

Potential för utsläppsminskningar från elektrifiering av godstransporter på Europavägar [Potential for reducing greenhouse gas emissions by electrifying freight transport on the Swedish E-road network]

VTI Working Paper 2020:2

Författare / author

Johanna Jussila Hammes, Transport Economics, VTI, Swedish National Road and Transport Research Institute

Abstract

Utsläppsminskningspotential från tunga lastbilstransporter (över 3,5 ton) beräknas för elektrifiering av de svenska europavägarna och vissa riksvägar. Fyra scenarier analyseras. I huvudscenariot (scenario 1) minskar utsläppen med ca 52 procent jämfört med de totala utsläppen från den tunga trafiken år 2017, på 3 326 kton CO₂. En enkel analys av den samhällsekonomiska lönsamheten tyder på att med dagens koldioxidskatt på 1,15 SEK per kg CO₂ och givet en ”låg” investeringskostnad på 20 mSEK per km väg skulle det kunna löna sig att elektrifiera E4 i Stockholms län och E6 i Skåne län. Marginalkostnaden för att elektrifiera hela E4 från Stockholm till Skåne och E6 från Skåne till den norska gränsen ligger på 2,38 SEK per kg CO₂. Mer välutvecklade samhällsekonomiska analyser bör dock göras innan investeringsbeslut fattas.

Abstract in English

We summarize the potential for reducing the emissions of greenhouse gases from heavy freight vehicles (over 3.5 ton) if the Swedish E-road network and the national roads with greatest traffic volumes were electrified. We analyze four scenarios. In the main scenario, emissions are reduced by about 52 percent compared to the total emissions in 2017 at 3 326 kton CO₂. A simple calculation of the socio-economic profitability of the emissions reduction indicates that at the prevailing carbon tax rate of 1,15 SEK per kg CO₂ (ca 0,11 EUR per kg CO₂), and given a “low” investment cost of 20 mSEK per km road (1.9 mEUR per km road), it would be profitable to electrify highway E4 in Stockholm county, and E6 in Skåne county. The marginal cost of electrifying the entire E4 from Stockholm to Skåne, and E6 from Skåne to the border with Norway would be 2,38 SEK per kg CO₂ (0,23 EUR per kg CO₂). Before decisions about investments are made, a more thorough cost-benefit analysis should be made, however.

Keywords

elvägar; koldioxid; nuvärde av koldioxidutsläppsminskningar; Sverige; tunga lastbilstransporter

Keywords in English

electric roads; carbon dioxide; net present value of carbon dioxide emissions reductions; Sweden; heavy freight transport

JEL Codes

R42; Q54; Q55



Potential för utsläppsminskningar från elektrifiering av godstransporter på Europavägar

Författare: Johanna Jussila Hammes

Adress: Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI; Box 556 85; 102 15 Stockholm. Tfn: 08-555 367 77. E-post: johanna.jussila.hammes@vti.se.

Datum: 2020-01-27

Sammanfattning: Utsläppsminskningspotential från tunga lastbilstransporter (över 3,5 ton) beräknas för elektrifiering av de svenska europavägarna och vissa riksvägar. Fyra scenarier analyseras. I huvudscenariot (scenario 1) minskar utsläppen med ca 52 procent jämfört med de totala utsläppen från den tunga trafiken år 2017, på 3 326 kton CO₂. En enkel analys av den samhällsekonomiska lönsamheten tyder på att med dagens koldioxidskatt på 1,15 SEK per kg CO₂ och givet en "låg" investeringskostnad på 20 mSEK per km väg skulle det kunna löna sig att elektrifiera E4 i Stockholms län och E6 i Skåne län. Marginalkostnaden för att elektrifiera hela E4 från Stockholm till Skåne och E6 från Skåne till den norska gränsen ligger på 2,38 SEK per kg CO₂. Mer välutvecklade samhällsekonomiska analyser bör dock göras innan investeringsbeslut fattas.

Tack: Författaren tackar Maria Börjesson både för synpunkter och för bidrag till lägesbeskrivningsavsnittet, Magnus Johansson och Per Kågeson för bidraget till lägesbeskrivningsavsnittet, Noor Sedehi Zadeh och Ivan Ridderstedt för forskningsassistans och Mattias Haraldsson för synpunkter. Studien har presenterats på ett VTI granskningsseminarium den 15 november 2019 och på Transportforum den 9 januari 2020.

Nyckelord: elvägar; koldioxid; nuvärde av koldioxidutsläppsminskningar; Sverige; tunga lastbilstransporter

JEL-koder: R42; Q54; Q55

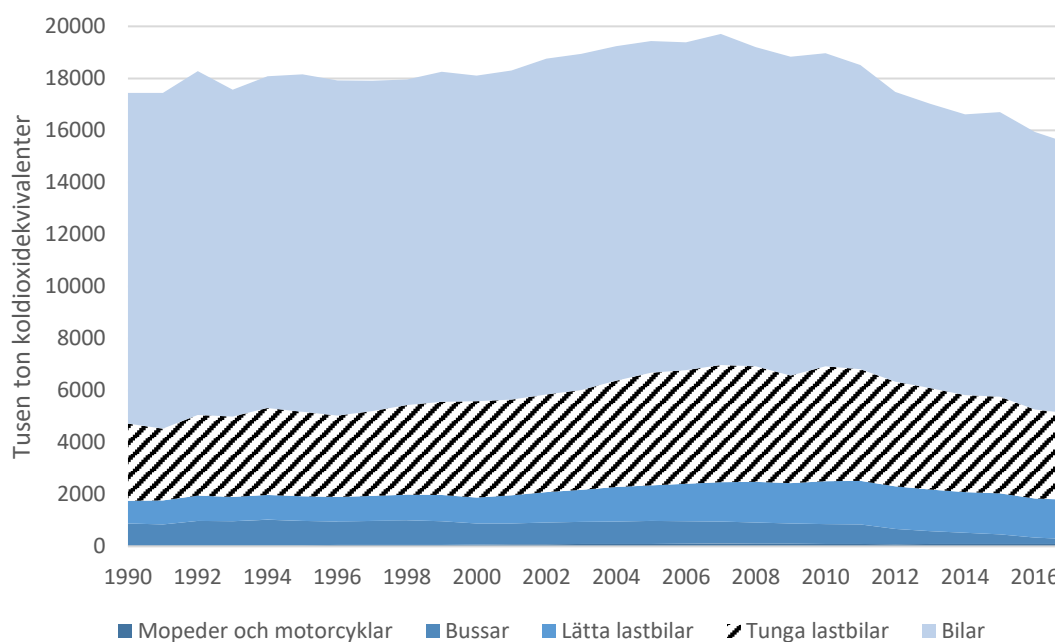
1. Introduktion

Cirka 50 procent av alla godstransporter i Sverige går på väg. Andelen har varierat mellan ca 45 och 52 procent under perioden 2000-2018, och kan anses vara relativt stabil. Järnvägstransporternas andel har även den varit relativt stabil, mellan 19 och 21 procent under samma period, medan sjöfartens andel har sjunkit något, från 34 procent 2015 till 28 procent 2018.¹ Utifrån historisk erfarenhet ter det sig således inte helt enkelt att öka järnvägens och sjöfartens andel av godstransporterna i syfte att minska godstransporters klimatpåverkan.

Växthusgasutsläppen från tunga lastbilstransporter har ökat med ca 11 procent mellan 1990 och 2017. Sedan toppåret 2007 har utsläppen dock minskat med ca 26 procent till 3 326 kiloton (kton) år 2017 (Naturvårdsverket, 2018). Minskningen har huvudsakligen skett genom ökad användning av biodrivmedel.² Börjesson (2016) har räknat på potential för framtida biomassauttag i Sverige och visar att uttaget under de närmaste årtiondena skulle kunna öka med 40-50 TWh. Om det vore möjligt att använda hälften av detta till framställning av biodrivmedel, och om vi antar att omvandlingsförlusterna är mycket små, skulle detta räcka till totalt ca 20 TWh drivmedel inklusive den redan idag existerande produktionen från inhemska råvaror som uppgår till ca 4 TWh. Den inhemska produktionspotentialen motsvarar således som mest en fjärdedel av den nuvarande förbrukningen av drivmedel i Sverige, som enligt Energimyndigheten uppgick totalt till 126 TWh, varav 87 TWh till väg- och järnvägstransporter under 2017 (Kågeson, 2018; Energimyndigheten, 2018). Utvecklingen för utsläpp från fem vägtransportslag mellan 1990 och 2017 visas i figur 1.

¹ Detta beror dock på ett tidsseriebrott där avståndsberäkningarna har utförts med en uppdaterad avståndsmatrix.

² Enligt siffror från SPBI utgjorde totala konsumtionen av HVO (HVO 100 och drop in) 20,3 procent av totala dieselkonsumtionen år 2018, ner från 24,7 procent 2017.



Figur 1. Utsläpp av växthusgaser från vägtransporter mellan 1990 och 2017 i Sverige. Källa: Naturvårdsverket.

Ett alternativ till att flytta godstransporter till järnväg och sjöfart för att minska utsläppen skulle elektrifiering av de tyngst trafikerade vägarna i Sverige kunna vara. Syftet med denna studie är att räkna potentialer för elektrifiering av godstransporter från fyra scenarier. I det ena scenariot elektrifieras hela europavägnätet samt fyra riksvägar med stora godsflöden (RV 40 mellan Göteborg och Jönköping och RV 73 mot Nynäshamn, RV 11 och RV 21 i Skåne). De andra scenarierna är mindre och omfattar bara delar av europavägnätet och de tyngst trafikerade riksvägarna (40 och 73). Det sista scenariot beräknar utsläppsminskningspotentialen för sträckan från Gävle till Södertälje. Studien tar inte hänsyn till tekniska aspekter av elvägar eller till kostnadsfrågan. Den utgör således en ren potentialberäkning.

Studiens upplägg är följande: I nästa avsnitt görs en kort lägesbeskrivning för elvägar i Sverige och omvärlden. Därefter beskrivs den metod som använts för beräkningarna i detalj.

Resultatbeskrivningen följer metodavsnittet. I nästsista avsnittet diskuteras huruvida det kan vara samhällsekonomiskt försvarbart att investera i elvägar. Studien avslutas med en sammanfattning och några slutsatser.

2. Pågående elvägsprojekt i Sverige och internationellt

Begränsade tester med elvägar pågår i bland annat Sverige, Tyskland och Kalifornien. I Sverige presenterades de första tankarna på elvägar redan i slutet av 1990-talet (Hådel, 1996; Steen, 1997). Arbetet med att utreda förutsättningarna kom dock ingång först efter 2010 (Grontmij, 2010; Haraldsson, 2010; Bergman, 2011; Ranch & Snygg, 2013; WSP, 2013). Bland annat gjorde WSP (2013) bedömningen att den företagsekonomiska brytpunkten mellan den högre kostnaden för elfordonet

och den elektrifierade trafikens lägre driftskostnad ligger vid en körsträcka på ca 2 500 mil per år. Givet den genomsnittliga körsträckan på 4 139 mil år 2018 för tunga lastbilar (Trafikanalys, 2019) indikerar detta att eldrift kan vara företagsekonomiskt lönsam.

Utredningen om Fossilfrihet på väg (SOU 2013:84) bedömde att ca 900 passerande fordon per dag behöver använda el för att deras minskade utsläpp av koldioxid och andra utsläpp samt reducerade energianvändning skulle uppväga investerings- och underhållskostnaden för elinfrastrukturen på en given vägsträcka. Utredningens bedömning var att 8 procent av transportarbetet med tunga lastbilar skulle kunna ske med eldrift år 2030 om 100 mil av de mest trafikerade vägarna i Sverige elektrifierades, och under förutsättningen att en tredjedel av lastbilarna på detta vägnät går på el.

I juni 2013 inledde Trafikverket, Energimyndigheten och Vinnova Elvägsupphandlingen som resulterade i att två försökssträckor har byggts. Den ena avser en sträcka på 2 kilometer på E16 vid Sandviken. Där prövas sedan 2016 överföring av el från en kontaktledning som hänger från stolpar med elvägsteknik från Siemens och lastbilar från Scania. Två elhybridlastbilar har trafikerat sträckan. Projektet omfattar ca 77 miljoner SEK i offentlig finansiering från de tre ovannämnda myndigheterna samt ca 48 miljoner SEK i medfinansiering från näringslivet och regionen. Eftersom försöket bedöms som lyckat förlängs projektet till 2021 bland annat med planer på att förlänga elvägssträckan till 44 kilometer från Gävle Hamn till Storvik (Sandviken Pure Power, 2019). Den andra försökssträckan, den så kallade E-Road Arlanda är en 2 kilometer lång sträcka belägen mellan Arlandas fraktterminal och Rosersbergs logistikområde på väg 893 och togs i drift 2018. Där prövas överföring från en elskena i vägbanan. Även ett flertal mindre studier och projekt har genomförts.

Trafikverket upphandlar för närvarande ytterligare demonstrationssträckor. Genom regeringsbeslutet i den nationella infrastrukturplanen för 2018-2029 har myndigheten uppdraget att bygga och driftsätta minst en kortare elvägpilot senast år 2021. Den statliga finansieringen är begränsad till 50 procent av den totala kostnaden med ett tak på 300 miljoner kronor för det statliga bidraget. För att förverkligas förutsätter således projektet betydande medfinansiering från kommuner och regioner och/eller kommersiella intressenter. För tillfället förbereder två kandidater, regionerna Örebro och Stockholm vägplan för en sträcka på omkring 20-30 kilometer (Trafikverket, 2019a).³

³ Sträckorna avser E20 på sträckan Hallsberg – Örebro och väg 73 mellan Nynäshamn och Västerhaninge. Det slutgiltiga valet kommer att göras mellan dessa två alternativ.

Parallellt med detta arbete bidrar Trafikverket till byggande av två demonstrationssträckor för elvägar. Dessa avser en induktiv elvägssträcka för tung och kollektivtrafik på en kuststräcka i närheten av Visby samt en induktiv lösning för kollektivtrafik i Lund (Trafikverket, 2019b).

Tre försökssträckor ska byggas eller är redan i drift i Tyskland. Dessa baserar sig på Siemens koncept för överföring från kontaktledning. Det första projektet, som driftsattes i maj 2019, är fem kilometer lång (i båda riktningarna) på Autobahn A5 vid Frankfurt (DW, 2019; The Local, 2019). En andra projekt avser en 10 kilometer lång (i båda riktningarna) sektion av Autobahn A1 till Lübecks hamn. Försöksprojektet beräknas pågå från 2019 till 2022. Denna elväg kompletteras med möjlighet till stationär laddning i hamnen (eHighway.sh, 2019). Den tredje elvägssträckan har ännu inte börjat byggas men planeras till Baden-Württemberg längs en sektion av B462 (The Local, 2019; Scania, 2018a). Scania levererar 15 elhybridlastbilar till de tyska försöken (Scania, 2018a).

Även i Kalifornien pågår elvägsförsök. Testet startade 2016 på en 1,6 kilometer lång stadsväg utanför Los Angeles (City of Carson). Vidare har en förstudie om elektrifiering av delar av vägnätet runt London genomförts, och även i Norge har en förstudie om elektrifiering av E39 genomförts (Trafikverket, 2017). I Italien planeras en sex kilometer lång försökssträcka längs väg A35 i Lombardiet. Det långsiktiga målet är en 62 kilometer lång elväg. Teknologileverantörer i Italien är Scania och Siemens (Scania, 2018b).

3. Metod

Bedömningen av elvägars potential baserar sig på en beräkning av utsläpp från tunga lastbilstransporter givet 2018-års trafikeringsdata från Trafikverkets vägdatas. ⁴ Data är fördelad per län och väg och vi har information både om miljontals fordonskilometer (fkm) och vägens längd. Informationen täcker samtliga europavägar och fyra riksvägar, nämligen RV 11 och 21 i Skåne, RV 40 i Jönköping, Kalmar och Västra Götalands län samt RV 73 i Stockholm. Dessa fyra riksvägar valdes ut utifrån informationen i Trafikverkets vägtrafikflödeskarta som de fyra riksvägar som har största flöden av tung trafik. Trafikverkets data är inte differentierad för de olika viktklasserna av lastbilar. Dessutom innehåller data även information om bussar som p.g.a. mättekniken inte kan separeras från lastbilarna, samt utländska lastbilar. Inkluderandet av bussar och utländska lastbilar är sannolikt förklaringen till att summan av körsträckor från Trafikverkets databas överstiger den totala körsträckan för tunga lastbilar enligt Trafikanalys körsträckedata (Trafikanalys, 2019). Rättas Trafikverkets siffror för körsträckan för bussar i klass III (Fordon som uteslutande tillverkats för

⁴ Beräkningen tar inte hänsyn till utsläpp från användningen av el som drivmedel. För att kunna göra detta hade det behövts information om elförbrukning i tunga lastbilar, vilket är inte tillgängligt. Vidare tas ingen hänsyn till elproduktionssystemet i sig – varken utsläpp från elproduktion, produktionskapaciteten för förnybar el, överföringskapacitet osv.

befordran av sittplatspassagerare) på ca 161 miljoner fkm samt för körda kilometer från utlandet till Sverige, cabotage och tredjelandstrafik på ca 967 miljoner fkm blir den återstående körsträckan ca 695 miljoner fkm, 16,5 procent av den totala körsträckan enligt Trafikanalys. Huruvida detta är en korrekt bedömning av körsträckan utanför de inkluderade vägarna är omöjligt att bedöma, men de vägar som ingår i den statistik som används är de med högst dygns- och årstrafikmängder i fkm i landet så det ter sig rimligt att en mindre andel av godstransporterna går på återstoden av vägnätverket.

Analyserna görs dock med hela transportsträckan, även om detta medför vissa potentiella fel. Skälet är att även långväga- och turistbussar (i klass III) bör kunna utnyttja elvägar och därmed minska sina utsläpp. Samma gäller utländska lastbilar – elektrifieras de svenska europavägarna så är det rimligt att anta att tekniken för att göra detta är samma som används i andra länder. Inkluderandet leder dock till en viss snedvridning eftersom bussar inte ingår i den fördelning av trafiken till olika viktklasser som används. Utsläppsminskingspotentialerna i denna studie ska egentligen tolkas som potentialer om både de tunga lastbilstransporterna och långväga busstransporter (eller busstransporter som går på europavägar) samt lastbilstrafiken från utomlands elektrifierades.⁵ Att transporter från utomlands till Sverige inkluderas motiveras med att transporter från Sverige till utlandet också ingår.

Vi antar att alla tunga lastbilstransporter körs med diesel eller en blandning av diesel och biodrivmedel. Vi gör beräkningar utifrån tre olika antaganden om inblandningsgraden av biodrivmedel i diesel: att alla tunga lastbilstransporter körs med enbart fossil diesel, att inblandningsgraden för biodrivmedel motsvarar ungefär situationen 2018, dvs att 6,5 procent av dieseln utgörs av FAME, 14,5 procent av HVO, och resten av fossil diesel, och att biodrivmedelsinblandningen motsvarar det som prognostiseras behövas till 2030 för att uppfylla reduktionspliktsens mål (Energimyndigheten, 2019b), nämligen 6,5 procent FAME, 65,8 procent HVO och 27,7 procent fossil diesel.⁶ Den första beräkningen utgör en högsta möjlig utsläppsminskingspotential, den andra ger en mer rimlig utsläppsminskingspotential, och den sista en minimipotential.

Utsläppsminskingspotentialen räknas fram med hjälp av drivmedelsförbrukningen för fyra typer av lastbilar: 3,5-16 ton, 16-24 ton, 25-40 ton samt 25-60 ton. För att beräkna fordonskilometer per

⁵ Enligt Trafikanalys siffror (Trafikanalys, 2019) utgör busstransporterna 3,7 procent av alla transporter så detta problem lär inte vara särskilt stort.

⁶ Vi utgår från Energimyndighetens "reduktionspliktsscenario" som har den högsta andelen biodrivmedel. Energimyndigheten gör även två "elektrifieringsanalyser" där behovet av biodrivmedel är lägre.

lastbilskategori används data från SAMGODS-modellen.⁷ SAMGODS anger skattade fkm per lastbilskategori och län på europavägar. Däremot är det svårare att hantera riksvägar i SAMGODS. SAMGODS-information har använts för att beräkna de andelar som de fyra lastbilskategorierna utgör av totala lastbilstransporter i respektive län. Exempelvis utgörs 6,3 procent av transporterna i Stockholms län av den minsta kategorin av lastbilar (3,5-16 ton), medan den tyngsta kategorin (25-60 ton) motsvarar 56 procent av alla fordonskilometer. På detta sätt kan Trafikverkets aggregerade siffror fördelas över olika lastbilstyper med olika bränsleförbrukning per mil.

För att beräkna drivmedelsförbrukningen används siffror från Trafikverket. Bränsleförbrukningen sammanfattas i tabell 1.

Tabell 1. Antagen bränsleförbrukning per lastbilskategori.

	LÄTT LASTBIL	3,5-16 TON	16-24 TON	25-40 TON	25-60 TON
LITER/KM	0,074	0,164	0,222	0,271	0,324

Källa: Trafikverket.

I sista steget av beräkningen används värmevärden för diesel, FAME och HVO samt emissionsfaktorer som hämtats från Energimyndigheten (2019a). Värden gäller för 2019 och är 35,4 MJ per liter diesel i miljöklass 1, 33 MJ per liter FAME och 34 MJ per liter HVO. Utsläppsfaktorerna är 77,2 g CO₂e per MJ diesel i miljöklass 1, 32,2 g CO₂e per MJ FAME, och 8,8 g CO₂e per MJ HVO. För att beräkna drivmedelskonsumtionen multipliceras således fkm per lastbilskategori med bränsleförbrukningen från tabell 1 och därefter av värmevärdet. Avslutningsvis multipliceras med emissionsfaktorn för att få fram utsläpp:

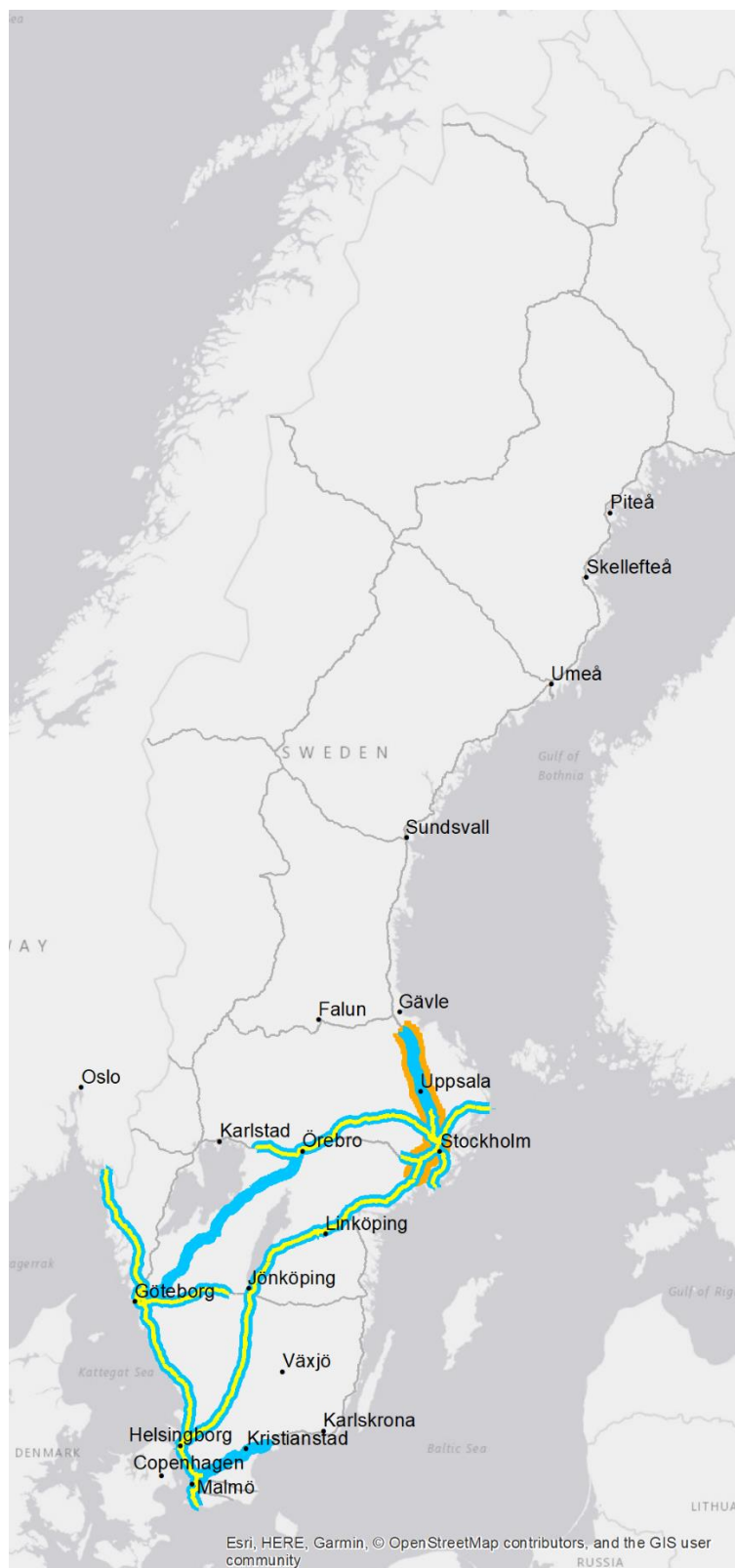
$$g\ CO_2 = \sum_{i=diesel,FAME,HVO} fkm_{i,fordonstyp} km \times bränsleförbrukning_{fordonstyp} \frac{liter}{km} \times värmevärde_i \frac{MJ}{liter} \times emissionsfaktor_i \frac{gCO_2}{MJ}$$

Utsläppsminskningspotential beräknas för fyra olika scenarier som sammanfattas i figur 2 och tabell 2. I det första scenariot (*scenario alla*) elektrifieras hela europavägnätet samt de fyra riksvägarna med största godsflöden (RV 40 mellan Göteborg och Kalmar, RV 73 mot Nynäshamn samt RV 11 och RV 21 i Skåne, alla de svartmarkerade vägarna i figur 2). Detta anger ett maximum utan någon hänsyn till vilka trafikflöden som krävs för att elvägar ska vara ekonomiskt motiverade. De andra scenarierna begränsas till vissa delar av europavägnätet och till riksväg 40 i Västra Götaland och RV

⁷ SAMGODS är ett modellverktyg för systemstudier av svenska godstransporter på nationell nivå. Ansvarig för utvecklingen av modellen är Trafikverket. 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 transporternas fördelning mellan de olika trafikslagen (väg, järnväg, sjötrafik och flygfrakt), godsflödenas geografiska fördelning, totala systemkostnader och miljön.

73. I scenario 1 beräknas utsläpp från europavägar och riksvägar med mer än 1 miljon fkm per vägkilometer och år, dvs minst 2 740 fordon per dygn (de gulmarkerade vägarna i figur 2). Om det antas att 33 procent av fordonen kör på el motsvarar detta ett flöde av 900 fordon per dygn som utredningen Fossilfrihet på väg (SOU 2013:84) (härefter FFF-utredningen) bedömde krävas för att minskade utsläpp av koldioxid och luftföroreningar samt reducerade energianvändning ska uppväga investerings- och underhållskostnaden för elinfrastrukturen på en given vägsträcka.⁸

⁸ Scenario 1 omfattar 169 mil elvägar.



Figur 2. De fyra scenarierna. Scenario alla omfattar hela det svartmarkerade vägnätet. I scenario 1 elektrifieras de gulmarkerade vägarna, och i scenario 2 de gulmarkerade samt de blåmarkerade vägarna. I scenario Gävle-Södertälje elektrifieras den rödmarkerade vägen, E4 genom Uppsala och Stockholms län.

Tabell 2. Sammanfattning av scenarierna.

	SCENARIO ALLA	SCENARIO 1	SCENARIO 2	GÄVLE- SÖDERTÄLJE
OMFATTNING / BESLUTSREGEL	Alla europavägar + RV 11, 21, 40, 73	Trafikmängd > 1 miljoner fkm/år = 2 740 fordon/dygn	Trafikmängd > 0,8 miljoner fkm/år = 2 192 fordon/dygn	E4 mellan länsgränsen Uppsala- Gävleborg och Stockholm- Södermanland

I scenario 2 sänks gränsvärdet till 0,8 miljoner fkm per vägkilometer och år, dvs minst 2 192 fordon per dygn. Detta medför att även E4 genom Uppsala län, E20 genom Örebro och Västra Götalands län samt E22 till den del som passerar Skåne län inkluderas, utöver de vägar som ingår i scenario 1 (de blåmarkerade vägarna i figur 2). För att nå upp till den förmodade samhällsekonomiska brytpunkten på 900 fordon per dygn krävs då att ca 41 procent av de tunga transportererna körs på el.⁹ Det antas därför att 41 procent av de tunga transportererna på alla de inkluderade vägvägnen körs på el.

Scenario 3 omfattar enbart sträckan mellan Gävle och Södertälje, dvs trafiken på E4 genom Uppsala och Stockholms län. Detta har markerats med rött i figur 2. För alla scenarier beräknas utsläppen från tre möjliga drivmedelsblandningar: 100% diesel, 79% diesel, 6,5% FAME och 14,5% HVO samt 27,7% diesel, 6,5% FAME och 65,8% HVO.

Det är värt att notera att de delar av E20 som passerar Södermanlands och Västmanlands län har så pass låga trafikflöden (2 137 respektive 1 534 fordon per dygn) att de faller utanför även gränsvärdet för att inkluderas i scenario 2. Samtidigt skulle det vara möjligt att elektrifiera E18 genom Västmanland – i det mån som denna väg kan användas mellan Stockholm och Göteborg så skulle långväga trafik kunna ta den vägen istället för E20.

Även E22 när den lämnar Skåne län är enligt tumregeln 2 192 fordon per dygn (scenario 2) ointressant att elektrifiera. Delarna genom Blekinge (1 288 fordon per dygn), Kalmar (877 fordon per dygn) och Östergötlands län (1 014 fordon per dygn) är så pass glest trafikerade att de inte inkluderas. Frågan är då om det skulle vara intressant att elektrifiera E22 från Skåne till Kristianstad, vilket är den tyngst trafikerade sträckan på vägen.

⁹ Scenario 2 omfattar 219 mil elvägar.

Ett sista frågetecken gäller E18 genom Värmland (1 644 fordon per dygn). Enligt tumregeln trafikmängd över 2 740 (eller 2 192) fordon per dygn skulle E18 kunna elektrifieras från Uppsala genom Stockholm, Västmanland och Örebro län, men inte genom Värmland. Det är dock värt att notera att E18 fortsätter mot Oslo, och vad som händer på den norska sidan av gränsen kan vara av intresse även för elektrifiering i Sverige.

De finns ett antal brister i analysen. En är tumregeln på 2 740 (2 192) fordon per dygn som används för att avgöra vilka vägar som skulle kunna vara intressanta att elektrifiera. Den högre av tumreglerna ger samma resultat som FFF-utredningen och anses således vila på en viss empirisk grund. En mer noggrann företags- och samhällsekonomisk analys måste dock göras för att avgöra det faktiska gränsvärdet och vilka vägar som skulle vara samhällsekonomiskt lönsamma att elektrifiera.¹⁰ Det andra är att energieffektivisering av lastbilar framöver (exempelvis till 2030) inte beaktas, vilket ger överdrivet höga utsläppsminskningspotentialer om resultaten betraktas som prognoser. Utsläppsminskningspotentialerna överdrivs även p.g.a. att utsläppen från elanvändning inom transportsektorn inte beaktas.¹¹

4. Resultat – utsläppsminskningspotentialerna

De totala utsläppen från tunga lastbilstransporter på alla europavägar och de fyra ovan beskrivna riksvägsavsnitten blir 3 587 kton CO₂ om vi antar att drivmedelsblandningen består till 100 procent av diesel. Detta överstiger Naturvårdsverkets rapporterade totalutsläpp på 3 326 kton CO₂ under 2017 och kan betraktas som en referenspunkt för ett helt biodrivmedelsfritt transportsystem i den utsträckningen som transportererna går på europavägar och de fyra riksvägarna. Vi kommer dock i fortsättningen inte rapportera siffror för en drivmedelsblandning bestående enbart av diesel. En drivmedelsblandning bestående av 79 procent diesel, 6,5 procent FAME och 14,5 procent HVO ger en lägre utsläppsnivå på 2 990 kton CO₂, och en blandning på 27,7 procent diesel, 6,5 procent FAME och 65,8 procent HVO en nivå på sammanlagt 1 360 kton CO₂ per år.¹²

¹⁰ VTI har ett pågående projekt som ska analysera den samhällsekonomiska effektiviteten i elvägar.

¹¹ Elproduktionen ingår i EU:s system för utsläppshandel och därmed är den externa effekten från koldioxidutsläppen från elproduktionen internaliserad. Å andra sidan är klimatgasutsläppen från förbränning av diesel också internaliserade p.g.a. koldioxidskatten. Det skulle således vara relevant att ta hänsyn till elproduktionssektorns utsläpp. Såsom noterades tidigare saknas information om elförbrukning av tunga lastbilar och beräkningen kan inte göras.

¹² Reduktionsplikten skulle således bidra med en utsläppsminskning på 1 630 kton CO₂ per år 2030 givet 2018-års transportsträckor och lastbilmix. Reduktionen skulle då utgöra 54,5 procent av 2018-års beräknade utsläppsnivå.

Totala utsläpp för två drivmedelsblandningar på alla europavägar (dvs på hela väglängden) och de fyra riksvägarna visas i tabell 3. Det framgår tydligt från tabellen att de tyngsta lastbilarna (25-60 ton) står för en stor del av utsläppen, nämligen för 63,9 procent.¹³

Tabell 3 Beräknade utsläpp för fyra lastbilsgrupper från alla europavägar och fyra riksvägar (scenario alla) givet två drivmedelsblandningar (79% diesel + 6,5% FAME + 14,5% HVO samt 27,7% diesel + 6,5% FAME + 65,8% HVO). Kiloton CO₂ per år.

VÄG- NUMMER	DIESEL 79%, FAME 6,5%, HVO 14,5%				DIESEL 27,7%, FAME 6,5%, HVO 65,8%			
	3,5-16 ton	16-24 ton	25-40 ton	25-60 ton	3,5-16 ton	16-24 ton	25-40 ton	25-60 ton
E4	13	64	262	796	6	29	119	362
E6	6	61	183	354	3	28	83	161
E10	0	5	13	20	0	2	6	9
E12	0	0	3	24	0	0	2	11
E14	0	2	12	37	0	1	5	17
E16	1	4	15	42	0	2	7	19
E18	6	36	88	189	3	16	40	86
E20	3	26	61	131	1	12	28	60
E22	1	8	52	109	1	4	24	50
E45	2	20	45	88	1	9	20	40
E65	0	2	8	15	0	1	3	7
RV11	0	1	6	12	0	1	3	5
RV21	0	2	9	17	0	1	4	8
RV40	1	15	30	58	1	7	14	26
RV73	1	4	7	21	1	2	3	10
TOTALT	35	250	794	1 912	16	113	361	869
SUMMA				2 990				1 360

Aggregerade utsläppsminskningspotentialer för de tre alternativscenarierna visas i tabell 4.

Potentialen är lägre i scenario 1 där enbart vägar med transportmängder som överstiger 2 740 fordon per dygn ingår än i scenario 2 där gränsen för att inkluderas är 2 192 fordon per dygn.

Tabell 4 Beräknade utsläppsminskningspotential från tre scenarier för fyra lastbilsgrupper och två drivmedelsblandningar (79% diesel + 6,5% FAME + 14,5% HVO samt 27,7% diesel + 6,5% FAME + 65,8% HVO) om 100% av transportererna gick på el. Kiloton CO₂ per år.

	LASTBILSTYP	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO GÄVLE- SÖDERTÄLJE
79% DIESEL, 6,5% FAME, 14,5% HVO	3,5-16 ton	24	28	8
	16-24 ton	148	177	26
	25-40 ton	476	553	55
	25-60 ton	1 082	1 255	171

¹³ Andelarna av de olika typer av fordon baserar sig på SAMGODS-simuleringar. Skulle SAMGODS överskatta antalet fordonskilometer för de tyngsta lastbilarna skulle det leda till att denna siffra blev för stor.

		Totalt, kton CO₂ per år		
		1 731	2 013	260
27,7% DIESEL, 6,5% FAME, 65,8% HVO	3,5-16 ton	11	13	4
	16-24 ton	67	81	12
	25-40 ton	216	252	25
	25-60 ton	492	571	78
Totalt, kton CO₂ per år		787	916	118

Tabell 4 visar utsläppen från respektive lastbilskategori givet drivmedelsblandningen som använts. För att beräkna utsläppsminskningspotentialen för respektive scenario måste siffran dras av från de totala utsläppen. Således utgör utsläppsminskningspotentialen i scenario 1 ca 58 procent av de totala utsläppen från europavägsnätet och de fyra riksvägarna, givet att 100 procent av lastbilarna körs med el. Scenario 2 täcker på ett motsvarande sätt 67 procent av utsläppen. Scenario Gävle-Södertälje omfattar ca 8,7 procent av utsläppen.

Utsläppsminskningspotential i scenario 1 och 2 per väg för drivmedelsblandningen 79 procent diesel, 6,5 procent FAME och 14,5 procent HVO visas tabell 5. Trafikmängderna på de flesta europavägarna, och på ett stort antal sträckor är lägre än de som gäller för respektive scenario 1 och 2, 2 740 eller 2 192 fordon per dygn. Exempelvis sträcker sig E4:n genom 11 län, men i scenario 1 byggs elvägar bara i sex av dessa, och i scenario 2, sju. Den enda europaväg som skulle elektrifieras i båda scenarierna och i sin helhet är E6 mellan Skåne och den norska gränsen. I tabell 6 sammanfattas motsvarande utsläppsminskningspotentialer för fallet där drivmedelsblandningen består av 27,7 procent diesel, 6,5 procent FAME och 65,8 procent HVO.

Tabell 5 Beräknade maximala utsläppsminskningspotential givet en drivmedelsblandning på 79% diesel, 6,5% FAME och 14,5% HVO per väg i scenario 1 (mer än 2 740 fordon/dygn) och scenario 2 (mer än 2 192 fordon/dygn). Antal län hänvisar till antalet län som den elektrifierade vägen skulle passera, Sträcka anger länen i båda ändan av den elektrifierade vägsträckan. Ton CO₂ per år.

SCENARIO 1							SCENARIO 2					
VÄG	Antal län	Sträcka	3,5-16 ton	16-24 ton	25-40 ton	25-60 ton	Antal län	Sträcka	3,5-16 ton	16-24 ton	25-40 ton	25-60 ton
E4	6	Stockholm – Skåne	10 874	48 748	195 065	487 352	7	Uppsala – Skåne	11 606	51 836	207 036	532 210
E6	3	Västra Götaland – Skåne	5 584	60 879	183 443	353 764	3	Västra Götaland – Skåne	5 584	60 879	183 443	353 764
E18	4	Uppsala – Örebro	5 149	18 766	63 007	165 835	4	Uppsala – Örebro	5 149	18 766	63 007	165 835
E20	1	Stockholm	691	2 179	4 171	12 219	3	Stockholm – Västra Götaland (via E18 i Västmanland)	2 528	23 630	48 551	100 065
E22	0						1	Skåne	583	4 463	21 120	40 304
RV40	1	Västra Götaland	965	13 834	22 944	42 075	1	Västra Götaland	965	13 834	22 944	42 075
RV73	1	Stockholm – Nynäshamn	1 189	3 750	7 176	21 022	1	Stockholm – Nynäshamn	1 189	3 750	7 176	21 022

Tabell 6 Beräknade maximala utsläppsminskningspotential givet en drivmedelsblandning på 27,7% diesel, 6,5% FAME och 65,8% HVO per väg i scenario 1 (mer än 2 740 fordon/dygn) och scenario 2 (mer än 2 192 fordon/dygn). Antal län hänvisar till antalet län som den elektrifierade vägen skulle passera, Sträcka anger länen i båda ändan av den elektrifierade vägsträckan. Ton CO₂ per år.

SCENARIO 1							SCENARIO 2					
VÄG	Antal län	Sträcka	3,5-16 ton	16-24 ton	25-40 ton	25-60 ton	Antal län	Sträcka	3,5-16 ton	16-24 ton	25-40 ton	25-60 ton
E4	6	Stockholm – Skåne	4 945	22 169	88 710	221 635	4 945	Uppsala – Skåne	5 278	23 574	94 154	242 034
E6	3	Västra Götaland – Skåne	2 539	27 686	83 425	160 882	2 539	Västra Götaland – Skåne	2 539	27 686	83 425	160 882
E18	4	Uppsala – Örebro	2 341	8 534	28 654	75 417	2 341	Uppsala – Örebro	2 341	8 534	28 654	75 417
E20	1	Stockholm	314	991	1 897	5 557	314	Stockholm – Västra Götaland (via E18 i Västmanland)	1 150	10 746	22 080	45 507
E22	0							Skåne	265	2 029	9 605	18 329
RV40	1	Västra Götaland	439	6 291	10 435	19 134	439	Västra Götaland	439	6 291	10 435	19 134
RV73	1	Stockholm – Nynäshamn	541	1 705	3 264	9 560	541	Stockholm – Nynäshamn	541	1 705	3 264	9 560

Avslutningsvis sammanfattas utsläppsminskningspotentialerna för scenario Gävle-Södertälje i tabell 7. Elektrifiering av sträckan har beräknats som elektrifiering av väg E4 från länsgränsen mellan Gävleborg och Uppsala till länsgränsen mellan Stockholm och Södermanlands län.

Tabell 7 Beräknade maximala utsläppsminskningspotential i scenario Gävle-Södertälje. Ton CO₂ per år.

	3,5-16 TON	16-24 TON	25-40 TON	25-60 TON
79% DIESEL, 6,5% FAME, 14,5% HVO	7 870	25 599	55 053	171 060
27,7% DIESEL, 6,5% FAME, 65,8% HVO	3 579	11 642	25 037	77 793

Såsom noterades i metodavsnittet så skulle det enligt FFF-utredningens bedömning räcka om ca 900 lastbilar per dygn skulle använda eldrift där detta är möjligt, givet att varje fordon kör fram och tillbaka en gång per dag (SOU 2013:84, ss. 518-519). 900 lastbilar per dygn utgör enligt utredningen en tredjedel av trafiken på de elektrifierade vägarna. Detta motsvarar scenario 1 i denna studie. Utsläppsminskningspotentialen för detta scenario med dagens drivmedelsblandning (79% diesel, 6,5% FAME, 14,5% HVO), givet att 33 procent av fordonen kör med el är 577 kton CO₂ per år, och med 2030-års drivmedelsblandning (27,7% diesel, 6,5% FAME, 65,8% HVO), 262 kton CO₂ per år. Beräknas värdet på denna koldioxidutsläppsminskning på ett koldioxidpris på 1,15 SEK/kg CO₂ så är minskningen värt ca 664 miljoner SEK respektive 301 miljoner SEK per år. Att utsläppsreduktionen och värdet på utsläppsreduktionen är lägre för den drivmedelsblandning som har en högre andel biodrivmedel är naturligt – utsläppen från dessa är ju i utgångsläget lägre så potentialen till utsläppsminskningar är mindre. Nuvärdet på dessa årliga reduktioner är ca 8,7 miljarder SEK, räknad med 3,5 procents diskonteringsränta (Trafikverket, 2018b) och ett 40-årigt livslängd från 2018 till 2057.¹⁴ Vidare har det i beräkningen antagits att utsläppen minskar linjärt mellan 2018 och 2030 men förblir konstanta efter 2030 på drivmedelsblandningen med 27,7% diesel, 6,5% FAME och 65,8% HVO, och att trafikmängden över hela perioden är konstant på 2018-års nivå, med 33 procent av transportererna på el.

Scenario 2 förutsätter att en större andel av lastbilarna kör på el än det som beräknats i FFF-utredningen, nämligen 41 procent, för att nå upp till 900 lastbilspassager per dygn på alla de vägar som inkluderas i scenariot. Vi antar att denna andel inte bara gäller på de tillkommande vägvägnitten utan i hela det elektrifierade vägsystemet. Utsläppsminskningspotentialen är då 825 kton CO₂ per år för dagens drivmedelsblandning, och 375 kton CO₂ per år för 2030-års drivmedelsblandning. Värdet på utsläppsminskningspotentialen beräknad på 1,15 SEK per kg CO₂ är då 949 miljoner SEK respektive

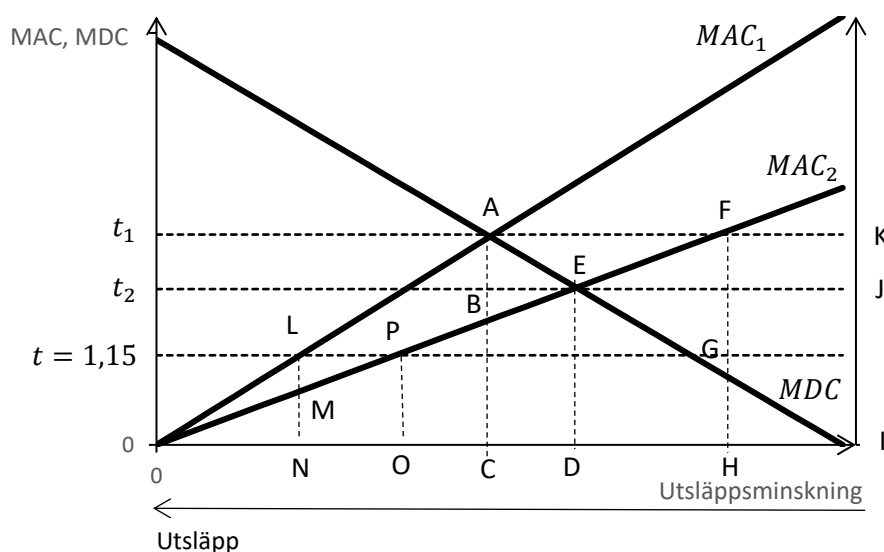
¹⁴ Används det nya ASEK-värdet på 7 SEK per kg CO₂ istället blir nuvärdet 53,2 miljarder SEK.

431 miljoner SEK per år. Det diskonterade nuvärdet på detta utifrån de ovan beskrivna förutsättningarna är då ca 12,5 miljarder SEK.¹⁵

Avslutningsvis är värdet på den årliga CO₂ reduktionen i scenario Gävle-Södertälje 299 miljoner SEK om 33 procent av de tunga transporterna på sträckan går på el och vi antar 2018-års drivmedelsblandning. Värdet är 136 miljoner SEK per år på 2030-års drivmedelsblandning. Det diskonterade nuvärdet utifrån de ovan beskrivna antagandena och en koldioxidvärdering på 1,15 SEK per kg CO₂ är då ca 3,9 miljarder SEK.¹⁶

5. Diskussion – samhällsekonomisk lönsamhet i elvägar

Det kan finnas flera skäl till att investera i elvägar. Här koncentreras dock på ett enda: behovet av att minska utsläppen av växthusgaser, och då främst koldioxid från transportsektorn, främst tunga godstransporter. Detta görs med hjälp av figur 3 som visar hur vi kan tänka på effekten av en sänkning i den marginella utsläppsminskingsfunktionen (MAC, Marginal Abatement Cost), givet den marginella skadekostnaden (MDC, Marginal Damage Cost).¹⁷



Figur 3. Marginalskadan från utsläpp ges av kurvan MDC. Den marginella utsläppsminskingsfunktionen (MAC, Marginal Abatement Cost) ser initialt ut som linje MAC_1 . När ny utsläppsminskningsteknologi introduceras, faller MAC-funktionen till MAC_2 . t_1 betecknar den optimala skatten för att internalisera den externa effekten givet MDC och MAC_1 , t_2 ger den optimala skatten när utsläppsminskingsfunktionen har blivit flackare och ges av MAC_2 .

I utgångsläget i figur 3 kan utsläppen minskas med hjälp av en teknologi med marginella utsläppsminskingsfunktion som ges av MAC_1 . Detta kan exempelvis vara biodrivmedel. Givet MAC_1

¹⁵ Givet ASEK-värdet på 7 SEK per kg CO₂ är nuvärdet på utsläppsreduktionen 76,2 miljarder SEK.

¹⁶ Givet ASEK-värdet på 7 SEK per kg CO₂ är nuvärdet på utsläppsreduktionen 24 miljarder SEK.

¹⁷ MAC-kurvan ska ses som en långsiktig marginalkostnadskurva, dvs den tar även hänsyn till investeringskostnaderna.

och MDC är den optimala utsläppsminskningens mängd OC , vilket kan uppnås med hjälp av en skatt på t_1 . Företagen släpper då ut CI , och statens intäkt från skatten är $ACIK$.

Antag att en ny teknologi som sänker den sammanlagda marginalkostnaden för utsläppsminskningar introduceras.¹⁸ Den marginella utsläppsminskningens kurvan faller till MAC_2 . Vilka samhällsekonomiska vinster och kostnader uppstår från denna förändring?

Den första förändringen är att utsläppsminskningens kostnaden sjunker. Om vi antar att företaget fortfarande renar till C så sjunker dess reningskostnad med ytan ABO . Vid punkt C överstiger dock skattekostnaden för företaget reningskostnaden och det är optimalt för företaget att öka reningen till mängden OH , och släppa ut HI . Statens skatteintäkt sjunker då med $ACIK - ACHF = FHIK$, och reningskostnaden ändras från ACO till FHO . Vid reningsmängden OH överstiger dock marginalkostnaden för rening marginalskadan med skillnaden FG . Förlusten från "för mycket" rening är ytan EFG . Det optimala är då att sänka skatten så att $MDC = MAC_2$, dvs till t_2 . Reningsmängden blir då OD och utsläppen DI , med en skatteintäkt till staten på $EDIJ$. Samhällsekonomiska vinsten från sänkningen i MAC -kurvan är ytan $AE0$ och består delvis av lägre reningskostnad (ABO) och av "vinsten" (konsument- plus producentöverskott) från en högre utsläppsminskning, ABE .

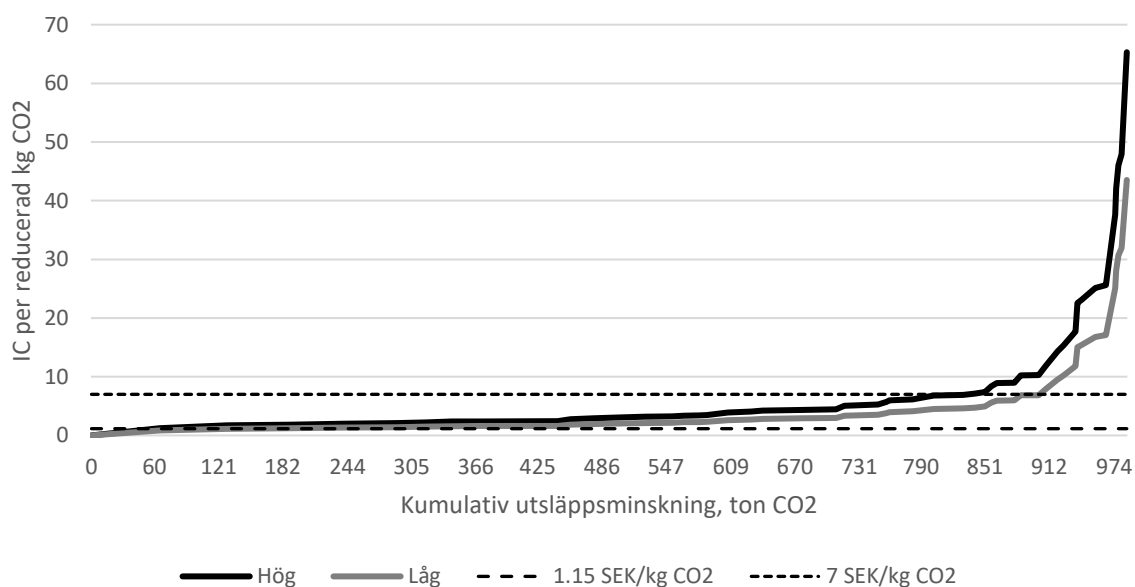
Verkligheten är naturligtvis mycket mer komplicerad. Antag att den ursprungliga skattesatsen inte är den samhällsekonomiskt optimala, utan ligger på en lägre nivå, exempelvis på $t = 1,15$ som ritat i figur 3.¹⁹ I detta fall ökar en sänkning i MAC -kurvan rening från ON till OO och reningsmängden, om än fortfarande för lågt utifrån ett samhälleligt perspektiv, närmar sig något den optimala. I detta fall uppstår en entydig vinst från sänkningen av marginalkostnadskurvan, delvis p.g.a. minskade reningskostnader (ytan $LM0$), delvis från ökad rening (ytan LMP). Samtidigt ändras dock reningskostnaden från LNO till POO .

Vidare är MDC -kurvan för klimatutsläpp inte känd. Således är det svårt att anpassa den optimala skattenivån till minskade marginella utsläppsreningskostnader, även om man från början hade klarat av att välja en optimal skattenivå. Vidare kan det i ett dynamiskt system finnas skäl att höja skattesatsen över tid, exempelvis om en ökad stock av koldioxid i atmosfären skiftar MDC -kurvan uppåt. Det vi kan ta med oss från figur 3 är dock insikten att nya teknologier som skjuter MAC -kurvan högerut och neråt leder till en högre reningsmängd för varje given skattesats. Därmed skulle introduktionen av elvägar kunna öka möjligheterna för utsläppsminskning och sänka marginalkostnaderna för detta.

¹⁸ Den nya teknologin måste inte ha lägre marginalkostnad än den första.

¹⁹ Tas exempelvis målet om noll nettoutsläpp till år 2045 som ett samhällsekonomiskt optimalt mål så är dagens koldioxidskatt för låg.

Den kortsiktiga marginalkostnaden för elvägar består av elkostnaden inklusive elöverföringskostnaden, vägslitage, olyckor, partikelutsläpp, buller osv. I det mån som kostnaden för el som drivmedel understiger kostnaden för diesel kommer denna marginalkostnad understiga marginalkostnaden för dieseldrivna fordon.²⁰ På kort sikt skulle därför elvägar minska marginalkostnaden för utsläppsminskning. Däremot väcks frågan om den långsiktiga marginalkostnaden, vilket aktualiserar frågan om investeringskostnadens storlek. För att belysa frågan visas i figur 4 den genomsnittliga investeringskostnaden på olika vägsnitt genom olika län per reducerat kilogram koldioxidutsläpp. Ett antal antaganden ligger bakom figur 4. För att få en uppfattning om investeringskostnaden på elvägar per kilometer används information från avsnitt 2 om Trafikverkets investering på ett elvägpilotprojekt. Således har Trafikverket reserverat 300 miljoner SEK för ett till två demonstrationssträckor på 20-30 km, utifrån att minst hälften av investeringen medfinansieras av andra aktörer. Detta ger en uppskattad totalkostnad för investeringen på 600 miljoner SEK. Beroende på om totalsumman räcker till 20 kilometer (scenario hög kostnad) eller 30 kilometer (scenario låg kostnad) väg uppgår investeringskostnaden till mellan 20 och 30 miljoner SEK per kilometer elväg.²¹



Figur 4. Genomsnittlig investeringskostnad på elvägar per reducerat kilogram CO₂.

Vägsnitten som används i konstruktionen av figur 4 är samma som användes ovan för utsläppsminskingsberäkningarna. Även utsläppsminskingspotentialerna tas från analyserna ovan, givet 2018-års drivmedelsblandning. Således multipliceras först väglängd med investeringskostnaden

²⁰ Dessutom lär elbilar minska bullerproblematiken och delvis även partikelutsläppen.

²¹ Investeringskostnaden för elvägen i Sandviken är däremot betydligt högre – 2 kilometer väg har kostat 117 miljoner SEK.

(hög eller låg) per kilometer. Därefter delas den totala investeringskostnaden med utsläpp i kilogram CO₂. Några till antaganden ligger bakom figur 4, nämligen att investeringen håller i 40 år, att 33 procent av den tunga trafiken kommer att köra med el, och att transportmängderna hålls konstanta över hela 40-årsperioden. Investeringskostnad per reducerat koldioxidkilogram har med andra ord räknats fram utifrån formeln

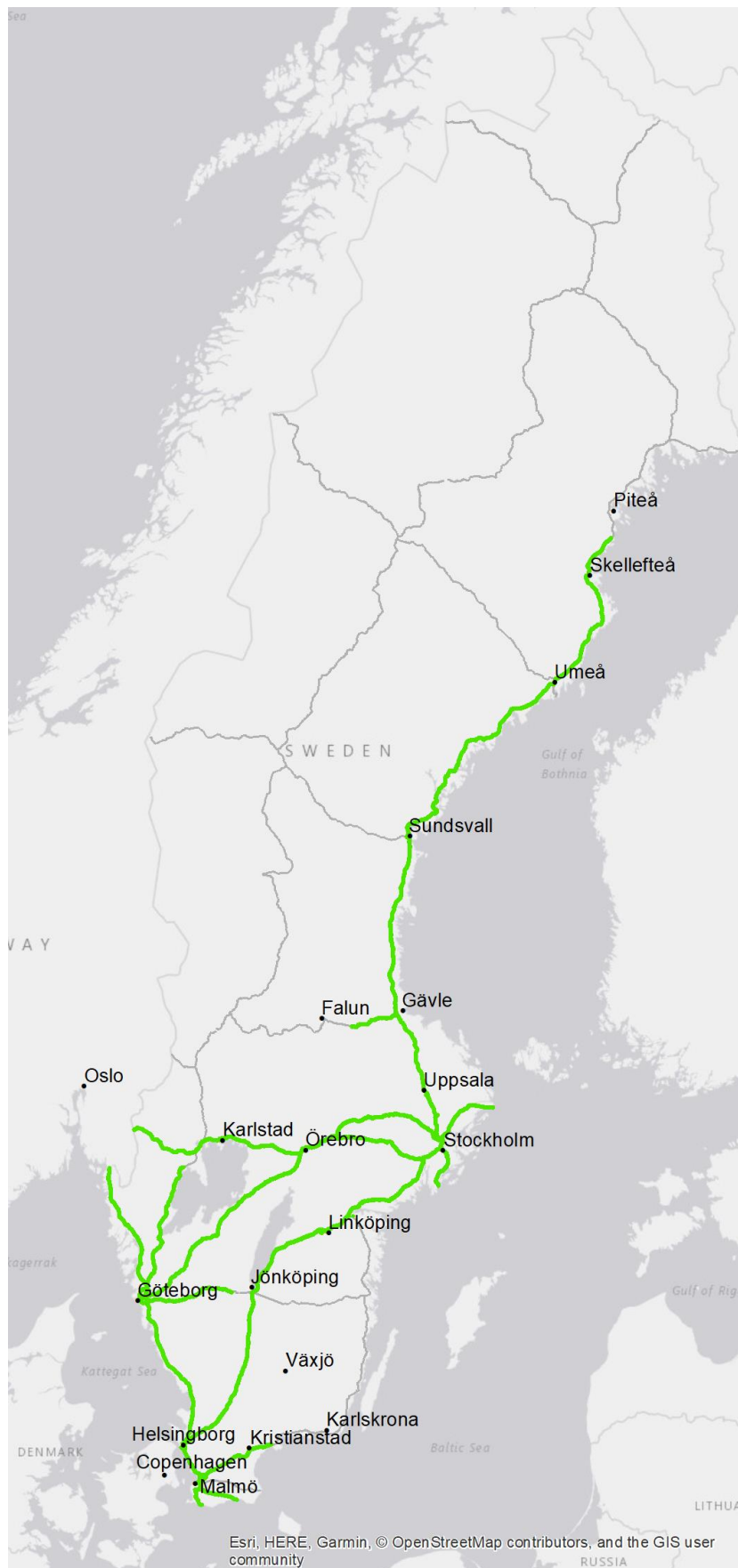
$$\frac{IC}{kg\ CO_2\ reduktion} = \frac{väglängd_{lv}\ km \times IC\ \frac{kr}{km}}{livslängd\ år \times totalutsläpp_{lv}\ \frac{kg\ CO_2}{år} \times andel\ elbilar}$$

Till skillnad från nyvärdeskalkylen i avsnitt 4 har alltså utsläppsmängden inte justerats för före och efter 2030. Varken investeringskostnaden eller intäktsströmmarna har diskonterats. Två till linjer har ritats i figur 4, den år 2019 gällande koldioxidskattesatsen på 1,15 SEK per kg CO₂, och den nya ASEK-värderingen av koldioxid på 7 SEK per kg CO₂ som börjar gälla den 1 april 2020.

Investeringskostnaden per minskat kilogram koldioxidutsläpp enligt figur 4 ligger under nuvarande koldioxidskatt (1,15 SEK per kg CO₂) enbart för scenariot med låg investeringskostnad (20 miljoner SEK/km) på E4 i Stockholm (0,83 SEK/kg CO₂) och E6 i Skåne (1,14 SEK/kg CO₂). Annars ligger kostnaden alltid över koldioxidskattesatsen.

Däremot skulle en koldioxidvärdering på 7 SEK per kg CO₂ öppna för en omfattande utbyggnad av elvägar, även om kostnaden per kilometer elväg var hög, dvs 30 miljoner SEK/km. Dessutom skulle dessa täcka merparten av de potentiella utsläppsminskningarna, 830 kton CO₂ av totalt maximala 987 kton CO₂ (på 33 procents elanvändningsgrad, de totala utsläppen beräknas till 2 990 kton CO₂). Vilka vägar som har en genomsnittlig investeringskostnad per reducerat kilogram CO₂ som ligger under 7 SEK per kg CO₂ givet en investeringskostnad på 30 miljoner SEK/km visas i figur 5. Bilden skiljer sig avsevärt från scenarierna 1 och 2, framförallt är det potentiella elvägsnätet enligt figur 5 betydligt större än ens det mest generösa scenariot 2 i figur 2. Således föreslår figur 5 bland annat att hela E18 mot den norska gränsen, genom Värmland skulle kunna elektrifieras, likaså E45 genom Västra Götaland, E20 genom Södermanland och Västmanland samt E4 genom Västerbottens län, förbi Skellefteå.

Baserad på de beräkningar som ligger till grund för figur 4 verkar det som att det skulle kunna vara samhällsekonomiskt lönsamt att påbörja utbyggnationen av elvägsnätet, åtminstone i Stockholm och Skåne, givet att kostnaden per kilometer elväg ligger närmare den lägre än den högre gränsen. Investeringskostnaden som användes till beräkningarna gäller för ett pilotprojekt och kan förväntas sjunka med ökad teknologisk mognad. Det är således inte uteslutet att det i framtiden kan bli samhällsekonomiskt lönsamt att bygga ut elvägsnätet i en betydligt större utsträckning.



Figur 5. Elvägsnätet utifrån figur 4 och ett koldioxidvärde på 7 kronor per kg CO₂.

6. Sammanfattning och slutsatser

Vi sammanfattar beräkningar för utsläppsminskningspotential av koldioxid från tunga lastbilstransporter (över 3,5 ton) om vissa sträckor på de svenska europavägarna och vissa riksvägar elektrifierades. Om alla europavägar och de fyra tyngst trafikerade riksvägarna elektrifierades och all tung trafik gick på el (scenario alla) blir utsläppsminskningen mellan 1 360 och 2 990 kiloton CO₂ per år beroende på inblandningsgraden av biodrivmedel i diesel. Detta kan jämföras med de totala utsläppen från tunga lastbilstransporter år 2017 på 3 326 kton CO₂ (Naturvårdsverket, 2018).

Av större intresse är dock scenarierna 1 och 2 som bara omfattar delar av europavägsnätet och två riksvägssektioner. Scenario 1 antar minst 2 740 fordonspassage per dygn och att andelen lastbilar som körs på el är så stor som krävs för att investeringen i elväg är lönsam enligt utredningen Fossilfrihet på väg (SOU 2013:84), dvs att 33 procent av de tunga transportererna på de elektrifierade vägvagnsnitten använder el som drivmedel. Scenario 2 förutsätter minst 2 192 fordonspassager per dygn men att 41 procent av de tunga transportererna skulle använda el på det något utvidgade elvägsnätet för att komma upp till lönsamhetskravet på 900 fordon per dygn. Det fjärde scenariot beräknar utsläppsminskningspotentialen för sträckan Gävle-Södertälje längs E4.

Utsläppsminskningspotentialer räknas fram för två drivmedelsblandningar. Den första motsvarar ungefär situationen år 2018, nämligen 79 procent diesel, 6,5 procent FAME och 14,5 procent HVO. Den andra motsvarar det som Energimyndighetens (2019b) reduktionspliktsscenario prognostiserar behövs till 2030 för att uppfylla reduktionspliktens mål, nämligen 27,5 procent diesel, 6,5 procent FAME och 65,8 procent HVO. Ingen hänsyn tas till rimligheten i Energimyndighetens scenario, dvs varken till utsläppskoefficienten för HVO som kan komma att höjas när palmolja och PFAD i HVO förbjuds, och tillgången till tillräckliga mängder HVO.

Den totala utsläppsminskningspotentialen för scenario 1 med dagens drivmedelsblandning är då 1 731 kton CO₂ per år om alla tunga transporter på elvägarna kördes med el. Om 33 procent av de tunga fordonen körs med el är utsläppsminskningspotentialen 577 kton till ett värde på 664 miljoner SEK per år beräknad med dagens koldioxidskattesats på 1,15 SEK/kg CO₂. Den totala potentialen med 2030-års drivmedelsblandning är 787 kton CO₂ per år, och potentialen vid 33 procents elanvändningsgrad är 262 kton CO₂ per år till ett värde på 301 miljoner SEK per år. Det diskonterade nuvärdet på detta beräknas till ca 8,7 miljarder SEK över en 40-årsperiod.

Den totala utsläppsminskningspotentialen för scenario 2 med dagens drivmedelsblandning är 2 013 kton CO₂ per år. Om 41 procent av de tunga fordonen körs med el är utsläppsminskningspotentialen

i scenario 2 med dagens drivmedelsblandning 825 kton CO₂ per år till ett värde på 949 miljoner SEK per år. För drivmedelsblandningen år 2030 är den totala utsläppsminskningspotentialen 916 kton CO₂ per år, och vid 41 procents elanvändningsgrad är det 375 kton CO₂ per år till ett värde på 431 miljoner SEK per år. Detta har ett diskonterat nuvärde på ca 12,5 miljarder SEK över en 40-årsperiod. Utsläppsminskningspotentialen för scenariot Gävle-Södertälje med dagens drivmedelsblandning är 260 kton CO₂ per år, och med 2030 års drivmedelsblandning 118 kton CO₂ per år om alla transporter körs med el. Det diskonterade nuvärdet med 33 procents elanvändningsandel och över 40 år är då 3,9 miljarder SEK.

En mycket förenklad samhällsekonomisk analys tyder på att elvägarnas samhällsekonomiska lönsamhet beror på det värde på koldioxidutsläpp som används. Även med dagens koldioxidskatt på 1,15 SEK per kg CO₂ skulle det vara samhällsekonomiskt lönsamt att elektrifiera E4 genom Stockholms län och E6 genom Skåne län, givet att kostnaden ligger på ungefär 20 miljoner SEK per vägkilometer elektrifierad väg. Huruvida elektrifieringen av sådana korta vägavsnitt skulle vara lönsamt i ett systemperspektiv framgår dock inte från analysen i denna studie – sannolikt behövs längre sammanhängande elvägar för att företagen ska investera i elfordon som kan utnyttja infrastrukturen. Analysen ger ändå en indikation om var utbyggnaden skulle kunna påbörjas, och i vilken ordning som elektrifieringen skulle kunna genomföras. Således är de projekt som ligger näst i ordningen för lönsamhet E6 genom Halland och Västra Götaland – kostnaden för dessa ligger i intervallet 1,21-1,60 kr per reducerad kg CO₂, och E4 från Stockholm, Södermanland, Östergötland, Jönköping, Kronoberg och till Skåne, med kostnader på mellan 1,32 och 2,38 kr per reducerad kg CO₂.

En avslutande observation som kan göras utifrån genomgången av pågående försöksprojekt är att majoriteten av dessa projekt – och framförallt projekten i Tyskland – verkar satsa på en redan beprövad teknologi, nämligen konduktiv elöverföring från kontaktledning. Liknande teknologier har ju använts i årtionden i olika städer med trådbussar. Vad denna fokus på en existerande teknik beror på framgår inte från de källor som lästs. Teknologin har dock sina begränsningar, framförallt att det blir svårt för eldrivna personbilar och även mindre kommersiella fordon att koppla sig till en högt hängande kontaktledning. Därför skulle det kunna vara bra om de offentliga resurserna satsades på de mindre beprövade men utifrån en bred användningsbas mer lovande teknologierna, exempelvis (antingen konduktiv eller induktiv) laddning från en vägskena. Exempelvis pågår det ett försök på Gotland med induktiv elöverföring från en vägskena.

Förutom behovet av att minska klimatgasutsläpp från tunga lastbilstransporter kommer även andra skeenden påverka godstransporterna på ett påtagligt sätt i framtiden. Den främsta är sannolikt möjligheten till självkörande fordon, vilket skulle avsevärt kunna minska lönekostnaderna men även

drivmedelsförbrukningen om utvecklingen leder till ökad s.k. platooning (Fagnant & Kockelman, 2015; Bullis, 2011; Faisal, Yigitcanlar, Kamruzzaman, & Currie, 2019). Det är sannolikt att de största miljövinster skulle göras ifall de självkörande lastbilarna använde el som drivmedel, men under vilka förutsättningar som detta är fallet måste studeras vidare.

Referenser

- Bergman, S. (2011). *Elvägar - en studie av elförsörjningen för landsvägbaserad trådbunden transport*. Elforsk.
- Bullis, K. (2011). *How vehicle automation will cut fuel consumption*. MIT Technology Review.
- Börjesson, P. (2016). *Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi*. Lund: Lund University. Department of Technology and Society. Environmental and Energy Systems Studies.
- DW. (2019). *Germany tests first eHighway autobahn*. Hämtat från <https://www.dw.com/en/germany-tests-first-ehighway-autobahn/a-48632817> den 20 09 2019
- eHighway.sh. (2019). *Field Test eHighway Schleswig-Holstein (FESH)*. Hämtat från <https://www.ehighway-sh.de/de/ehighway.html> den 20 09 2019
- Energimyndigheten. (2018). *Transportsektorns energianvändning*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/transportsektorns-energianvandning/> den 20 09 2019
- Energimyndigheten. (2019a). *Växthusgasutsläpp*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/> den 18 09 2019
- Energimyndigheten. (2019b). *Komplettering till Kontrollstation 2019 för reduktionsplikten. Kontrollstation 2019 för reduktionsplikten*. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A*, 77, 167-181. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>
- Faisal, A., Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., & Currie, G. (2019). Understanding autonomous vehicles: A systematic literature review on capability, impact, planning and policy. *The Journal of Transport and Land Use*, 12(1), 45-72. doi:<http://dx.doi.org/10.5198/jtlu.2019.1405>
- Grontmij. (2010). *Elektriska vägar - elektrifiering av tunga vägtransporter*. Grontmij AB på uppdrag av Energimyndigheten och Trafikverket.
- Haraldsson, M. (2010). *Elektrifiering av E4 Södertälje-Helsingborg - översiktlig samhällsekonomisk kalkyl*. Grontmij AB.
- Hårdell, O. (1996). *Potential för energieffektivisering av godstransporter*. Högskolan Dalarna. Centrum för transport och samhällsforskning.
- Kågeson, P. (2018). *Svensk biodrivmedelsförbrukning i ett europeiskt perspektiv*. Nature Associates.

- Naturvårdsverket. (2018). *Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/> den 21 08 2019
- Ranch, P., & Snygg, J. (2013). *Lokalisering-, intressent- och finansieringsutredning för en demomiljö av elvägar*. Svenska Elvägar AB.
- Sandviken Pure Power. (den 09 10 2019). *Världens första elväg*. Hämtat från <https://sandvikenpurepower.se/elvag.html>
- Scania. (2018a). *Scania to supply 15 trucks for German e-highways*. Hämtat från <https://www.scania.com/group/en/scania-to-supply-15-trucks-for-german-e-highways/> den 20 09 2019
- Scania. (2018b). *Towards a 'zero impact' eHighway*. Hämtat från <https://www.scania.com/group/en/towards-a-zero-impact-ehighway/> den 20 09 2019
- SOU 2013:84. (2013). *Fossilfrihet på väg*. Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- Steen, P. (1997). *Färder i framtiden: transporter i ett bärkraftigt samhälle*. Stockholm: Kommunikationsforskningsberedningen.
- The Local. (2019). *Germany's first electric Autobahn for hybrid trucks opens near Frankfurt*. Hämtat från <https://www.thelocal.de/20190507/germanys-first-electric-autobahn-for-hybrid-trucks-opens-near-frankfurt> den 20 09 2019
- Trafikanalys. (2019). *Körsträckor med svenskregistrerade fordon*. Hämtat från <https://www.trafa.se/vagtrafik/korstrackor/> den 20 09 2019
- Trafikverket. (2017). *Nationell färdplan för elvägar*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2018a). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1. Kapitel 14 Operativa trafikeringkostnader för godstransporter*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2018b). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2019a). *Program Elvägar*. Hämtat från <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/forskning-och-innovation/aktuell-forskning/transport-pa-vag/elvagar--ett-komplement-i-morgondagens-transportsystem/> den 20 09 2019
- Trafikverket. (2019b). *Beslut taget om nya demonstratorer för elväg*. Hämtat från <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/forskning-och-innovation/aktuellt-om-forskning-och-innovation2/2019-04/beslut-taget-om-nya-demonstratorer-for-elvag/> den 20 09 2019
- WSP. (2013). *Elektrifierade vägar för tunga godstransporter - underlag till färdplan*. WSP Sverige AB.