna täcker emellertid inte bara investeringar i infrastruktur och fordon utan också utvecklingsarbetet.

¹⁵ Mejl 2018-12-13 från Sofia Lundberg.

I detta projekt utgår vi från alternativet med konduktiv matning till motorväg från kontaktledning. Det är den teknik som är mest välutvecklad idag. Om elvägen ska byggas under de närmaste åren så finns inga alternativ till detta. I en studie från PIARC (2018) anges kostnaden för elvägar med konduktiv matning från kontaktledning till ca 22 miljoner per dubbelriktad väg. I denna siffra ryms fyra miljoner för framdragnings av el från det regionala vägnätet. Slide-in fast 2 rapporten¹⁶ (Energimyndigheten, 2018) ger en betydligt lägre siffra: 12,8 miljoner per km dubbelriktad väg. Det förefaller dock rimligt vid en samhällsekonomisk analys att inte hänge sig åt glädjekalkyler utan hellre räkna med kostnader som kan visa sig vara tilltagna något i överkant, och därför antar vi siffran från PIARC.

Enligt Trafikverket tillkommer dessutom 3 miljoner kronor per kilometer och riktning för installation och vägutrustning (större delen av kostnaden är för räcke). Eftersom vi studerar utbyggnad efter befintlig motorväg, där graden av vägutrustning redan är hög, har vi valt att anta endast halva denna kostnad. Totalt räknar vi därmed med kostnaden 25 miljoner kr per km dubbelriktad väg. Vi antar en relativt kort ekonomisk livslängd för elvägen, bara 15 år (se avsnitt 4.2). Av det skälet antar vi att den årliga underhållskostnaden är liten, bortsett från den slitagekostnad som uppstår när ellastbilen använder vägen (marginalkostnaden per lastbils-kilometer). Viss osäkerhet finns dock beträffande slitaget på kontaktledningen av ett stort antal fordon per år. Eventuella underhållsarbeten på den kan dock inte förväntas skapa några större problem eller kostnader för trafiken, eftersom lastbilarna kan passera med hjälp av dieselmotorn eller batteridrift.

Vi antar ingen extra kostnad för den utbyggnad av elnäten som krävs för att säkerställa att nödvändig effekt når fram till vägen. Dock inkluderar vi en nätavgift i elpriset i analyserna, vilken åtminstone delvis bidrar till kostnaden för näten. Dessutom kommer kapaciteten i nätet att behöva byggas ut längs motorvägarna även om driften av tung trafik istället kan lösas med batterier (eftersom batterierna i så fall behöver kunna laddas).

Vi kommer i en känslighetsanalys anta halva investeringskostnaden, 12,5 miljoner kr per dubbelriktad väg i ett alternativ med luckor i eltillförseln. I den analysen antar vi att lastbilarna istället behöver investera i ett batteri som ger en räckvidd på 100 km.

Normalt beaktas inte kostnader för störningar under byggtid i de samhällsekonomiska bedömningar som görs i Sverige, men även om det skulle inkluderas bedöms störningarna kunna begränsas eftersom bedömda byggen sker utmed europavägarna där ett eller flera körfält kan lämnas opåverkade. I de simuleringar som gjorts har också start och målpunkterna för elvägarna placerats en bit ifrån de mer trafikerade delarna av storstadsområdena.

¹⁶ Projektet är ett utvecklingsprojekt med samarbetande globala företag och svenska universitet för att ytterligare utvärdera möjligheter och tekniskt innehåll samt mognadsgrad för elvägsteknologier från Bombardier och Alstom

4. Scenarier

4.1. Huvudscenario

Tabellen nedan sammanfattar alla indata från kapitel 3 som går in i Samgodsanalysens huvudscenario. Kostnaderna har anpassats efter prisnivån och det antaganden om förbrukning och marginalkostnader som används i Samgods (baserat på ASEK 6). I Samgods ingår också kilometerkostnader för slitage på fordonen, service, däck, värdeminskning etc. Vi antar att dessa kostnader är desamma för el och diesellastbilar enligt tabell 5. Huvudscenariot med elvägar jämförs med ett basscenario, där vi antar att inga elvägar finns och att all tung trafik drivs på diesel.

En utgångspunkt för studien är att elvägarna bara nyttjas av lastbilar med maximal tillåten bruttovikt på 40 eller 60 ton. Lastbilar med maximal tillåten bruttovikt på 40 ton tillåts i hela Europa, medan lastbilar med maximal tillåten bruttovikt på 60 ton endast tillåts i Sverige och Finland. Kom ihåg att vi antar att de lastbilar som kan drivas på elvägen är dieselhybrider som också har en förbränningsmotor att använda på sträckor där elvägen inte finns.

Tabell 5 Körkostnader 2030 anpassat till prisnivån i Samgods. Huvudanalysen.

	40 ton	60 ton
Körkostnad elväg kr/km	2,14	2,52
<i>Varav drivmedelskostnad kr/km</i>	<i>0,69</i>	<i>0,89</i>
<i>Varav skatt kr/km</i>	<i>0,52</i>	<i>0,68</i>
<i>Varav brukaravgift kr/km</i>	<i>0,93</i>	<i>0,95</i>
Körkostnad diesel kr/km	4,72	6,13
<i>Varav drivmedelskostnad kr/km</i>	<i>3,08</i>	<i>4,00</i>
<i>Varav skatt kr/km</i>	<i>1,64</i>	<i>2,13</i>
Slitage, service, däck, värdeminskning etc. Alla lastbilar kr/km	2,75	4,57
Total kostnad kr/km Elväg	4,89	7,09
Total kostnad kr/km Diesel	7,47	10,70
Kapitalkostnad alla lastbilar Mkr/år	1,11	1,11
Extra kapitalkostnad hybridlastbil Mkr/år	0,08	0,08

4.2. Kalkylparametrar

Investeringskostnaden är satt till 12,5 miljoner kronor per kilometer och riktning enligt avsnitt 3.7 och byggkostnaden antas jämnt fördelad över byggperioden på 5 år. Övriga kalkylparametrar redovisas i tabell 6.

Skälet till att anta en så relativt kort kalkylperiod som 15 år är att den tekniska utvecklingen efter 2040 är svåröversäglig. Det råder en betydande osäkerhet kring utvecklingen av både batterier och bränsleceller efter 2040. Är inte elvägen på plats förrän 2030 eller senare så leder kalkylperioden fram så långt som till 2045 eller senare. Notera att valet av öppningsår har en

marginell betydelse för NNK, eftersom både kostnader och nyttor diskonteras lika mycket om man tidigare- eller senarelägger öppningsåret. Marginalkostnad av skattemedel speglar den marginella dödviktsförlusten för Sveriges vanligaste skatter (Sørensen, 2010).

Tabell 6. Kalkylparametrar som använts i den samhällsekonomiska bedömningen

Kalkylantaganden	
Kalkylränta	3,5 %
Marginalkostnad av skattemedel (Skattefaktor. MCPF)	1,3
Byggstart	2020
Öppningsår	2025
Kalkylperiod	2025-2040
Årlig uppräknings av värdering av emissioner/buller/olyckor	1,49 % per år
Uppräknings av drivmedelsskatt mellan 2025 - 2040	0
Ej internaliserad kostnad (kr/tkm) Järnväg	0,017
Ej internaliserad kostnad (kr/tkm) Sjöfart, c02=1.14 kr/kg	0,004
Ej internaliserad kostnad (kr/tkm) Sjöfart, c02=4 kr/kg	0,048
Ej internaliserad kostnad (kr/tkm) Sjöfart, c02=7 kr/kg	0,095

Eftersom järnvägstrafiken är underinternaliserad, dvs den bär inte sina fulla externa kostnader, innebär minskade järnvägstransporter en nytta för samhället. Samhällets vinst av minskat slitage på järnvägen, olyckor, buller och trängsel är större än förlusterna av mindre intäkter av banavgifterna. Den icke internaliserade delen av de externa kostnaderna, exklusive trängselkostnad, antas vara 0,017 kr per tonkm för de aktuella sträckorna baserat på Samkost (Nilsson och Haraldsson, 2018). Detta beaktas i kalkylen. Sjöfartens externa kostnader har däremot bedömts vara nästan fullt internaliserade av hamn- och farledsavgifter (Vierth, 2018). Vid högre värdering av koldioxid minskar internaliseringsgraden av sjöfartens externa effekter.

4.3. Känslighetsanalyser

Många av de indata vi använder är förknippade med osäkerhet, eftersom såväl kapital- och slitagekostnader som drivmedelspriserna är svåra att prognostisera. Vi utför därför känslighetsanalyser för de viktigaste och mest osäkra parametrarna, d.v.s. de parametrar som styr skillnaden i driftskostnad mellan eldrift och drift med förbränningsmotor. Detta ger en indikation på hur robust lönsamheten för en investering i elväg blir.

Elpris, dieselpolis och brukaravgifter kan förväntas vara nyckelparametrar för lönsamheten. De påverkar också minskningen av koldioxidutsläpp, eftersom de påverkar hur lönsamt det blir för transportörer att uppgradera sina lastbilar så att de kan köra på elvägen. Både el- och dieselpolis kan påverkas av grundpris och av skatt. För utfallet i Samgodsmodellen, dvs transportmönster, spelar det ingen roll vad som är de bakomliggande orsakerna till en prisändring. Det är endast den relativa skillnaden i driftskostnad mellan olika fordon som påverkar utfallet. Det innebär att effekten av alla förändringar i var och en av parametrarna elpris, dieselpolis och brukaravgifter kan analyseras med en och samma körning. Men för det samhällsekonomiska kalkylutfallet spelar det roll om det är el- eller dieselpolis som påverkas eller om det är skatten/brukaravgiften som påverkas. De senare är ju bara en transferering medan de förra är en reell kostnad.

Indata i form av körkostnad för känslighetsanalyserna sammanfattas i tabell 8. Eftersom det är den relativa skillnaden i körkostnad mellan att köra på diesel och att köra på el som spelar roll kan man tolka samma känslighetsanalys antingen som en förändring av elpriset, brukaravgiften eller dieselpolis. De olika tolkningarna av Känslighetsanalys 1 och Känslighetsanalys 2 sammanfattas i tabell 9.

I känslighetsanalys 3 antar vi en högre kapitalkostnad för ett större batteri i hybridlastbilen, vilket ökar tidskostnaden. Samtidigt minskar vi investeringskostnaden för elvägen. Indata i form av tidskostnad för känslighetsanalyserna sammanfattas i tabell 10.

Känslighetsanalys 1

I den första känslighetsanalysen minskar vi skillnaden i körkostnad mellan diesel och elvägsdrift så att kilometerkostnaden för ellastbilen relativt diesellastbilen ökar från 0,65 (40-tons lastbil) respektive 0,66 (60-tons lastbil) till 0,72 för både 40- och 60-tons lastbilar. En sådan minskning kan komma till stånd av åtminstone tre olika orsaker (se tabell 9).

- Priset på el ökar med 0,315 kr/kWh
- Brukaravgiften på elvägen höjs med 0,48 kr/km för 40- och 0,62 kr/km för 60-tons lastbilar.
- Dieselpriiset sjunker med 2,10 kr/l.

Körkostnaden i denna känslighetsanalys sammanfattas i de två första raderna i tabell 8. Övriga parametrar i känslighetsanalysen sammanfaller med huvudanalysens.

Känslighetsanalys 2

I den andra känslighetsanalysen ökar vi skillnaden i körkostnad mellan diesel- och elvägsdrift så att kilometerkostnaden för ellastbilen relativt diesellastbilen minskar från 0,65 (40-tons lastbil) respektive 0,66 (60-tons lastbil) till 0,57 för 40-tons lastbilar och 0,59 för 60-tons lastbilar. En sådan minskning kan komma till stånd av åtminstone tre olika orsaker (se tabell 9):

- Priset på el sjunker med 0,41 kr/kWh
- Brukaravgiften på elvägen sänks med 0,62 respektive 0,80 kr/km för 40- och 60-tons lastbilar.
- Dieselpriiset ökar med 3,50 kr/l exklusive skatt.

Känslighetsanalys 3

I den tredje känslighetsanalysen ökar vi skillnaden i tidskostnad mellan diesel- och elvägsdrift så att tidskostnaden för ellastbilen relativt diesellastbilen ökar från 1,08 (40-tons lastbil) respektive 1,07 (60-tons lastbil) till 1,10 för både 40- och 60-tons lastbilar. Ökningen antas avspegla den extra tidskostnaden för elbilen med 0,03 miljoner kr per år som ett större batteri (175 kWh) innebär, dvs att kapitalkostnaden per år ökar från 0,08 till 0,11 miljoner kr enligt avsnitt 3.5. Ett större batteri tillåter elvägsnät som byggs uppdelade på delsträckor, med luckor emellan. Vi antar därför att investeringskostnaden för elvägen minskar med hälften.

Vi antar att både investerings- och driftskostnaden för elvägen halveras eftersom dess utsträckning halveras. Besparingen skulle kunna vara större, med tanke på att elvägen inte behöver byggas på ställen där det är dyrare och svårare. Den skulle också kunna vara mindre. Vi sätter brukaravgiften dubbelt så högt som i huvudanalysen, men eftersom längden på elvägen har halverats så blir kilometerkostnaden för drift längs elvägen samma som i huvudanalysen.

Känslighetsanalys 4

Känslighetsanalys 4 ska spegla ett scenario där en privat elvägsoperatör som vill maximera sin vinst sätter brukaravgiften. Elvägsoperatören maximerar sin vinst genom att göra en avvägning mellan att höja brukaravgiften för att öka intäkterna per användare och att sänka brukaravgiften för att öka antalet användare. Appendix härleder hur en vinstmaximerande elvägsoperatör sätter

brukaravgiften. För att härleda detta behöver man veta hur den totala efterfrågan på elvägskilometer påverkas av antalet hybridlastbilar som transportörerna investerat i samt elvägsnätets utsträckning och totala längd. Utfallet beror i sin tur på godstransportefterfrågans geografiska utbredning, tillgängliga transportalternativ samt hur avgiften påverkar kostnaden för elvägsalternativ relativt andra transportlösningar. Vi känner inte till denna funktion, men antar en rimlig funktion, se Appendix. Under antagande om denna funktion kommer en vinstmaximerande elvägsoperatör att sätta brukaravgiften som $\frac{\theta+e}{2}$ – *elkostnad per km*, där θ är driftskostnaden per kilometer med diesel och e är den marginella produktionskostnaden för varje lastbilskilometer viken inkluderar kostnaden för el (spotpris, energiskatt och nätavgifter) samt marginalkostnaden för slitaget på elvägsanläggning. Notera att brukaravgiften inte kommer att påverkas av kapitalkostnaden för lastbilen, trots att antalet hybridlastbilar som transportörerna investerar i minskar om kapitalkostnaden för hybridlastbilen ökar. Det beror på att en högre kapitalkostnad för hybridlastbilen minskar priskänsligheten för att använda de hybridlastbilar man har. Eftersom vi som sagt inte vet hur efterfrågefunktionerna ser kan vi inte säkert beräkna den brukaravgift som en vinstmaximerande elvägsoperatör skulle sätta. Men, för att visa hur mekanismen fungerar använder vi här vi gjort härledningar baserade på de antaganden som redovisas i Appendix.

Tabell 7: Beräkning av den företagsekonomiskt optimala brukaravgiften

	40 ton	60 ton
Körkostnad elväg kr/km e	2,14	2,52
Varav drivmedelskostnad kr/km	0,69	0,89
Varav skatt kr/km	0,52	0,68
Varav marginalkostnad elvägs-anläggning kr/km	0,90	0,90
Körkostnad diesel kr/km θ	4,72	6,13
Varav drivmedelskostnad kr/km	3,08	4,00
Varav skatt kr/km	1,64	2,13
Företagsekonomiskt optimal brukaravgift som inkluderar elpris, nätavgift och elskatt $\frac{\theta + e}{2}$	3,42	4,30
Företagsekonomiskt optimal brukaravgift exklusive elpris, nätavgift och elskatt	2,21	2,73

Tabell 7 visar hur brukaravgiften $\frac{\theta+e}{2}$ – *elkostnad per km* har beräknats till 2,21 kr per kilometer för 40-tons lastbilar 2,73 kr per kilometer för 60-tons lastbilar. Detta innebär att brukaravgiften (alltså den totala körkostnaden på elväg minus elkostnad, nätavgift och elskatt), ökar med 1,28 respektive 1,78 kr/km, beroende på lastbilstyp, jämfört med huvudscenariot där brukaravgiften baseras på den kortsiktiga samhällsekonomiska marginalkostnaden. Denna känslighetsanalys minskar därmed differensen i kilometerkostnad för ellastbilarna relativt motsvarande diesellastbilar, vilket innebär att ellastbilarnas andel av diesellastbilarnas kostnader ökar från 0,65 (40-tons lastbil) respektive 0,66 (60-tons lastbil) i huvudscenariot till 0,83 för båda typerna av lastbilssektorer.

Känslighetsanalys 5

Känslighetsanalys 5 ska liksom känslighetsanalys 4 spegla ett scenario där en privat (eller offentlig) operatör som vill maximera sin vinst driver elvägen. Men i denna analys antar vi intermittent eldrift, som i känslighetsanalys 3, och utgår i gengäld från att hybridlastbilarna måste vara utrustade med ett batteri med en räckvidd på 100 km. Kapitalkostnaden för åkerierna stiger därför på samma sätt som i känslighetsanalys 3. Å andra sidan halveras både investerings- och driftskostnaden för elvägen enligt principen i känslighetsanalys 3.

Vi sätter brukaravgiften till dubbelt så hög som i känslighetsanalys 4, men eftersom den bara betalas för halva den ursprungliga sträckan, så blir kilometerkostnaden för drift längs elvägssträckan den samma som i känslighetsanalys 4. Kom ihåg att brukaravgiften per kilometer eldrift inte påverkas av kapitalkostnaden enligt härledning i appendix.

Känslighetsanalyser sammanfattning

I tabell 8 sammanfattas de körkostnader som har använts i Samgods för huvudanalysen samt känslighetsanalyserna. Notera att känslighetsanalyserna kan tolkas på två olika sätt enligt ovan: en förändring av elpriset eller en förändring av dieselpriiset. Tabell 9 visar olika alternativa tolkningar av känslighetsanalyserna. Till exempel kan känslighetsanalys 1 tolkas som att elpriset höjs med 0,315 kr/kWh, eller att brukaravgiften höjs med 0,48 respektive 0,62 kr/km beroende på lastbilens storlek eller att dieselpriiset sänkts med 2,10 kr/l. Tabell 10 visar hur tidskostnaderna varierar mellan känslighetsanalyserna. Tidskostnaden är bara högre för känslighetsanalysen med intermittent eldrift, eftersom det ställer krav på ett större batteri och därmed en högre kapitalkostnad för lastbilen.

Tabell 8. Körkostnader i kronor per kilometer 2030 i 2019 års penningvärde. Huvudanalysen och känslighetsanalyser.

	Körkostnad på elväg: drivmedel, skatt, brukaravgift kr/km		Körkostnad på diesel: drivmedel, skatt kr/km		Körkostnad på elväg/diesel: Slitage, service, däck, värde-minskning kr/km		Eldrift som andel av dieseldrift	
	40 ton	60 ton	40 ton	60 ton	40 ton	60 ton	40 ton	60 ton
Huvudscenario	2,14	2,52	4,72	6,13	2,75	4,57	0,65	0,66
Känslighetsanalys 1	2,62	3,14	4,72	6,13	2,75	4,57	0,72	0,72
Känslighetsanalys 2	1,52	1,72	4,72	6,13	2,75	4,57	0,57	0,59
Känslighetsanalys 3	2,14	2,52	4,72	6,13	2,75	4,57	0,65	0,66
Känslighetsanalys 4	3,42	4,30	4,72	6,13	2,75	4,57	0,83	0,83
Känslighetsanalys 5	3,42	4,30	4,72	6,13	2,75	4,57	0,83	0,83

Tabell 9. Alternativa tolkningar av förändringarna i körkostnader som elpris, brukaravgifter eller dieselpriser från tabell 8. Till exempel kan känslighetsanalys 1 tolkas som att elpriset höjs med 0,315 kr/kWh, eller att brukaravgiften höjs med 0,48/0,62 kr/km eller att dieselpriset sänkts med 2.10 kr/l.

	Elpris kr/kWh	Brukar 40 kr/km	Brukar 60 kr/km	Dieselpris kr /liter
Huvudscenario (och känslighetsanalys 3)	0,79	0,93	0,95	15,32
Alternativa tolkningar av känslighetsanalys 1, skillnad jmf med huvudscenario	0,315	0,48	0,62	-2,10
Alternativa tolkningar av känslighetsanalys 2, skillnad jmf med huvudscenario	-0,41	-0,62	-0,80	3,50
Skillnad jmf med huvudscenario känslighetsanalys 4 och känslighetsanalys 5.		1,28	1,78	

Tabell 10 Tidskostnader i kronor per kilometer 2030 i 2019 års penningvärde. Huvudanalysen och känslighetsanalyser.

	Hybridbil Mkr/år		Dieseldrift Mkr/år		Tidskostnad för hybridlastbil i relation till standardlastbil	
	40 ton	60 ton	40 ton	60 ton	40 ton	60 ton
Huvudscenario	1,19	1,24	1,11	1,16	1,08	1,07
Känslighetsanalys 1 Mkr/år	1,19	1,24	1,11	1,16	1,08	1,07
Känslighetsanalys 2 Mkr/år	1,19	1,24	1,11	1,16	1,08	1,07
Känslighetsanalys 3 Mkr/år	1,22	1,27	1,11	1,16	1,10	1,10
Känslighetsanalys 4 Mkr/år	1,19	1,24	1,11	1,16	1,08	1,07
Känslighetsanalys 5 Mkr/år	1,19	1,24	1,11	1,16	1,08	1,07

5. Resultat: Trafikeffekter

I huvudscenariot påverkas trafikarbetet (fordonskilometer) enligt Tabell 11. Med det stora nätet beräknas trafikarbetet på väg öka med 2,7 procent. Trafikarbetet med 40-tonns lastbilar beräknas öka med knappt 4 procent och trafikarbetet med 60-tonns lastbilar med knappt 3,7 procent. Trafikarbetet med övriga lastbils-kategorier (för vilka inget elbilsalternativ finns) beräknas sjunka med 4,3 procent.

Det mellanstora nätet får nästan lika stor effekt på trafikarbetet som det stora nätet medan det lilla nätet ger betydligt lägre effekt. Det beror på att elvägnätets längd och lokalisering är avgörande för om det blir lönsamt för transportörerna att investera i den dyrare hybridlastbilen. Uppenbarligen räcker en elektrifiering av det mellanstora nätet långt för att göra det lönsamt för transportörerna att uppgradera en stor del av sina lastbilar till hybrider. En utbyggnad till det största nätet gör det sedan inte lönsamt att uppgradera så många fler lastbilar till hybrider. Att 40-tonns lastbilen påverkas något mer vid införandet av ett mellanstort nät jämfört med ett stort nät förklaras av att 40-tonns lastbilen kan köra utanför Sveriges gränser och kan leverera eller lasta i framförallt Danmark och Tyskland, det vill säga utnyttja Öresundsbron och färjetrafiken från Trelleborg. Eftersom 60-tonns lastbilen endast får utnyttjas i Sverige och Finland gör detta att 40-tonns lastbilen har en konkurrensfördel i detta scenario. I det stora nätet tillkommer en större andel volymer via Göteborg hamn, vilket gör att 60-tonns lastbilens konkurrensförmåga relativt 40-tonsekipagen förbättras.

Tabell 11. Beräknad förändring i trafikarbete (fordonskilometer) på väg för olika lastbils-kategorier med olika stora elvägsnät och med kostnader enligt huvudscenario; procent

	40-ton	60-ton	Övriga	Totalt	Elvägens totala längd, dvs den elektrifierade vägens längd räknad i båda riktningar. (mil)
Litet	0,43	0,75	-0,85	0,45	31,5
Mellan	4,08	3,04	-2,78	2,53	121,1
Stort	3,97	3,66	-4,28	2,68	191,4

Transportarbetet (tonkilometer) med olika färdslag påverkas enligt Tabell 12. Ett stort elvägsnät beräknas leda till ett ökat transportarbete på väg med 3,2 procent och ett reducerat transportarbete på järnväg och sjö, med 1,5 respektive 1,9 procent. Enligt Samgods minskar sjöfartens transportarbete (tonkilometer) procentuellt något mer än järnvägens transportarbete. Men av den tillkommande transportvolymen i ton på väg så kommer mer än dubbelt så mycket från järnvägstrafiken som från sjöfarten. Att transportarbetet på sjö minskar så mycket enligt Samgods beror på att de transportavstånd som räknas som inrikes för sjötransporter mellan Tyskland och Stockholm respektive Göteborg överskattas i Samgods-modellen.

Tabell 12. Beräknad förändring i transportarbete [tonkilometer] på svenska vägar, järnvägar och vatten med olika stora elvägsnät och med kostnader enligt huvudscenario; procent

	Väg	Jvg	Sjö
Litet	0,29	-0,17	-0,08
Mellan	2,68	-1,16	-1,62
Stort	3,19	-1,45	-1,85

Tabell 13 visar hur stora andel av trafikarbetet som görs på elvägen av allt trafikarbete med 40- och 60-tonns lastbilar Sverige. Med ett stort nät beräknas 32 procent av samtliga körda kilometer med 40-tonns lastbilar i Sverige (med hybridlastbilar och diesellastbilar) gå på elväg. Motsvarande

siffror för 60-ton lastbilar beräknas till 29 procent. För det lilla nätet är dessa andelar små, 3 respektive 4 procent.

Minskningen ligger nära motsvarande andelar beräknade av Scania och AB Volvo. Enligt deras beräkningar ("Bygg elvägar nu", Dagens industri, Debattredaktionen, 4 september 2019) skulle en elektrifiering av triangeln mellan Stockholm, Malmö och Göteborg (E4, E6, E20 och Rv40), motsvarande vårt stora nät, minska koldioxidutsläppen från den tunga lastbilstrafiken i Sverige med cirka 33 procent. De bortser från dynamiska effekter och resultatet är därför jämförbart med andelen körda kilometer på elvägar beräknade denna studie (Tabell 13).

Tabell 13. Andel av körda kilometer på väg i Sverige som beräknas på elväg

	40-ton	60-ton
Litet	2,9	4,01
Mellan	23,4	20,6
Stort	31,8	28,6

Eftersom elvägar beräknas leda till ett ökat trafikarbete på väg, som till viss del sker med dieseldrift, kommer trafikarbetet på elvägen att vara större än minskningen av antalet körda kilometer med dieseldrift. Minskningen av trafikarbetet med dieseldrift framgår av Tabell 14.. Minskningen av körda kilometer med diesellastbil motsvarar den totala minskningen av koldioxidutsläpp, eftersom vi antar att eldrift inte ger upphov till några koldioxidutsläpp.

Tabell 14. Beräknad reduktion i körda kilometer med dieseldrift i huvudscenariot jämfört med basscenario (utan elväg); procent. Totala antalet fordonskilometer (miljoner per år) och totala koldioxidutsläpp (kiloton per år): Källa: Fordonskilometer har beräknats med utgångspunkt i Trafikanalys uppgifter för 2018 uppräknade till 2030 enligt Trafikverkets godstransportprognos. Utsläppsminskningar har beräknats med utgångspunkt i nivåer CO2 enligt Naturvårdsverket.

	40-ton	60-ton	Övriga	Total		
<i>Procentuell minskning i körda kilometer med dieseldrift i huvudscenariot jämfört med basscenario</i>						
Litet	-2,5	-3,3	-0,85	-2,57		
Mellan	-20,2	-18,2	-2,78	-15,36		
Stort	-29	-25,9	-4,28	-22,01		
<i>Totala fordonskilometer 2030 basscenario (miljoner)</i>						
	1 431	3 209	1 295	5 935		
<i>Totala CO2 utsläpp från tunga lastbilar i Sverige 2030 i basscenario (kiloton per år)</i>						
	1 110	3 235	724	5 069		
<i>Utsläppsminskning huvudscenariot kton CO2 2030</i>					<i>Elvägens längd (mil)</i>	<i>Utsläpps- minskning per mil elväg 2030 (kton)</i>
Litet	6	28	106	140	31,5	4,46
Mellan	20	225	589	834	121,1	6,89
Stort	31	322	839	1 192	191,4	6,23

Den nedre delen i tabellen visar totala antalet fordonskilometer och totala koldioxidutsläpp prognosåret 2030. Utifrån dessa siffror och de procentuella minskningarna i de tre översta raderna kan den totala reduktionen av koldioxidutsläpp och minskningen av antalet körda kilometer med dieseldrift beräknas.

Kolumnen längst till vänster visar minskningen av koldioxid (eller trafikarbete med dieseldrift) per mil elväg (eller investerad krona). Den visar att mellannätet ger störst minskning per kilometer elvägssträcka.

I Tabell 15 redovisas hur stor andel av de lastbilskilometrar som körs längs elvägarna som sker med elvägsdrift. Tabellen bekräftar bilden från ovan. Det räcker med en elektrifiering av det mellanstora nätet för att göra det lönsamt för transportörer att byta ut merparten av lastbilarna som körs på elvägssträckan till hybrider. En utbyggnad till det största nätet gör det sedan inte lönsamt att uppgradera så många fler lastbilar (men effekten på koldioxidutsläppen blir större eftersom varje elbil körs en längre sträcka när elvägsnätet blir större).

Tabell 15. Andel körda kilometer på berörd elväg av ellastbil; procent. Observera att siffrorna inte avser den totala andelen körda kilometer med tunga lastbilar som utförs med eldrift i hela riket (de finns i tabell 13) – utan bara andelen tunga lastbilskilometer med eldrift längs de elektrifierade vägavsnitten

Huvudscenariot	<u>40-ton</u>	<u>60-ton</u>
Litet	65,2	91,5
Mellan	91,1	96,0
Stort	93,0	96,7

6. Effekt på koldioxidutsläppen

Investeringarna ger förstås störst effekt på utsläppen av koldioxid i det alternativ där utbyggnaden omfattar europavägarna mellan Stockholm och Malmö, mellan Malmö och Göteborg samt RV 40 mellan Göteborg och Jönköping. I det fallet minskar utsläppen efter några år, när åkerierna hunnit ställa om, med ca 1 200 000 ton per år. I mellanalternativet (Stockholm-Malmö) reduceras utsläppen med ca 800 000 ton, medan minskningen bara bli 140 000 ton i det minsta alternativet (Stockholm-Norrköping).

För att få perspektiv på klimateffekten av de tre olika utbyggnadsalternativen kan man t.ex. jämföra med den föreslagna utbyggnaden av höghastighetsbanor mellan samma städer som i vårt största elvägsalternativ. Enligt Sverigeförhandlingens slutrapport (sid 104), leder höghastighetsbanorna till att utsläppen av koldioxid från alternativa transportmedel (på grund av överflyttning från flyg och väg) minskar med 205 000 ton per år.

I sammanhanget kan det vara bra att veta att vi räknat med att ökad efterfrågan på el (oavsett användningsområde) inte leder till ökade utsläpp av koldioxid. Anledningen är att utsläppen från fossileldad kraftproduktion ligger under taket i EU:s utsläppshandelssystem. En växande efterfrågan på el kan därmed, per definition, inte medföra ökade utsläpp, däremot kan den påverka priset på utsläppsrätter.¹⁷

Om de berörda motorvägarna elektrifieras orsakar anläggningsarbetena utsläpp av växthusgaser som vi inte har beaktat i vår analys. Det är dock fråga om förhållandevis små mängder jämfört med situationer då man anlägger helt nya vägar eller järnvägar. Elektrifieringen är ett exempel på fyrstegsprincipens tredje steg som innebär att man höjer nyttan hos befintlig infrastruktur genom kompletterande mindre investeringar, medan anläggning av helt ny väg eller järnväg utgör steg 4.

¹⁷ Under åren närmast efter 2020 kan dock ökad efterfrågan på fossil el i Europa påverka den s.k. marknadsstabilitetsreservens storlek som, om den krymper till följd av ökad efterfrågan på utsläppsrätter, leder till att färre sådana rätter makuleras utan att användas. Efter ytterligare några år kommer dock denna tillfälliga mekanism, som syftar till att få bättre balans mellan utbud och efterfrågan på utsläppsrätter, ha spelat ut sin roll. Då återgår EU ETS till de normala reglerna som innebär att taket successivt sänks så att nytugivningen av utsläppsrätter helt upphör år 2057. De dessförinnan utgivna rättigheterna kan dock användas. Det innebär att utsläppsvolymen inte kan påverkas av efterfrågan på el.

7. Resultat: Samhällsekonomisk kalkyl

7.1. Huvudscenario

Med nuvarande koldioxidvärdering 1,14 kr/kg koldioxid visar Tabell 16 att alla elvägssträckor som analyseras är samhällsekonomiskt lönsamma.¹⁸ Lönsamheten i alla scenarier, trots en relativt hög investeringskostnad, förklaras till stor del av stora bränslekostnadsbesparingar för åkerierna, eftersom brukaravgiften är satt relativt lågt. Analysen visar att den högre kapitalkostnaden för hybridlastbilarna är en liten kostnad i jämförelse med den besparing i drivmedelkostnad (inklusive brukaravgiften) som elvägen medför.

Eftersom drivmedelsskatten för lastbilstrafiken överstiger den samhällsekonomiska kostnaden för dess koldioxidutsläpp är värdet av minskningen av koldioxidutsläppen runt 80 procent högre än bortfallet av statens intäkter från bränsleskatten. Å andra sidan kompenseras statens förlorade intäkter från dieselskatten delvis av ökade intäkter från energiskatten på el, så minskningen av drivmedelsskatten totalt är i samma storleksordning som värdet av de reducerade koldioxidutsläppen.

En liten nytta uppstår av minskade hälsofarliga utsläpp från diesellastbilarna. Den är begränsad eftersom personers exponering för fjärrlastbilarnas utsläpp längs motorvägarna är låg. Övriga externa effekter av lastbilstrafiken ökar något eftersom godstransporter flyttas från sjö och järnväg till lastbil. Brukarintäkten täcker nätt och jämnt marginalkostnaden för slitaget på elvägen. Eftersom järnvägstrafikens externa kostnader inte är fullt ut internaliserade i banavgifterna så genereras en liten positiv nytta av det reducerade transportarbetet på järnväg. Desamma gäller sjöfarten.

Tabell 16. Samhällsekonomiskt kalkylresultat med ett CO₂-värde på 1,14 kr/kg. Mkr 2018 års priser

	Stort	Mellan	Litet	Bygga ut Stort om Mellan finns
CO ₂	15 322	10 718	1 806	4 603
Övr. emissioner	147	103	17	44
Övr. externa effekter*	-2 411	-2 226	-426	-185
Bränsleskatt	-13 660	-9 190	-1 477	-4 470
Brukarintäkt	14 488	10 532	1 807	3 956
Driftkostnad	-13 174	-9 579	-1 639	-3 596
Åkerierna	47 251	34 309	6 045	12 942
Överflyttning järnväg	56	45	7	11
Överflyttning sjö	28	24	1	3
Totalt	48 045	34 736	6 140	13 309
Investering	29 069	18 386	4 776	10 683
Nettonuvärdeskvot	0,65	0,89	0,29	0,25

*Övr externa effekter inkluderar buller, olyckor och slitage på infrastruktur.

¹⁸ Notera att resultaten redovisas i 2018 års prisnivå till skillnad från de ingångsvärden som tidigare redovisats i 2019 års prisnivå. Författarna har valt att inte uppdatera resultaten till 2019 års prisnivå eftersom den låga inflationen gör att det skulle bli små skillnader och nettonuvärdeskvoten skulle bli densamma. Eftersom flera olika nivåer på koldioxidvärdering används har dessa tillåtits ligga kvar på ursprunglig nivå enligt aktuell ASEK-version och inte räknats om via prisnivå och tillväxt till en tänkt värdering 2018. Koldioxidvärderingen på 1,14 skulle uppräknat ligga på cirka 1,34 kr/kg.

En viktig slutsats så här långt är att lönsamheten, liksom minskning av koldioxid per elvägskilometer, är robust högst för mellanätet. Nettonuvärdeskvoten för det medelstora nätet blir 0,89, se Tabell 16. Detta understryker resultatet från föregående kapitel 5; den största effekten på utsläppsminskningar i förhållande till elvägssträckan längd uppnås med mellannätet. Att utvidga elvägen till ett stort nät, om det medelstora nätet redan vore utbyggt, skulle också vara lönsamt, men med en lägre nettonuvärdeskvot (0,25). Även det minsta nätet skulle vara svagt lönsamt.

Trafikverket har beslutat att den 1 april 2020 höja värderingen av koldioxidutsläpp till 7 kr/kg (ASEK 7). För ett projekt där lejonparten av nyttan ligger i att reducera utsläpp av koldioxid, till skillnad från projekt där tidsvinster genererar merparten av nyttan, så skulle den reviderade värderingen av koldioxidutsläpp ge stor effekt på lönsamheten. Den samhällsekonomiska kalkylen för värderingen 7 kr/kg visas i tabell 17. Lönsamheten för alla nät ökar påtagligt, men rangordningen mellan näten är densamma. Vid en koldioxidvärdering på 7 kr/kg sjunker även sjöfartens internaliseringsgrad, från cirka 94 procent till cirka 27 procent¹⁹. Överflyttningen av trafik från sjö till väg genererar därmed en större nytta i beräkningarna baserade på högre koldioxidvärdering. Denna är dock en mindre post som inte nämnvärt påverkar det totala utfallet.

Tabell 17. Samhällsekonomiskt kalkylresultat med ett CO₂-värde på 7 kr/kg. Mkr 2018 års priser.

	Stort	Mellan	Litet	Bygga ut Stort om Mellan finns
CO ₂	94 081	65 815	11 088	28 266
Övr. emissioner	147	103	17	44
Övr. externa effekter*	-2 411	-2 226	-426	-185
Bränsleskatt	-13 660	-9 190	-1 477	-4 470
Brukarintäkt	14 488	10 532	1 807	3 956
Driftkostnad	-13 174	-9 579	-1 639	-3 596
Åkerierna	47 251	34 309	6 045	12 942
Överflyttning järnväg	56	45	7	11
Överflyttning sjö	747	655	31	92
Totalt	127 524	90 463	15 452	37 060
Investering	29 069	18 386	4 776	10 683
Nettonuvärdeskvot	3,39	3,92	2,23	2,47

*Övriga externa effekter inkluderar buller, olyckor och slitage på infrastruktur.

Om värderingen istället skulle sättas till fyra kronor per kilo, vilket motsvarar Energimyndighetens val av nivå för den sanktionsavgift som drivmedelsleverantörer måste betala om de inte klarar reduktionsplikten för diesel, så hamnar nyttonuvärdeskvoterna på mellan 1,2 och 2,3. Givet att det mellanstora nätet redan byggts är en utbyggnad till det största nätet också lönsamt (NNK 1,36), se tabell 18.

¹⁹ Beräkningar baserade på Vierth (2018) och med beaktande av ny koldioxidvärdering, ny värdering av olyckor samt reviderade farledsavgifter.

Tabell 18. Samhällsekonomiskt kalkylresultat med ett CO₂-värde på 4 kr/kg. Mkr 2018 års priser

	Stort	Mellan	Litet	Bygga ut Stort om Mellan finns
CO ₂	53 760	37 608	6 336	16 152
Övr. emissioner	147	103	17	44
Övr. externa effekter*	-2 411	-2 226	-426	-185
Bränsleskatt	-13 660	-9 190	-1 477	-4 470
Brukarintäkt	14 488	10 532	1 807	3 956
Driftkostnad	-13 174	-9 579	-1 639	-3 596
Åkerierna	47 251	34 309	6 045	12 942
Överflyttning järnväg	56	45	7	11
Överflyttning sjö	380	333	16	47
Totalt	86 836	61 602	10 669	25 234
Investering	29 069	18 386	4 776	10 683
Nettonuvärdeskvot	1,99	2,35	1,23	1,36

*Övriga externa effekter inkluderar buller, olyckor och slitage på infrastruktur.

Tabell 19 visar kalkylutfallet under förutsättning att vi antar den trendmässiga, lägre trafik tillväxten i prognosen (se tabell 1). Lönsamheten minskar bara något.

Tabell 19. Samhällsekonomiskt kalkylresultat med ett CO₂-värde på 1,14 kr/kg. Mkr 2018 års priser. Trafiktillväxt trend istället för Trafikverkets prognos (se Tabell 20).

	Stort	Mellan	Litet	Bygga ut Stort om Mellan finns
CO ₂	14 488	10 138	1 708	4 349
Övr. emissioner	138	97	16	42
Övr. externa effekter*	-2 347	-2 147	-419	-200
Bränsleskatt	-12 933	-8 708	-1 395	-4 225
Brukarintäkt	13 738	9 985	1 720	3 753
Driftkostnad	-12 488	-9 078	-1 560	-3 410
Åkerierna	44 860	32 567	5 759	12 293
Överflyttning järnväg	56	45	7	11
Överflyttning sjö	28	24	1	3
Totalt	45 512	32 899	5 837	12 613
Investering	29 069	18 386	4 776	10 683
Nettonuvärdeskvot	0,57	0,79	0,22	0,18

*Övriga externa effekter inkluderar buller, olyckor och slitage på infrastruktur.

7.2. Känslighetsanalyser

Tabellerna 20 till 22 redovisar kalkylutfallet i de fem känslighetsanalyserna för tre olika koldioxidvärderingar. Notera att när koldioxidvärderingen ökar så ökar också den icke-internaliserade externa effekten från sjöfarten. Följande slutsatser kan dras:

- Minskningen av koldioxidutsläpp och lönsamheten är ganska lika för känslighetsanalys 1-3. Även vid en kraftig ökning av det framtida elpriset är det mellanstora och stora nätet lönsamt (dock är det lilla nätet då svagt olönsamt). Lönsamheten och effekten av en utbyggnad av elvägar förefaller alltså relativt robust även vid rätt stora variationer i diesel- och elpris.

- I alla analyser är lönsamheten högst för det mellanstora elvägsnätet.
- Känslighetsanalys 3 som antar att det finns luckor i elvägsnätet, intermittent eldrift, men i gengäld utgår från att hybridlastbilarna måste vara utrustade med ett batteri med räckvidd på 100 km, ger genomgående högre samhällsekonomisk lönsamhet än alternativet med elöverföring längs hela sträckan. I detta fall uppstår dessutom en extra samhällsekonomisk nytta som inte finns med i analysen, eftersom samgodsmodellen inte kan beräkna den, och som består i att de större batterierna också kan användas till eldrift på vägar som inte är elektrifierade.
- Känslighetsanalys 4 visar att det med våra antaganden nästan, men inte fullt ut, går att finansiera elvägen med brukaravgifter för en privat eller en offentlig elvägsoperatör. För det mellanstora nätet täcker intäkterna från brukarna nästan investerings- och underhållskostnaden. Notera att den samhällsekonomiska investeringskostnaden är lägre med brukaravgiftsfinansiering än med skattefinansiering, eftersom skatteupptag orsakar dödviktsförluster (vilket speglas av MCPF, se tabell 6).
- Känslighetsanalys 5 antar intermittent eldrift med luckor i elvägsnätet, i likhet med känslighetsanalys 3, men antar också vägen finansieras av brukaravgifter. Som nämnts kräver ett intermittent nät att hybridlastbilarna måste vara utrustade med ett batteri med en räckvidd på 100 km. I detta scenario skulle intäkterna från brukarna gott och väl, med våra antaganden, täcka investerings- och underhållskostnaden för det stora och det mellanstora nätet (brukarintäkter skulle motsvara 130 respektive 140 procent av investerings- och driftskostnaderna).
- I känslighetsanalys 4, där en brukarfinansiering antas, blir den samhällsekonomiska lönsamheten ungefär lika stor som i huvudanalysen. Å ena sidan minskar värdet av minskade koldioxidutsläpp med 20-25 procent, eftersom det blir mindre attraktivt för åkerierna att använda elvägen. Å andra sidan minskar investeringskostnaden eftersom elvägen inte behöver skattefinansieras. De två effekterna gör att den samhällsekonomiska lönsamheten inte ändras särskilt mycket. I det stora nätet ökar till och med lönsamheten, eftersom investeringskostnaden (och därmed minskningen av denna) är störst i detta nät.
- I känslighetsanalys 5, där en brukarfinansiering antas, blir den samhällsekonomiska lönsamheten ungefär lika stor som i känslighetsanalys 3. Lönsamheten blir något lägre än i känslighetsanalys 3, eftersom vinsten av en lägre investeringskostnad genom brukarfinansiering inte helt uppväger värdet av den lägre utsläppsminskningen.
- Känslighetsanalys 4 och 5 visar att elvägsoperatörens vinst, som väntat, ökar på bekostnad av att åkeriernas vinst i det fall som elvägen brukarfinansieras.
- Vilken risk en privat investerare skulle vara bredd att ta och vilken avkastning denne skulle kräva avgör om en sådan investering skulle komma till stånd. De relativt omfattande skal- och nätverkseffekterna (dvs att elvägsnätet behöver vara omfattande för att nyttorna ska realiseras) gör investeringen mer riskabel för en privat elvägsoperatör. Detta demonstreras av att det minsta nätet inte i något fall går att brukarfinansiera helt och hållet. En privat investerare skulle dessutom på sikt behöva regleras. Så länge dieslbilar finns kvar som konkurrent till elvägsdrift begränsar de hur mycket en privat elvägsoperatör, en monopolist, kan höja brukaravgiften. Men om dieseldriften helt fasas ut behöver marknaden regleras för att inte brukaravgiften ska bli orimligt hög.

- Alla scenarier med en värdering av koldioxid som överstiger dagens 1,14 kr/kg är robust lönsamma.

Tabell 21. Samhällsekonomiskt kalkylresultat med ett CO₂-värde på 1,14 kr/kg. Nuvärde, Miljarder kr i 2018 års priser Huvudanalys och känslighetsanalyser

	Huvudscenario			Känslighetsanalys 1			Känslighetsanalys 2			Känslighetsanalys 3			Känslighetsanalys 4			Känslighetsanalys 5		
	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet
CO ₂	15 322	10 718	15 322	14 292	9 963	1 667	16 302	11 475	2 050	14 741	10 253	1 646	12 155	8 353	1 360	11 062	7 484	1 005
Övr emissioner	147	103	147	136	95	16	157	110	20	141	98	15	115	79	13	104	71	9
Övr. externa effekter*	-2 411	-2 226	-2 411	-1 940	-1 779	-298	-3 355	-2 951	-430	-2 269	-2 134	-310	-1 217	-1 033	-116	-1 146	-925	-119
Bränsleskatt	-13 660	-9 190	-13 660	-12 832	-8 653	-1 420	-14 272	-9 615	-1 715	-13 129	-8 761	-1 392	-11 044	-7 444	-1 229	-10 010	-6 651	-884
Brukarintäkt	14 488	10 532	14 488	13 397	9 675	1 598	15 698	11 522	2 023	13 943	10 117	1 596	30 005	21 069	3 356	27 418	18 938	2 577
Driftkostnad	-13 174	-9 579	-13 174	-12 179	-8 799	-1 448	-14 277	-10 481	-1 836	-6 338	-4 601	-723	-10 168	-7 184	-1 112	-9 245	-6 433	-861
Åkerierna	47 251	34 309	47 251	35 910	25 837	4 440	62 891	46 097	8 255	44 991	32 540	5 340	18 126	12 676	2 057	16 616	11 422	1 571
Överflytt Jvg	56	45	56	45	31	4	76	58	11	38	29	2	11	7	2	11	7	2
Överflytt Sjö	28	24	28	24	20	3	36	31	2	27	24	3	16	15	2	16	15	2
Totalt	48 045	34 736	48 045	36 852	26 390	4 563	63 255	46 247	8 381	52 143	37 564	6 177	37 999	26 539	4 332	34 825	23 928	3 301
Investering	29 069	18 386	29 069	29 069	18 386	4 776	29 069	18 386	4 776	14 534	9 193	2 388	22 361	14 143	3 674	11 180	7 072	1 837
NNK	0.65	0.89	0.65	0.27	0.44	-0.04	1.18	1.52	0.75	2.59	3.09	1.59	0.70	0.88	0.18	2.11	2.38	0.80

Tabell 22. Samhällsekonomiskt kalkylresultat med ett CO₂-värde på 7 kr/kg. Nuvärde, Miljarder kr i 2018 års priser Huvudanalys och känslighetsanalyser

	Huvudscenario			Känslighetsanalys 1			Känslighetsanalys 2			Känslighetsanalys 3			Känslighetsanalys 4			Känslighetsanalys 5		
	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet
CO ₂	94 081	65 815	11 088	87 755	61 174	10 237	100 098	70 463	12 586	90 517	62 955	10 109	74 635	51 292	8 350	67 924	45 952	6 169
Övr emissioner	147	103	17	136	95	16	157	110	20	141	98	15	115	79	13	104	71	9
Övr. externa effekter	-2 411	-2 226	-426	-1 940	-1 779	-298	-3 355	-2 951	-430	-2 269	-2 134	-310	-1 217	-1 033	-116	-1 146	-925	-119
Bränsleskatt	-13 660	-9 190	-1 477	-12 832	-8 653	-1 420	-14 272	-9 615	-1 715	-13 129	-8 761	-1 392	-11 044	-7 444	-1 229	-10 010	-6 651	-884
Brukarintäkt	14 488	10 532	1 807	13 397	9 675	1 598	15 698	11 522	2 023	13 943	10 117	1 596	30 005	21 069	3 356	27 418	18 938	2 577
Driftkostnad	-13 174	-9 579	-1 639	-12 179	-8 799	-1 448	-14 277	-10 481	-1 836	-6 338	-4 601	-723	-10 168	-7 184	-1 112	-9 245	-6 433	-861
Åkerierna	47 251	34 309	6 045	35 910	25 837	4 440	62 891	46 097	8 255	44 991	32 540	5 340	18 126	12 676	2 057	16 616	11 422	1 571
Överflytt Jvg	56	45	7	45	31	4	76	58	11	38	29	2	11	7	2	11	7	2
Överflytt Sjö	747	655	31	645	553	82	983	839	61	716	655	72	440	409	41	440	409	41
Totalt	127 524	90 463	15 452	110 936	78 134	13 212	147 998	106 043	18 976	128 609	90 897	14 709	100 903	69 872	11 361	92 111	62 791	8 505
Investering	29 069	18 386	4 776	29 069	18 386	4 776	29 069	18 386	4 776	14 534	9 193	2 388	22 361	14 143	3 674	11 180	7 072	1 837
NNK	3.39	3.92	2.23	2.82	3.25	1.77	4.09	4.77	2.97	7.85	8.89	5.16	3.51	3.94	2.09	7.24	7.88	3.63

Tabell 23. Samhällsekonomiskt kalkylresultat med ett CO₂-värde på 4 kr/kg. Nuvärde, Miljarder kr i 2018 års priser Huvudanalys och känslighetsanalyser

	Huvudscenario			Känslighetsanalys 1			Känslighetsanalys 2			Känslighetsanalys 3			Känslighetsanalys 4			Känslighetsanalys 5		
	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet	Stort	Mellan	Litet
CO ₂	53 760	37 608	6 336	50 146	34 956	5 850	57 199	40 265	7 192	51 724	35 974	5 777	42 648	29 310	4 772	38 814	26 259	3 525
Övr emissioner	147	103	17	136	95	16	157	110	20	141	98	15	115	79	13	104	71	9
Övr. externa effekter*	-2 411	-2 226	-426	-1 940	-1 779	-298	-3 355	-2 951	-430	-2 269	-2 134	-310	-1 217	-1 033	-116	-1 146	-925	-119
Bränsleskatt	-13 660	-9 190	-1 477	-12 832	-8 653	-1 420	-14 272	-9 615	-1 715	-13 129	-8 761	-1 392	-11 044	-7 444	-1 229	-10 010	-6 651	-884
Brukarintäkt	14 488	10 532	1 807	13 397	9 675	1 598	15 698	11 522	2 023	13 943	10 117	1 596	30 005	21 069	3 356	27 418	18 938	2 577
Driftkostnad	-13 174	-9 579	-1 639	-12 179	-8 799	-1 448	-14 277	-10 481	-1 836	-6 338	-4 601	-723	-10 168	-7 184	-1 112	-9 245	-6 433	-861
Åkerierna	47 251	34 309	6 045	35 910	25 837	4 440	62 891	46 097	8 255	44 991	32 540	5 340	18 126	12 676	2 057	16 616	11 422	1 571
Överflytt Jvg	56	45	7	45	31	4	76	58	11	38	29	2	11	7	2	11	7	2
Överflytt Sjö	380	333	16	328	281	42	499	426	31	364	333	36	224	208	21	224	208	21
Totalt	86 836	61 602	10 669	72 682	51 364	8 743	104 116	75 005	13 521	89 099	63 261	10 305	68 476	47 481	7 742	62 561	42 687	5 820
Investering	29 069	18 386	4 776	29 069	18 386	4 776	29 069	18 386	4 776	14 534	9 193	2 388	22 361	14 143	3 674	11 180	7 072	1 837
NNK	1.99	2.35	1.23	1.50	1.79	0.83	2.58	3.08	1.83	5.13	5.88	3.31	2.06	2.36	1.11	4.60	5.04	2.17

*Övr externa effekter inkluderar buller, olyckor och slitage på infrastruktur.

8. Avslutande diskussion

Som framgått av våra beräkningar är elvägarna samhällsekonomiskt lönsamma med dagens värdering av koldioxid 1,14 kronor per kilo. Känslighetsanalyser visar att varierande antaganden om kostnader och nyttor påverkar utfallet i relativt ringa grad.

Lönsamheten ökar ju högre nyttan av att reducera utsläpp av koldioxid värderas. Den robust mest lönsamma lösningen i alla scenarier är nätet Malmö-Stockholm med luckor i vägens elinfrastruktur. Den är robust lönsam för stora variationer i framtida diesel- och elpris. Rangordningen av olika alternativa sträckningar för elvägen är robust för stora variationer i värderingen av koldioxid. Om värderingen sätts till fyra kronor per kilo, vilket motsvarar Energimyndighetens val av nivå för den sanktionsavgift som drivmedelsleverantörer måste betala om de inte klarar reduktionsplikten för diesel, så är investeringen i det mellanstora elvägsnätet klart lönsamt (NNK 2,35). Att bygga ut till det största nätet därefter är också lönsamt (NNK 1,33). Även det minsta nätet är klart lönsamt (NNK 1,23).

En samhällsekonomisk kalkyl för elvägen är inte det enda relevanta underlaget inför beslut om investeringar i elvägar. Lika viktigt är att bedöma om samma koldioxidreduktion kan uppnås till lägre kostnad genom andra åtgärder. De potentiella alternativen omfattar sådant som överflyttning av godstrafik till andra trafikslag, kraftigt ökad användning av biodrivmedel och batteridrift istället för kontinuerlig eltillförsel samt nya drivmedel som vätgas och elektrobränslen. Vid bedömning av effekten av sådana potentiellt konkurrerande åtgärderna är faktorer som potential, ledtid för införande och kostnader viktiga att beakta. Beträffande biodrivmedel utgör knapphet och höga kostnader (se avsnitt 1) hinder.

8.1. Överflyttning till järnväg

Ett skifte av långväga godstrafik från väg till järnväg framhålls ofta som ett sätt att minska koldioxidutsläppen från tung trafik. Stora resurser satsas också på järnvägen men marknadsandelarna har länge varit stabila. Fördelningen av antalet tonkm mellan de två landbaserade trafikslagen har under de senaste 20 åren med smärre variationer legat kring 70/30.

Att järnvägen inte attraherar mer trafik kan ha flera orsaker. Bland faktorer av betydelse nämns ofta en över tid ökande andel transporter av produkter med höga varuvärden, betydelsen av ”just-in-time” (d.v.s. behov av täta leveranser), tidsåtgången för kombitransporter (omvägar och omlastning) och bristande kapacitet i delar av järnvägsnätet.

Den godsvolym som transporteras inrikes med lastbil över sträckor längre än 30 mil, ett avstånd som ofta framhålls som gräns för naturlig konkurrens med sjöfart och järnväg, uppgår bara till 8 procent av den totalt transporterade godsvolymen (28 miljoner ton), men räknat i tonkilometer är andelen förstås större. Det långväga godset fraktas till övervägande del mellan storstadslänen och överflyttning till järnväg längs dessa stråk begränsas bland annat av kapacitetsbrist på delar av stambanorna (Näringsdepartementet, 2018).

För att åtgärderna ska leda till en överflyttning av gods från väg till järnväg krävs dock att planerade kapacitetsförstärkningar ökar godskundernas och speditorsföretagens intresse för tåg. Eftersom framkomlighet på banorna bara är en av flera parametrar som påverkar valet av trafikslag är det inte säkert att investeringarna får någon större effekt på godstransportarbetets fördelning på trafikslag. I varje fall förefaller det mindre sannolikt att effekten på transporter av långväga gods skulle bli så stor att den förmår mer än motverka en del av den av Trafikverket förväntade ökningen av transporter med fjärrbilar.

Beträffande trafikarbetets framtida fördelning på trafikslag kan man också behöva beakta att automatiserade fordon kan bli verklighet på den mötesfria delen av vägnätet och s.k. platooning är

redan möjlig. Eftersom förarnas löner utgör ca 40 procent av åkeriernas totala kostnader kommer en sådan utveckling att påtagligt stärka fjärrlastbilarnas konkurrenskraft. Ökad tillåten fordonsvikt och totallängd kan förväntas verka i samma riktning.

En rimlig slutsats är att även om omfattande investeringar i järnvägsnätet skulle komma att leda till att godstågen tar marknadsandelar från vägtrafiken så handlar det inom de närmaste 10 till 15 åren om förhållandevis små förändringar som inte medför någon påtaglig minskning av de långväga transportererna med stora lastbilar jämfört med prognosen.

8.2. Batterier och vätgas som alternativ till elvägar

Teknisk utveckling och begynnande massproduktion har sänkt kostnaderna för tillverkning av batterier och lett till att energidensiteten ökat påtagligt. Trenden väntas fortsätta och nya batterikemier kan på sikt leda till att densiteten fördubblas jämfört med dagens litiumjonbatterier. Mest lovande i detta avseende förefaller batterier med fast elektrolyt vara.

Den gynnsamma utvecklingen har redan lett till en situation som redan gör det möjligt att driva stadsbussar och en del distributionsfordon med batterier som enbart laddas i depå eller vid godsterminal. Detta leder till frågan om den fortsatta utvecklingen kan bli sådan att även stora tunga lastbilar med släp inom 10 till 20 år kan köras enbart på batteriel. Några tillverkare har redan presenterat sådana koncept.

Vid bedömning av frågan om den fortsatta batteriutvecklingen riskerar att göra tekniken för kontinuerlig överföring av el obsolet innan investeringarna i väginfrastrukturen hunnit avskrivas måste ett antal faktorer av betydelse för utfallet beaktas. Fjärrtrafiken skiljer sig från den lokala distributionstrafiken i flera avseenden. Fjärrbilarna är inte bara större utan har också högre genomsnittlig fyllnadsgrad och ofta högre densitet hos lasten. Distributionsfordonen kör däremot ofta i slingor där lastvikten successivt minskar och tomgångsdelen kan vara betydande. Distribution av matvaror och textilier har dessutom förhållandevis låg vikt och fordonens kapacitetsutnyttjande begränsas mer av varornas volym än av deras vikt. En särskilt viktig skillnad är att lastbilar i fjärrtrafik vanligen har dagliga körsträckor som är 3 till 4 gånger längre än de lokala bussarnas och distributionsfordonens. Det medför att fjärrbilen måste förses med större batterier än distributionsbilen och att batterierna tar utrymme från nyttolasten som dessutom vid frakt av tungt gods begränsas av maximalt tillåten totalvikt och axeltryck. Alternativt måste bilarna stanna flera gånger per dag för snabbbladdning eller byte av batterierna, något som kanske bara delvis kan förenas med nödvändiga stopp för vila och/eller måltider.

Vätgas som används i bränsleceller för generering av el är ett annat potentiellt alternativ till elvägar. Energiverkningsgraden i kedjan el (från nätet) – elektrolys – kompression – transport av vätgasen – bränslecell – elmotor – hjul är dock bara en dryg tredjedel av motsvarande kedja för batteridrift (el – laddning – batteri – elmotor – hjul). För att vätgas framgångsrikt ska kunna konkurrera med batteridrift av elbilar eller direktöverförd el behöver verkningsgraden i hela kedjan förbättras samtidigt som kapitalkostnaderna reduceras i minst samma takt som kostnaderna för batterier. Till 2030 framstår inte vätgas som ett realistiskt alternativ i större skala men kan möjligen få viss betydelse som räckviddörlängare i kombination med batterier. Med en sådan lösning behöver fordonet inte ha mer än en drivlina eftersom räckviddsörlängaren producerar el. På lång sikt kan vätgas få större betydelse förutsatt att energiförlusterna i produktionskedjan minskas och kostnaderna faller.

8.3. Konduktiv laddning från skena i vägbanan

Möjlighet till kontinuerlig laddning av personbilar och lätta lastbilar skulle potentiellt kunna bidra till lönsamheten hos investeringar i konduktiv laddning från skena i vägbanan som alternativ till laddning uppifrån (som inte kan användas av små fordon). Det är den teknik som provats i Sverige på en sträcka vid Arlanda. En avgörande fråga är emellertid vilken nationell och internationell omfattning som

utbyggnad av sådana elvägar måste få för att i privatbilisternas ögon utgöra ett rimligt alternativ till stora batterier och/eller stopp för snabbaddning under långa resor.

Fördelen med att kunna ladda från vägen är för en helelektrisk personbil att ägaren inte behöver investera i stora batterier (50–80 kWh) utan kan nöja sig med ett batteripaket som svarar mot vardagsbehovet (kanske 20 kWh). Men det finns också nackdelar. Bilens ägare måste investera i en strömavtagare och en transformator som ger ström med rätt spänning. För att klara de tunga fordonens behov kommer elvägarna att leverera 700–800 volt, vilket är en högre spänning än vad de eldrivna personbilarnas utrustning klarar.

De lätta fordonens ägare måste i sina kalkyler också beakta att det kommer att kosta väsentligt mer per kWh att ladda från vägen jämfört med att hemmaladda ett större batteri och att el från vägbanan även kan komma att bli dyrare än att snabbadda batterierna på kommersiella laddplatser. Fordonsägarna behöver därtill ta ställning till om de är beredda att ta konsekvenserna av ett strömavbrott som antingen kan uppkomma till följd av fel i elnätet eller på grund av att en sliten strömavtagare slutar fungera. Ett sätt att försäkra sig mot risken för att bli stående kan förstås vara att välja en batteristorlek som gör att man har goda möjligheter att ta sig till en plats där man kan ladda. Men då blir fördelen av lägre batterikostnad inte lika stor.

För att uppväga kostnaderna för den extra utrustningen och det högre elpriset behöver bilen användas relativt ofta på vägar som tillhandahåller kontinuerlig matning av el. Svaret på frågan om hur små batterier personbilsägarna kommer att välja vid köp av ny elbil beror på i vilken omfattning som de kan räkna med att inom rimlig tid ha riklig tillgång till elvägar. Hur stor del av det totala vägnätet måste elektrifieras innan de flesta nöjer sig med 20 kWh? Förespråkarna för laddning av lätta fordon från vägbanan talar om elektrifiering av 5 procent av det statliga vägnätet, vilket innebär ca 500 mil eller en ca fem gånger längre sträcka än den vi räknat på i vårt mest omfattande utbyggnadsalternativ.

Om batteripriserna fortsätter att falla samtidigt som energitätheten fördubblas kan det bli omöjligt för normalbilisten att räkna hem investeringen i strömavtagare och transformator. Då kan ett batteri på 70–80 kWh framstå som ett bättre val, särskilt om man också beaktar skillnaden i elkostnad och möjligheten att normalladda det stora batteriet vid den tid på dygnet då priset är lägst.

En ytterligare fråga som måste vägas in i analysen av valet av överföringsteknik är om det finns ett internationellt intresse för en fordonsstandard som innebär att personbilar utrustas så att de kan ta emot och transformera 700 volt från en skena i vägbanan. Hittills verkar intresset utomlands för en sådan lösning vara litet. Om en global standard växer fram förefaller det mera troligt att det kommer att handla om fordonsutrustning för induktiv laddning.

Slutsatsen blir att det kan vara riskabelt att räkna in lätta fordon och distributionslastbilar i trafikunderlaget vid ett försök att beräkna den långsiktiga avkastningen på investeringar i elvägar. Det innebär att konduktiv laddning från vägbanan sannolikt inte medför någon påtaglig fördel vid jämförelse med överföring från en luftburen kontaktledning.

8.4. En modell med lägre andel elektrifierad vägsträcka

Ett alternativ till att förse hela de berörda motorvägssträckorna med el skulle kunna vara att bara t.ex. elektrifiera ungefär hälften. Kühnel m.fl. (2018) diskuterar en sådan lösning för Tyskland och betecknar modellen som "a gap concept", där bara vissa sektioner elektrifieras. Fördelen är förstås att infrastrukturen blir billigare och mindre materialkrävande.

En modell med intermitterant tillförsel av el bygger på antaganden om att energitätheten hos fordonens batterier inom ca 10 år kan ha ökat påtagligt till följd av teknisk utveckling och satsning på nya batterikemier. Troligen har batterierna dessutom blivit tåligare så att de både klarar fler snabbaddningar och djupare urladdning. I ett sådant läge skulle man kunna tänka sig ett system där fordonen medan de körs på el från vägen samtidigt laddar ett halvstort batteri vars el sedan används på

nästa strömlösa delsträcka. Det något större batteriet skapar dessutom möjlighet att köra dieselfritt på andra delar av vägnätet, t.ex. när man är på väg in i en stad vars väg- och gatunät inte är elektrifierat. Ett batteri på 200 kWh bör med rimlig marginal kunna ge en stor tung lastbil en körsträcka på ca 100 km och det väger kanske om tio år inte mer än ca ett ton.

För att klara fordonens behov av att köra på el och samtidigt ladda batteriet krävs högre effekt än om vägen bara ska leverera el till fordonens framdrift. Att dimensionera systemet så att det klarar den dubbla uppgiften måste dock antas kosta väsentligt mindre än att bygga ut för eldrift längs hela sträckan. Dessutom medger modellen med ”halv” elektrifiering en möjlighet att undvika elinfrastruktur längs sträckor där intrånget och/eller kostnaden bedöms vara hög. För fordonsägarna innebär modellen att de behöver investera i ett större batteri än om elvägarna medger överföring på alla delsträckor.

Att begränsa investeringen till ungefär halva den totalt berörda körsträckan kan också visa sig vara klokt om åkerinäringen i framtiden väljer helelektrisk drift med bränsleceller som räckviddsförlängare. Till följd av en mycket sämre energiverkningsgrad jämfört med direkt eltillförsel eller användning av batterier kan åkerierna dock vilja begränsa användningen av vätgas/bränsleceller till sträckor som är för långa för batteridrift eller saknar el från vägen. Fördelen med helelektrisk drift är förstas att man slipper kostnaden för dubbla drivlinor, dock tillkommer kostnaden för bränslecellerna och vätgastanken.

Att inte elektrifiera hela sträckan Stockholm-Malmö eller Malmö-Göteborg utan istället lämna lagom stora luckor där lastbilarna kör på el från sina batterier minskar statens andel av de totala investeringarna (infrastruktur + fordon) och reducerar den finansiella risken. Rimligen kan anläggningarna under sådana förhållanden färdigställas något snabbare än i ett fall där hela sträckan mellan storstäderna elektrifieras. Genom att undvika elektrifiering av miljömässigt särskilt känsliga delsträckor minskar dessutom risken för överklaganden som kan försena genomförandet.

8.4.1. Vilka motorvägar bör elektrifieras?

Våra beräkningar visar att den mest samhällsekonomiskt lönsamma sträckan att elektrifiera är E4 mellan Malmö och Stockholm. Vi har inte studerat hur en förlängning norr om Stockholm skulle påverka utfallet men det vore intressant att se analyser av sådana sträckningar, till exempel för E4 till den stora godsterminalen i Rosersberg eller till Uppsala.

Det är samhällsekonomiskt lönsamt att elektrifiera E6 mellan Skåne och Göteborg enligt våra modellberäkningar, men lönsamheten är något lägre än för sträckan Stockholm-Malmö. Det finns skäl att överlägga med Norge, Danmark och Tyskland inför beslut om elvägar. Sveriges regering ingick i januari 2017 ett innovationspartnerskap med Tyskland, där samarbete kring elvägar utgör ett fokusområde.

Der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI), Tysklands motsvarighet till Svenskt Näringsliv, offentliggjorde i början av 2019 en konsultrapport som analyserar möjligheterna att nå det tyska koldioxidtransportmålet minus 40 procent till år 2030. I rapporten förslås bland annat att 2 500 km Autobahn ska utrustas med kontaktledning till 2030 (Boston Consulting Group och Prognos, 2019).

I Norge har en förstudie avseende elektrifiering av kustvägen E39 tagits fram (Langhelle, 2017). Norge kan även ha intresse av att medverka till en elektrifiering av E6 som utgör landets i särklass viktigaste vägförbindelse med omvärlden.

8.5. Affärsmodeller och ansvarsförhållanden

Om avsikten är att anlägga elvägar så att de hinner bidra till en elektrifiering av den långväga lastbilstrafiken före 2030, måste utbyggnaden ske inom de allra närmaste åren. Det kan vara rimligt att förmoda att projektering, rättslig prövning och upphandling tar två till tre år och att

anläggningsarbetena i alternativet med ett större projekt tar ungefär lika lång tid. Från det att infrastrukturen tagits i drift kan det ta minst sju till åtta år innan åkerinäringen genom successivt utbyte av fordonsparken hunnit gå över till eldrift i den utsträckning som är företagsekonomiskt lönsamt. Det innebär att ungefär halva climateffekten skulle kunna utnyttjas år 2030 under förutsättning att utbyggnaden är klar senast år 2026. Det förutsätter i så fall att politiska beslut om projekten tas under 2020. Ju senare infrastrukturen färdigställs, desto mindre blir bidraget till uppfyllande av riksdagens sektorsmål för 2030. Om regeringen vill vänta till dess erfarenheterna av ”piloterna” är utvärderade, och en eventuell samordning med andra länder kommit längre, så kommer troligen de långa elvägarna inte hinna tas i drift förrän omkring år 2030.

Trafikverket studerar olika typer av affärsmodeller under antaganden om att privata företag kan vara intresserade av att investera i samt sköta drift och underhåll av den tillkommande infrastrukturen. Vi bedömer att det skulle gå fortare samt vara juridiskt betydligt enklare, och dessutom troligen billigare, om Trafikverket själv tar ansvar inte bara för vägen i dess nuvarande skick utan också för den infrastruktur som behövs för överföring av el till fordonen. Det innebär att staten tar ansvar på samma sätt som för elektrifiering av banor (senast elektrifieringen av Blekinge Kustbana år 2007). Att istället införa ett system där ansvaret för drift och underhåll av vägen och dess tillbehör är delat mellan Trafikverket och privata aktörer kan bli både komplicerat och potentiellt fördyrande.

Oavsett huvudman så kan elvägen åtminstone delvis brukarfinansieras om så önskas. För att få åkerierna att snabbt inse fördelarna med att använda elhybrider för godstransporter som till betydande del sker på elvägarna skulle det kunna vara en fördel premiera tidiga användare, men det bör i så fall ske på sätt som inte riskerar att hamna i konflikt med EU:s statsstödsregler. En möjlighet skulle kunna vara att överväga någon form av statligt bidrag till de första 100 eller 200 svenskregistrerade tunga elhybridlastbilarna genom att hos EU-kommissionen begära ett så kallat gruppundantag från statsstödsreglerna.

Referenser

- Biogasmarknadsutredningen, 2019. Mer biogas! SOU 2019:63.
- Boston Consulting Group och Prognos (2019), Analyse der Klimaphade Verkehr 2030. Rapport på uppdrag av der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI). <https://bdi.eu/publikation/news/analyse-der-klimaphade-verkehr-2030/>
- Börjesson P. (2016), Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi. Lunds universitet, Avdelningen för miljö- och Energisystem. Rapport nr. 97.
- Closer, 2013. Färdplan High Capacity Transports -Väg.
- Energimyndigheten (2016). Förslag till styrmedel för ökad andel biodrivmedel i bensin och diesel. En rapport inom uppdraget Samordning för energiomställning inom transportsektorn. ER 2016:30.
- Energimyndigheten, 2018. Slide In-teknik för kontinuerlig överföring av energi till elektriska fordon, Fas2.
- Energimyndigheten, 2019. Scenarier över Sveriges energisystem 2018 (No. 2019:7).
- European Commission, 2019. On the status of production expansion of relevant food and feed crops worldwide (No. COM(2019) 142 final). Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Bryssel.
- FFF-utredningen (2013), Fossilfrihet på väg. SOU 2013:84.
- Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Oeko-Institut, och Institute for Energy and Environmental Research (2018), Alternative drive trains and fuels in road freight transport – recommendations for action in Germany. Karlsruhe, Berlin och Heidelberg.
- Fröidh, O. (2013), Godstrafik på järnväg – åtgärder för ökad kapacitet på lång sikt, Underlagsrapport 14 till statens offentliga utredning om fossilfri fordonstrafik. KTH Arkitektur och samhällsbyggnad. Avd. för Trafik och Logistik.
- Hultén, S. (2014), Om värdet av långa tåg. WSP på uppdrag av Trafikverket.
- Johansson, M., Johansson, O., 2018. Internalisering av godstrafikens externa effekter – konsekvensanalyser med Samgodsmodellen: en delrapport inom SAMKOST 3. Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Kågeson, P., 2019. 2019:5 Klimatmål på villovägar? En ESO-rapport om politiken för utsläppsminskningar i vägtrafiken. Expertgruppen för Studier i Offentlig ekonomi (ESO), Finansdepartementet.
- Kühnel, H., Florian, S., Wolf, G., 2018. Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr. Öko-Institut e.V, Freiburg.
- Kühnel, S., Hacker, F. och Görz, W. (2018), Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr. Oeko-Institut, Freiburg.
- Langhelle, O. (2017) ELinGO – Elektrisk infrastruktur for godstransport. Universitetet i Stavanger, Institutt for medie- og samfunnsfag med stöd från bl.a. Statens vegvesen, SINTEF Byggforsk och Norges Forskningsråd.
- Näringsdepartementet (2018), Effektiva, kapacitetsstarka och hållbara godstransporter – en nationell godstransportstrategi.
- Nilsson, J.-E., Haraldsson, M., 2018. Redovisning av regeringsuppdrag kring trafikens samhällsekonomiska kostnader: SAMKOST 3.

- Odolinski, K., 2018. Marginalkostnader för järnvägsunderhåll: trafikens påverkan på olika anläggningar.
- PIARC, 2018. Electric road systems: a solution for the future?
- Regeringen, 1988. Om trafikpolitiken inför 1990-talet.
- Skogsstyrelsen m.fl. (2017), Bioenergi på rätt sätt. Rapport 2017/10. I samarbete med Energimyndigheten, Naturvårdsverket och Jordbruksverket.
- Sundelin, H. A.-C. Mellquist, A.C., Linder, M. Gustavsson, M., C. Börjesson, C. och S. Pettersson (2017), Förstudie av affärsekosystem för elvägar. RISE Viktoria.
- Sundelin, H., Linder, M., Mellquist, A.-C., Gustavsson, M., Börjesson, C., Pettersson, S., 2018. Business case for electric road. Presented at the 7th Transport Research Arena TRA 2018, April 16-19, 2018, Vienna, Austria.
- Sverigeförhandlingen, 2017. Slutrapport från Sverigeförhandlingen, Infrastruktur och bostäder – ett gemensamt samhällsbygge. SOU 2017:107.
- Sørensen, P.B., 2010. Swedish tax policy: Recent trends and future challenges. Finansdepartementet, Regeringskansliet.
- Trafikverket (2017). Nationell färdplan för elvägar. 2017-11-29.
- Trafikverket, 2018a. Disaggregering av prognos för godstransporter 2040 till Bansek, EVA, Sampers/Samkalk och TEN tec – Trafikverkets Planprognos 2018- (No. 2018:088).
- Trafikverket, 2018b. Prognos för godstransporter 2040 – Trafikverkets Basprognoser 2018, rapport 2018:087 (No. 2018:087).
- Trafikverket, 2018c. Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1.
- Vattenfall Eldistribution AB, 2019. Regionnätstariffer 2019.

Appendix

Elvägsoperatören kommer att sätta priset så att vinsten

$\pi = (d - e)V_e(d)$ maximeras, dvs

$$\frac{d\pi}{dd} = V_e(d) + (d - e)\frac{dV_e}{dd} = 0,$$

där är V_e antal efterfrågade elvägskilometer och d kilometerpriset att köra på elvägen, e är den marginella produktionskostnaden för varje lastbilskilometer. Notera att e inkluderar kostnaden för el (spotpris, energiskatt och nätavgifter) samt marginalkostnaden för slitaget på elvägsanläggning så att d avspeglar hela drivmedelskostnaden per kilometer för ellastbilen när den kör på elvägen.

Priset d som elvägsoperatören kommer att sätta beror alltså på $\frac{dV_e}{dd}$, V_e och e . Elasticiteten $\frac{V_e}{d-e} \frac{dd}{dV_e} =$ kommer att vara -1 vilket är ett generellt resultat för en monopolist. För att härleda hur efterfrågan V_e beror av priset d antar vi att åkeriernas efterfrågan på V_e styrs av en avvägning mellan den extra kapitalkostnaden (K) för hybridbilarna, som kan drivas på elvägen, och den lägre drivmedelskostnaden för drift på elvägen. De kommer att minimera sin kostnad

$$\tau = Kn - (\theta - d)V_e,$$

där θ drivmedelskostnad på diesel och n är antalet hybridlastbilar. Anta vidare att antalet körda elvägskilometer styrs av funktionen $V_e(S, N) = A S^\alpha n^\beta$, där S är det totala elvägnätets längd och A en konstant. $\alpha > 1$ och $\beta < 1$. Det optimala antalet hybridlastbilar n för åkerierna bestäms genom kostnadsminimering

$$\frac{d\tau}{dn} = K - (\theta - d)A S^\alpha \beta n^{\beta-1} = 0,$$

vilket ger det optimala antalet lastbilar

$$n^{1-\beta} = \frac{(\theta - d)A\beta S^\alpha}{K}.$$

Detta ger antalet elvägskilometer

$$V_e = A S^\alpha \left((\theta - d) \frac{\beta A S^\alpha}{K} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \text{ och } \frac{dV_e}{dd} = -A S^\alpha \left(\frac{\beta A S^\alpha}{K} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \frac{\beta}{1-\beta} (\theta - d)^{\frac{2\beta-1}{1-\beta}}$$

Sätt sedan in uttrycket för V_e i ekvationen $V_e(d) = -(d - e)\frac{dV_e}{dd}$ för att bestämma det optimala priset d ,

$$A S^\alpha \left((\theta - d) \frac{\beta A S^\alpha}{K} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} = (d - e)A S^\alpha \left(\frac{\beta A S^\alpha}{K} \right)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \frac{\beta}{1-\beta} (\theta - d)^{\frac{2\beta-1}{1-\beta}},$$
$$(\theta - d)^{\frac{\beta}{1-\beta}} = (d - e) \frac{\beta}{1-\beta} (\theta - d)^{\frac{2\beta-1}{1-\beta}},$$

$$(\theta - d) = (d - e) \frac{\beta}{1-\beta},$$

$d \left(1 + \frac{\beta}{1-\beta} \right) = \theta + e \frac{\beta}{1-\beta}$ vilket ger det optimala priset

$$d = (\theta + e \frac{\beta}{1-\beta}) / \left(1 + \frac{\beta}{1-\beta} \right).$$

Notera att det optimala priset, eller brukaravgiften inte beror på den extra kapitalkostnaden K för ellastbilarna. Å ena sidan minskar antalet ellastbilar n om den extra kapitalkostnaden K ökar, men å andra sidan minskar också priselasticiteten $\frac{dV_e}{dd}$ (i absolut belopp).

Om vi antar $\beta = 0.5$ blir $d = \frac{\theta+e}{2}$. I rapporten har vi inte inkluderat elpriset i brukaravgiften, så den är $\frac{\theta+e}{2} - \text{elkostnad per km}$.

Förenklad härledning genom att från början anta $\alpha=1$ och $\beta = 0.5$

Elvägsoperatören kommer att sätta priset så att vinsten $\pi = (d - e)V_e(d)$ maximeras, dvs

$$\frac{d\pi}{dd} = V_e(d) + (d - e) \frac{dV_e}{dd} = 0$$

Där är V_e antal efterfrågade elvägskilometer och d kilometerpriset att köra på elvägen. Priset d som elvägsoperatören kommer att sätta beror alltså på hur $\frac{dV_e}{dd}$ and V_e . (elasticiteten $\frac{V_e}{d-e} \frac{dd}{dV_e} =$ kommer att vara -1 vilket är ett generellt resultat för en monopolist). För att härleda hur efterfrågan V_e beror av priset d antar vi att åkeriernas efterfrågan på V_e styrs av en avvägning mellan den extra kapitalkostnaden (K) för hybridbilarna som kan drivas på elvägen och den lägre drivmedelskostnaden för drift på elvägen

$$\pi = Kn - (\theta - d)V_e,$$

Där θ drivmedelskostnad på diesel och n är antalet hybridlastbilar. Anta att antalet körda elvägskilometer styrs av funktionen $V_e(S, N) = A S \sqrt{n}$, där S är det totala elvägnätets längd och A en konstant. Det optimala antalet hybridlastbilar n för åkerierna bestäms genom kostnadsminimering

$$\frac{d\pi}{dn} = K - (\theta - d)A \frac{S}{2\sqrt{n}} = 0$$

Vilket ger det optimala antalet lastbilar:

$$\sqrt{n} = (\theta - d)A \frac{S}{2K}$$

Detta ger

$$V_e = (\theta - d) \frac{A^2 S^2}{2K} \text{ och } \frac{dV_e}{dd} = -\frac{A^2 S^2}{2K}$$

Använd detta i funktionen som ger operatörens vinstmaximum $V_e(d) = -(d - e) \frac{dV_e}{dd}$, vilket ger det optimala priset som

$$\begin{aligned} (\theta - d) \frac{A^2 S^2}{2K} &= (d - e) \frac{A^2 S^2}{2K} \\ \theta - d &= d - e \\ d &= \frac{\theta + e}{2} \end{aligned}$$