



Energieeffektiv järnväg: Styrmedel mot klimatmålen

SLUTRAPPORT

VERSION 1.0



Oskar Fröidh

Emil Jansson

KTH, avd. för transportplanering

Stockholm

TRITA-ABE-RPT-2133

KTH A-2021-1843
Trafikanalys Utr 2021/29

Versionshistorik av slutrapport

<i>Datum</i>	<i>Version</i>	<i>Åtgärd</i>
2021-10-20	0.4	Utkast (koncept) till Trafikanalys för synpunkter
2021-11-03	1.0	Slutrapport

Förord

Järnvägen är ett transportmedel som har låg energianvändning för resor och transporter, i alla fall så länge volymerna är stora. Regeringsuppdraget att ta fram underlag till den kommande klimatpolitiska handlingsplanen har lett till att vi får göra en genomgång av dagens järnvägstrafik som en del av transportsektorns klimatomställning, på uppdrag av Trafikanalys.

I arbetet vid KTH, avdelningen för transportplanering vid ABE-skolan, har Oskar Fröidh varit projektledare och huvudförfattare, medan Emil Jansson har gjort studier av elektrifiering, energianvändning och fordon inom järnvägssektorn.

Det är vår förhoppning att materialet ska komma till god användning.

Till sist vill vi tacka projektledarna Pia Sundbergh och Lennart Thörn vid Trafikanalys för ett gott samarbete!

Stockholm i oktober 2021

Oskar Fröidh

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning.....	5
1. Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte	8
1.3 Avgränsning.....	8
1.4 Mål med uppdraget.....	8
2. Metod och genomförande.....	9
2.1 Projektets delar	9
2.2 Data och analys.....	9
2.3 Kvalitet	9
2.4 Genomförande	9
3. Förutsättningar för järnvägstrafik	10
3.1 Järnvägsspecifika förhållanden.....	10
3.2 Tågtrafikens ekonomi.....	11
3.3 Energianvändning vid tågtrafik	15
3.4 Energikällor för tåg.....	16
3.5 Utblick över klimatmålen i Europa.....	21
4. Energieffektiv järnväg	22
4.1 Järnvägsnätet	22
4.2 Planerad elektrifiering.....	24
4.3 Tågtrafikens energianvändning	25
4.4 Typer av dieseltrafik	28
5 Andra mindre energiförbrukare inom järnvägen.....	31
5.1 Arbetsmaskiner vid drift och underhåll	31
5.2 Elanvändning i fasta anläggningar	31
5.3 Lokalisering av depåer och verkstäder	32
5.4 Museitågstrafik	32
6. Möjliga styrmedel.....	35
6.1 Behov av styrmedel	35
6.2 Effekter av styrmedel.....	37
7. Diskussion och slutsatser	39
8. Referenser.....	41

Sammanfattning

Syftet med projektet och rapporten är att analysera och ge förslag till åtgärder som leder till klimatomställningen inom järnvägstrafiken. Etappmålet är 70 % utsläppsreduktion till 2030 och nollutsläpp från transporter år 2045. Fokus ligger på styrmedel för att nå målen, men i uppdraget har förslagen till styrmedel tagit fram utan kvantitativ analys vilket innebär att det återstår arbete med underlaget för beslut.

Den svenska järnvägen och trafikering av den står idag för 0,3 % av transportsektorns utsläpp av växthusgaser. Det är främst dieseldriven tågtrafik som bidrar, medan elkraften som svarar för huvuddelen av energianvändningen är befintlig vattenkraft utan direkta utsläpp.

För att nå klimatmålen föreslås att reduktionsplikt (att ersätta dieselbränsle med flytande biobränsle) införs även inom järnvägen från 2023. För de flesta nyare fordon kan det fungera utan ombyggnader. Det skulle dock kunna få negativa konsekvenser i form av kostnader för ombyggnad eller nyanskaffning av fordon särskilt för godstrafik, som i vissa fall inte kan bäras av operatören. För att lindra konsekvenserna föreslår vi övergångsregler. Tågtrafiken kan dock i vissa fall komma att upphöra och trafik överflyttas till lastbil vilket är kontraproduktivt ur klimatsynpunkt eftersom lastbilstransporter drar 3-5 gånger mer energi. Som kompensation föreslås kilometerbaserade vägavgifter för lastbilstrafiken, alternativt nedsatta banavgifter för godstrafiken som kan bidra till överflyttning av gods till järnväg.

Vidare finns det potential för snabbare utfasning av dieselbränsle i upphandlad trafik. De regionala kollektivtrafikhuvudmännen respektive Trafikverket kan ställa krav på total övergång till biobränsle eller andra driftformer som batterieldrift eller vätgaseldrift för att nå nollutsläpp, troligen redan till 2030.

Fortsatt elektrifiering av järnvägsnätet är också angeläget eftersom eldrift ger så mycket lägre trafikeringkostnader och stärker järnvägstrafikens konkurrenskraft. Vi föreslår ett statligt investeringsbidrag att elektrifiera det kapillära bannätet, det vill säga industrispår, godsterminaler och hamnar med andra spårinnehavare än Trafikverket. För att bidrag ska komma ifråga behöver dock nyttorna visas. Systemfördelen med helelektrifiering är stor, men å andra sidan avtar marginalnyttan med varje tillkommande spår där trafiken är liten.



Figur 1. Eldrivet regionaltåg, Norrtåg, i Hörnefors på Botniabanan. Foto: Oskar Fröidh

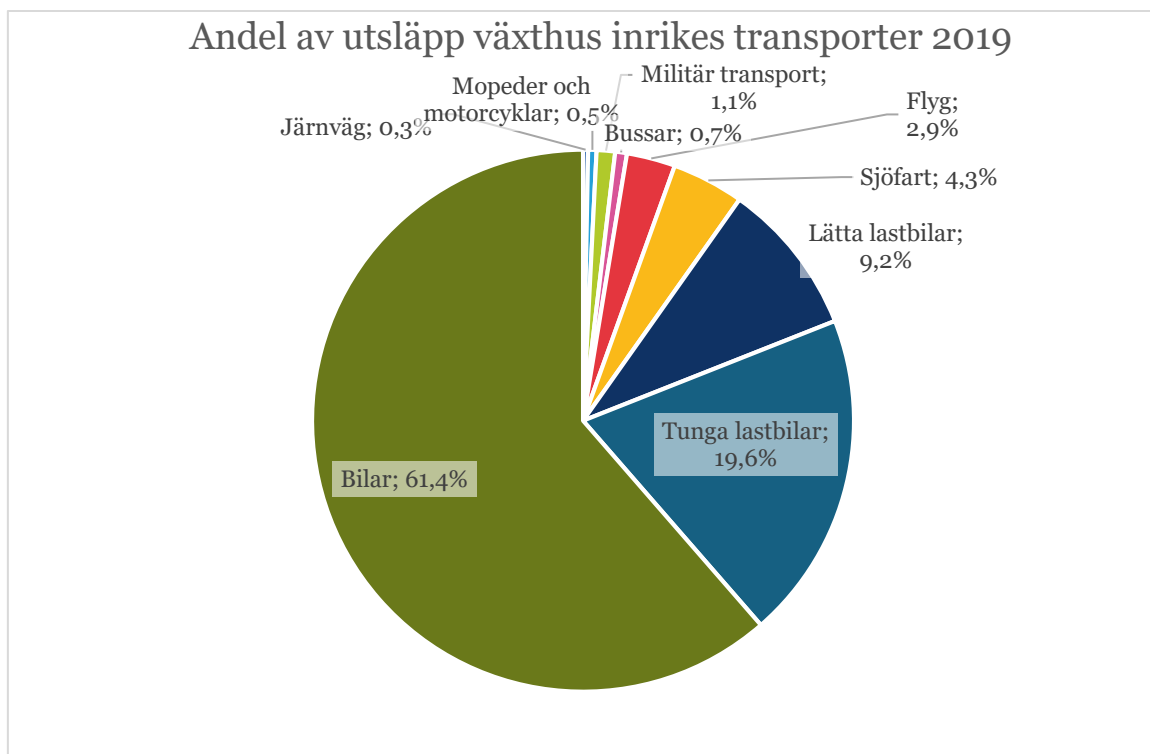
1. Inledning

1.1 Bakgrund

KTH har fått uppdraget att studera energieffektiviteten i järnvägstrafik av Trafikanalys. Trafikanalys har i uppdrag av regeringen att inför den kommande klimatpolitiska handlingsplanen ta fram underlag med analyser och förslag som leder till transportsektorns klimatomställning. I regeringsuppdraget ingår att

- analysera och föreslå hur befintliga styrmedel och kombinationer av dessa kan utvecklas så att den samlade styrningen bidrar till att nå etappmålet för inrikes transporter till 2030 och i princip nollutsläpp från transporter 2045, samt
- identifiera möjliga utsläppsminskningar och utforma förslag på nya styrmedel och åtgärder som syftar till att den samlade styrningen bidrar till att nå etappmålet för inrikes transporter till 2030 och i princip nollutsläpp från transporter 2045.

Den svenska järnvägen och trafikering av den står idag för en liten del av transportsektorns utsläpp av växthusgaser. Icke desto mindre kan det finnas områden där järnvägssektorn kan energieffektiviseras och därmed minska sina utsläpp.



Figur 2 Andel av utsläpp av växthusgaser för inrikes transporter 2019. Järnväg svarar för 0,3 %. Källa: Naturvårdsverket, 2021 med författarnas bearbetning

1.2 Syfte

Syftet är att bidra till att nå klimatmålen för järnvägen som en del av transportsektorn. Det kan uppnås genom att översiktligt kartlägga den svenska järnvägens energianvändning och klimatutsläpp och söka finna de största utsläppskällorna. Därefter ge förslag till styrmedel för att nå klimatmålen i de fall kartläggningen finner relativt stor energianvändning eller klimatutsläpp som väsentligen kan minskas med dessa styrmedel.

1.3 Avgränsning

Fokus ligger på dagens fordon, det befintliga järnvägsnätet och trafikering av detta. Det ingår inte att titta på byggande av järnväg eller utsläpp från till exempel uppvärmning av byggnader och fastigheter som hör järnvägen till. Det ingår heller inte att studera överflyttning av transporter till järnvägen från mindre energieffektiva trafikslag. Arbetsmaskiner som används vid järnvägens drift och underhåll ingår inte heller här utan hanteras som andra arbetsmaskiner i motsvarande arbete av Tillväxtanalys.

1.4 Mål med uppdraget

Rapporten i uppdraget ska kunna tjäna som underlag för fortsatta studier och överväganden om styrmedel inom transportsektorn, specifikt rörande järnväg, för att kunna uppnå klimatmålen.

Redovisningen ska vara transparent och rapporten följer i princip vetenskaplig men något förenklad praxis när det gäller upplägg och referenser.

2. Metod och genomförande

2.1 Projektets delar

Studien innehåller en genomgång av förutsättningar för järnvägstrafiken i Sverige när det gäller energianvändning och klimatutsläpp. Utifrån insamlade uppgifter drar författarna slutsatser om lämpliga styrmedel för att uppnå klimatmålen.

2.2 Data och analys

De data som samlas in är i de flesta fall officiell statistik. Det finns också underliggande data i en kostnadsmodell för persontrafik som använts för energiberäkningar som inte kan redovisas i detalj av kommersiella skäl (Fröidh och Berg, 2019 & 2021).

När det gäller textkällor och faktauppgifter har vi använt branschkunskap, intervjuer och sökning på internet för att få fram uppgifterna. Ett fåtal akademiska tidskriftsartiklar ingår men huvuddelen utgörs av så kallat grått material, det vill säga icke granskat material men som har aktualitet och tydlig praktisk inriktning.

2.3 Kvalitet

Kvaliteten i arbetet speglar dels kvaliteten på data, dels analysmetoder. Det finns vissa brister i datakvalitet framför allt i kostnadsmodellen men inga kända systematiska avvikelser från verkliga förhållanden. Detta är ett mindre uppdrag med begränsad tid att söka data och andra faktauppgifter vilket också medför en risk att det finns ofullständiga delar i rapporten. Det finns följaktligen behov av att studera flera frågor djupare för att få ett användbart beslutsunderlag. Och särskilt kvantitativ analys av effekterna av föreslagna styrmedel. Vi bedömer dock att våra slutsatser med ledning av praktisk erfarenhet i huvudsak återspeglar verkliga förhållanden.

2.4 Genomförande

Uppdraget har genomförts vid KTH i Stockholm av Oskar Fröidh, universitetslektor i järnvägssystem, och Emil Jansson, doktorand, vid avd. för transportplanering vid skolan för arkitektur och samhällsbyggnad (ABE).

Kontaktpersoner och ansvariga hos Trafikanalys har varit Pia Sundbergh och Lennart Thörn.

3. Förutsättningar för järnvägstrafik

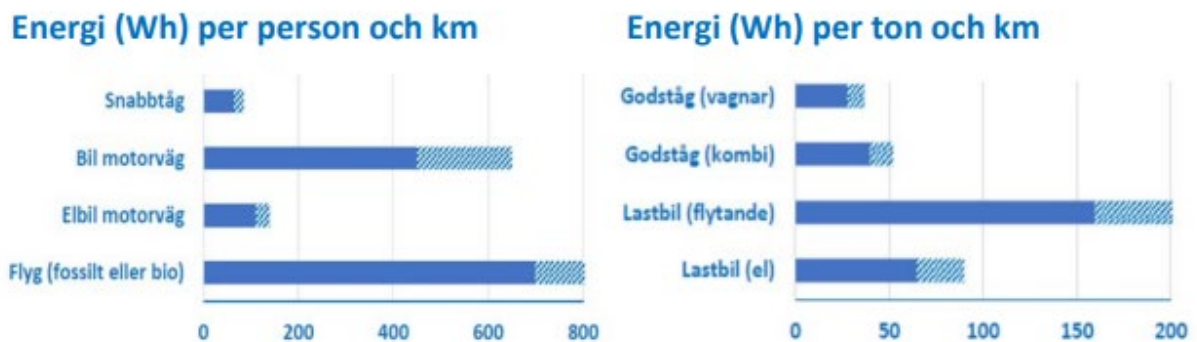
3.1 Järnvägsspecifika förhållanden

Järnvägstrafik kräver ett starkt civilsamhälle med organisation och stöd på många plan för att fungera. Det är visserligen ett färdmedel som etablerades i världen för 150-200 år sedan men järnvägen har successivt anpassats till ändrade trafikuppgifter i takt med den tekniska utvecklingen och samhällets utveckling.

Några förhållande som skiljer järnvägen från de flesta andra färdmedel är:

- Starkt kopplat system där bana och tåg tillsammans utgör järnvägen
- Spårburet, vilket kräver noggrann tidtabellsplanering men också har stor potential för automatisering
- Lågt gångmotstånd ger låg energianvändning, även i höga hastigheter
- Säkert genom målmedvetet arbete med att eliminera risker.

Av järnvägens egenskaper följer också att infrastrukturen och en viss miniminivå av standardisering är mycket betydelsefull för järnvägens kostnader och därmed attraktivitet. Även sammanhängande nätverk är betydelsefulla för efterfrågan, medan enstaka linjer inte ger samma systemeffekt.



Figur 3. Typisk energianvändning i person- och godstransporter på avstånd 10–100 mil. De skrafferade delarna av staplarna representerar variationer för olika förhållanden. Godståg antas i snitt ha 50 % beläggning av sin lastkapacitet; lastbilar antas ha 60 %. Flytande bränslen för bilar och flyg innebär både diesel och biodiesel. Eldrivna tåg och bilar använder förnybar el. Källa: Andersson et al. (2020), primär datakälla NTM (2020).

Energianvändningen för tågresande och tågtransporter är lägre än för alla alternativa färdmedel till lands (undantaget är långsam sjötrafik). Med ledning av Figur 3 (Andersson et al., 2020; primär datakälla NTM, 2020) framgår att energianvändningen för en tonkilometer¹ med lastbil med flytande bränsle vanligen är 3-5 gånger högre än samma transport med tåg, beroende av förutsättningarna. Elektrifieras lastbilen minskar skillnaden till 1,5-3 gånger men fortfarande till tågets fördel. Liknande förhållande råder för persontrafiken

¹ Transportarbete mäts i regel i tonkilometer, där 1 enhet betyder 1 ton transporterat 1 km

men där flyget också är ett alternativ till snabbtåg, dock med omkring 10 gånger högre energiförbrukning per personkilometer.

Järnvägen har ett stort historiskt arv i standarder och infrastruktur som kan vara en belastning. Ett exempel är elsystemet på elektrifierade banor. Det finns flera olika system i Europa som etablerats under olika tidsepoker och därför har fått olika systemstandard. Äldre system är sällan kostnadseffektiva eftersom de kan kräva täta inmatningspunkter eller svårtligen kan leverera tillräcklig effekt för tunga eller kraftigt accelererande tåg. Det skulle dock i regel bli för dyrt och besvärligt att byta elsystem i stora nät och man löser systemväxlingar med att utrusta lok och motorvagnar med flera elsystem. Det gör dock fordonen dyrare vilket belastar resenärer och godskunder i slutänden.

Många tekniska förändringar måste således omfatta alla banor och tåg, ofta i hela Europa av standardiseringsskäl. Det gör att kostnaderna för systemförändringar i regel blir stora och det bromsar utvecklingen inom järnvägen. Ett exempel är signalsäkerhetssystem. Inom EU drivs arbetet med ökad standardisering framför allt med ett gemensamt paneuropeiskt signalsystem, ERTMS, som ska ersätta alla andra system. Bytet i sig är dock kostsamt och har blivit en ekonomisk och genomförandemässig belastning, särskilt för mindre aktörer.

Järnvägen har också många positiva egenskaper som särskilt är av betydelse när det gäller hållbar utveckling: Låga transportkostnader för stora flöden av godstransporter och personresor, låg energianvändning och säker trafik.

3.2 Tågtrafikens ekonomi

Persontrafik

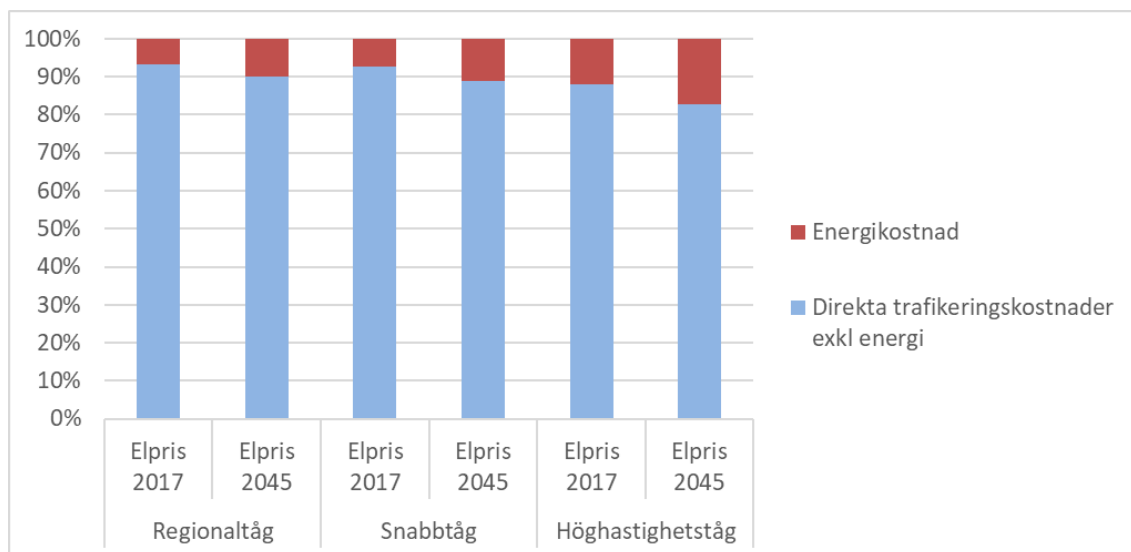
Persontrafik på järnvägen handlas dels upp på uppdrag av de regionala kollektivtrafikmyndigheterna (RKM), dels kommersiell interregional persontrafik i egen regi. Det finns även några statligt upphandlade nattågslinjer. Konkurrens mellan operatörerna gör att producentöverskottet i allmänhet är blygsamt. Men det finns också exempel på att ensamrätt (Arlanda Express) eller ett etablerat, attraktivt utbud (till exempel SJ X 2000) kan ge god avkastning, i alla fall före coronapandemin.

Det finns priskänsliga marknadssegment vars efterfrågan påverkas kraftigt av prisförändringar. I första hand är det låginkomsttagare som inkluderar studenter och en del pensionärer. Många människor med arbete är dock relativt sett mer känsliga för restiden än för motsvarande prisförändring. Kortare restider ger fler resenärer, och kortare restider ger också lägre produktionskostnader i tågtrafiken. För kommersiell trafik och för att bibehålla låga priser även i upphandlad trafik är det därför viktigt att tågtrafiken är snabb, med höga topphastigheter och få stopp.

Tåg har lågt rullmotstånd och med lämplig aerodynamisk utformning lågt luftmotstånd. Höga topphastigheter i sig ger därför inte någon anmärkningsvärd tillkommande energianvändning så länge som tågtypen är

anpassad till hastigheten. Däremot drar acceleration energi. Å andra sidan kan eldrivna tåg återmata en del bromsenergi till nätet, vilket varierar mellan olika tågslag och tågtyper men ofta ligger i storleksordningen 15-25 %.

En modellberäkning av trafikeringskostnaderna med olika elpriser (2017 som motsvarar 0,54 kr/kWh respektive 2045 som motsvarar 0,83 kr/kWh; Trafikverket, 2021a) har genomförts. Den visar att för eldriven tågtrafik är inte energianvändningen någon stor del utan motsvarar 6-12 % (elpris 2017) till 10-17 % (elpris 2045) av de direkta trafikeringskostnaderna (se Figur 4). I de direkta trafikeringskostnaderna ingår tidsbundna kostnader som kapitalkostnader och åkande personal, samt distansberoende kostnader som fordonsunderhåll, energi för framdrivning och komfort och terminalkostnader. Det som inte ingår i de direkta trafikeringskostnaderna är skatter och avgifter (banavgifter, punktskatter och moms), försäljningsomkostnader och administration (overhead) (Fröidh och Berg, 2019; Fröidh och Berg, 2021).



Figur 4. Modellberäknade direkta trafikeringskostnader för regionaltåg, framtida snabbtåg och höghastighetståg. Elpris 2017 var 0,54 kr/KWh och av Trafikverket uppskattat 2045 0,83 kr/kWh (exkl moms). Energikostnaderna uppgår till 6-12 % (2017) respektive 10-17 % (2045) av de direkta trafikeringskostnaderna. Källa: Egen modell (Fröidh och Berg, 2019; Fröidh och Berg, 2021).

En beräknad driftkostnadselasticitet med avseende på elpriset för drivning av tågen i persontrafik är runt 0,07, det vill säga att 10 % högre elpris ökar de direkta trafikeringskostnaderna med 0,7 %. För höghastighetståg på nya stambanor med topphastighet 320 km/h beräknas motsvarande elasticitet till 0,12.

Inlandsbanan som har övergått till HVO100 istället för diesel i sina motorvagnar och diesellok uppger att HVO100 är nästan tre gånger så dyrt som diesel. Trafikeringskostnaderna ökar då med 20-29 %, men det är obekant exakt vad man räknar in (Inlandsbanan, 2021c). Energimyndigheten antar att priset (2020) på fossil dieselloolja är 3,60 kr/l och på flytande biodrivmedel 16 kr/l i grundfallet och 9 kr/l i lågprisfallet. I utfasningsutredningen antas samma pris

på flytande biodrivmedel under hela utredningsperioden, till 2050, i 2018 års prisnivå (SOU 2021:48, s. 200).

Ett överslag av elasticiteten på direkta trafikeringskostnader med avseende på energipriset enligt Inlandsbanans uppgift ger värden mellan 0,10 och 0,15.

Godstrafik

Godstrafiken på järnväg är konkurrensutsatt dels på spåren eftersom järnvägssektorn är avreglerad eller liberaliserad, dels av andra färdmedel. Framför allt landsvägstrafik och i viss mån sjöfart i kombination med landtransport (till exempel fartyg och lastbil i ena eller båda ändar av transportkedjan) står för godskundernas alternativ till tågtransport. I tågtransporter finns det traditionella alternativet där kunderna har egna spår för lastning och lossning och vagnarna kan köras utan omlastning hela vägen, vilket i regel är fallet med vagnslast och systemtransporter inom Europa. Kombitransporter innebär däremot omlastning av lastbärare (containrar eller lastbilstrailrar) som kan transporteras på sjön samt på land med lastbil eller tåg, eller enbart lastbil och tåg (växelflak). I en analys av klimatbelastning bör således hela transportkedjan inklusive anslutande transporter analyseras.

En genomgång av boksluten för 2019 av tio godstrafikoperatörer i Sverige visar att de sammantaget gör en förlust på över 100 mnkr. Av förlusten svarade Green Cargo, den statligt ägda dominerande operatören, för 129 mnkr (Nyström, 2020). Green Cargo driver vagnslastssystemet som distribuerar lastade vagnar till godskunder inom och utom landet.

De flesta operatörer kör dessutom systemtåg, det vill säga hela godståg för en kund som genom stora volymer och rationella trafikupplägg får låga transportkostnader. Systemtåg är ofta lättare att få lönsamma än vagnslast eftersom järnvägstrafiken har relativt låga kostnader för stora mängder gods och konkurrensen från lastbilar då blir mindre. För vagnslasttrafik är det däremot strukturella förhållanden i produktionen som gör att den är mer konkurrensutsatt av lastbilar. Vagnslasttrafiken behöver också stora volymer för att kunna bedrivas med små enhetskostnader. Totalt transportarbete är omkring 7,5 miljarder tonkilometer i vagnslastssystemet som betjänar omkring 4000 destinationer. En bedömning av effekterna av långsammare tåg som ger högre produktionskostnader visar kraftiga transportminskningar i vagnslastssystemet (Trafikverket, 2019). Vi gör därför bedömningen att ökade kostnader för energi också skulle få negativt genomslag i minskad godstrafik på järnväg, främst vagnslast, såvida inte motsvarande kostnadsökningar också belastar lastbils- och fartygstransporter.

Den största andelen godstrafik (liksom persontrafik) på järnvägen är eldriven (se kapitel 4), men det som fortfarande är dieseldrivet har väsentligt högre driftkostnader främst för bränslet och för underhåll av fordonen. Dessutom är dieseldrift i regel långsammare än eldrift vilket i viss mån ökar personal- och kapitalkostnaderna. Uppskattningar beroende av dragfordon varierar med

mellan 40 % (Garcia Álvarez, 2015) och närmare 100 % (Tågab, 2021) högre driftkostnader för dieseldrift jämfört med eldrift.

Banavgifter

För att trafikera Trafikverkets järnvägsnät behöver olika typer av banavgifter betalas enligt principen att betala för marginellt slitage och nyttjande. Banavgifterna består av några olika komponenter.

Spåravgifterna är beroende på typ av trafik och tågets bruttovikt. Axellasten är en betydelsefull parameter som till en del är proportionell mot marginellt spårslitage.

Tabell 1 Spåravgifter Tågplan 2022. Källa: Trafikverket, 2021 f

Spåravgift			
	Medelaxellast	STAX-klass ¹ (om medelaxellast inte kan beräknas)	Avgift per bruttotonkilometer ²
Spåravgift godstrafik och tjänstetåg ³	≤10 ton	-	0,0105 kr
	>10 ton ≤17 ton	A	0,0117 kr
	>17 ton ≤25 ton	B, C, D, E	0,0128 kr
	>25 ton	F	0,0138 kr
Spåravgift persontrafik	≤17 ton	A	0,0180 kr
	>17 ton	B, C, D	0,0189 kr

- 1) Största tillåtna axellast (STAX) beror främst på banans standard; Anges i klasser A-F där A=16 ton och F=30 ton.
- 2) Bruttotonkilometer är vikten av tåget inklusive last (ton) multiplicerat med körda kilometer, som debiteras banavgift enligt marginalkostnadsprincipen
- 3) Tjänstetåg är interna transporter eller tomkörningar till depåer eller verkstäder.

Andra avgifter är beroende av tågslag, respektive var i järnvägsnätet tågen ska gå och benämns tåglägesavgifter och passageavgifter.

Tabell 2 Tågläges- och passageavgifter Tågplan 2022. Källa: Trafikverket, 2021 f

Tåglägesavgift	
	Avgift för tågkilometer
Tåglägesavgift bas för godstrafik, persontrafik och tjänstetåg	3,78 kr
Tåglägesavgift hög för godstrafik och tjänstetåg	8,00 kr
Tåglägesavgift hög för persontrafik	9,00 kr
Passageavgift	
	Avgift
Persontrafik och tjänstetåg som trafikerar område Stockholm	433 kr
Persontrafik och tjänstetåg som trafikerar område Göteborg	433 kr
Persontrafik och tjänstetåg som trafikerar område Malmö	433 kr

Banavgifterna har således ingen komponent som ger incitament att minska klimatutsläppen. Det har tidigare funnits en dieselavgift men den slopades.

Kapitalkostnader

Det finns några få stora operatörer på järnvägen både inom gods- och persontrafik, och flera små. Marknadssituationen efter liberaliseringen liknar ett oligopol. För operatörer med kapitalstarka ägare inklusive svenska staten för SJ AB och regionerna för de regionala kollektivtrafikhuvudmännen har det varit relativt lätt att skaffa kapital för nya fordon. Det har därför köpts många nya persontåg. Däremot är det svårare att få kapital till investeringar i godstrafikfordon, med några undantag. Vinstmarginalerna i godstrafiken är i regel små och reglerna för statsstöd inom konkurrensutsatta branscher begränsar möjligheterna. Det finns internationella aktörer som sysslar med att hyra ut eller leasa järnvägsfordon men även det kan ge en stor kostnad för operatörerna.

Ett exempel är lok för godstrafik. Det finns en andrahandsmarknad för lok där det framför allt är driftsäkra standardiserade svenska loktyper från 1960- och 1970-talen som finns tillgängliga nu. Loken, både el- och diesellok, kostar begagnade i intervallet 1-10 mnkr, vanligen 4-8 mnkr för ett lok användbart i linjetrafik (Tågab, 2021). Ett motsvarande nytt lok av internationell standard kan kosta 35-45 mnkr. Ett speciallok som de stora bimodala loken (det vill säga två drivmedel, se nedan) Green Cargo leasar kostar nytt 65-70 mnkr. De nyare loken har i regel bättre arbetsmiljö, högre driftsäkerhet, ger lägre buller och lägre utsläpp men kapitalkostnaden överstiger vad många operatörer kan betala med den konkurrens med lastbilstrafiken som råder på marknaden.

Ytterligare ett kapitalproblem är införandet av signalsäkerhetssystemet ERTMS där marknadssituationen gynnar stora operatörer som kan förhandla ned priset på serieleveranser från industrin. Det försätter dock mindre operatörer i svår situation där det krävs prototypinbyggnad av delsystemet ETCS vilket kostar betydligt mer (10-20 mnkr) än vad ett begagnat lok är värt (Tågab, 2021).

Den tågtrafik som utförs av mindre operatörer och på marginalen är följaktligen kostnads känslig.

3.3 Energianvändning vid tågtrafik

Energianvändningen för generella, framtida typtåg (2040) är modellberäknad för olika tågtyper i typisk persontrafik och typiska beläggningsgrader. Generellt sett ger trafikering med många uppehåll högre energianvändning, trots (viss) återmatning av bromsenergin. Det är en anledning till att pendeltågen har relativt sett höga värden per kilometer. Natttågen har också relativt sett högre energianvändning vilket främst beror på att nattåg har färre platser i varje vagn, det vill säga sämre utrymmesutnyttjande än dagtåg.

Bimodal drift² innebär att två (i vissa fall flera) olika energikällor kan användas för framdrivning. Det vanligaste är eldrift från kontaktledning i kombination med förbränningsmotor i regel för flytande bränslen för oelektrifierade sträckor.

² Bimodala fordon kallas också i Sverige för duofordon, men begreppet duofordon kan ibland användas för motorvagnar för trafik på både spårvägsnät och järnvägsnät vilket blir vilseledande när det gäller framdrivningsenergin.

Förbränningsmotorn kan också ersättas med eller kombineras med ett batteripaket.

Tabell 3. Modellberäknad energianvändning i persontrafik

Framtida tågtyp (2040)	Per sittplatskm (kWh/sittplkm)	Per personkm (kWh/personkm)	Vid medel- beläggingsgrad
Bimodal (två drivmedel) motorvagn vid förbränningsmotordrift (140 km/h)	0,02	0,07	35 %
Pendeltåg (160 km/h)	0,05	0,13	35 %
Regionaltåg (200 km/h)	0,03	0,06	50 %
Snabbtåg (250 km/h)	0,04	0,06	65 %
Höghastighetståg (320 km/h)	0,05	0,08	65 %
Nattåg (200 km/h)	0,06 (inkl sovplatser)	0,12	50 %

Källa: Fröidh och Berg, 2019 kompletterat med energianvändning.

Dieselförbrukningen i diesellok och motorvagnar varierar med belastning som antal uppehåll och tågvtikt. Några ungefärliga uppgifter är för större diesellok av äldre modell 40-45 l/mil med lastat godståg med ca 1000-1100 ton nyttolast, men 30-40 l/mil räknat på ett helt omlopp inklusive tomkörning. (Vida, 2021; Tågab, 2021).

En modell för att minska driftkostnaderna för tåg som behöver framföras till oelektrifierade terminaler, hamnar och andra delar av det kapillära nätet är att dra tåget med ellok på elektrifierad del av sträckan, men att ta med ett diesellok på släp i tåget som får sköta växlingen där det inte finns kontaktledning. Dieselloket av äldre modeller måste gå på tomgång för att hålla motorventilationen igång, och det förbrukar då 12-15 l dieselolja per timme (Tågab, 2021). Modellen med släplok är en nödlösning för att få ner kapitalkostnaderna jämfört med att köpa bimodala lok.

3.4 Energikällor för tåg

Eldrift

En stor del av järnvägsnätet är elektrifierat med kontaktledning över spåren (se mer i nästa avsnitt). Det ger möjlighet till direkt eldrift.

Elpriset förväntas stiga i framtiden, orsakat av en kraftig ökande efterfrågan i samhället bland annat för vägtransporter. Trafikverket (2021 a) har tagit fram en prognos som är underlag för de modellberäknade energikostnaderna i denna rapport. Det verkliga utfallet kan påverkas av omfattningen avlexport och elimport men slutsatsen är att en ökad efterfrågan kommer att höja elpriserna i framtiden.

Tabell 4. Trafikverkets prognos för framtida elpris (exkl. skatt och moms, prisnivå 2017) för tågtrafik (Trafikverket, 2021a)

2017: 0,54 kr/kWh
 2040: 0,81 kr/kWh
 2045: 0,83 kr/kWh
 2065: 0,93 kr/kWh

All el för tågtrafiken genereras av befintlig vattenkraft vilket klassificeras som grön el. Det betraktelsesättet har dels stöd i avtal med elleverantörerna, dels den historiska utbyggnaden av vattenkraften i Sverige från omkring 1910 som de första decennierna utfördes av staten till stor del motiverad av att kunna elektrifiera järnvägen.

Diesellojja

För tågtrafik där elektrifiering saknas, men även i viss mån under kontaktledning mellan oelektrifierade terminaler och hamnspår, används förbränningsmotorer som drivs med diesellojja. Diesel är ett användbart fossilt bränsle som i praktiken har blivit allena rådande för större motorer, men som nu behöver fasas ut. Det finns en etablerad struktur med tankställen på större stationer och i depåer, och diesel kan köpas på den öppna marknaden. Järnvägstrafiken betalar för närvarande ingen skatt på diesel.



Figur 5. Tankning av ett större diesellok med flyttbar hyrtank med pump. Foto: Oskar Fröidh

Förutom rena diesellok har det sedan något decennium utvecklats bimodala lok, med kontaktledningsel och dieseldrift. Dieselmotorn kan vara en lastbilsmotor för så kallad *last mile*-trafik, det vill säga växling in på terminaler eller hamnar.

Den kan också vara en fullstor dieselmotor för linjetjänst som matar lokets elmotorer där banan inte är elektrifierad. Ett exempel på det senare är ett par större bimodala lok som Green Cargo har leasat för godstrafik i Norge.

I Norge har Norske tog mottagit de första av en serie batterielektriska regionaltågsmotorvagnar som dessutom har dieselmotor. De kan därmed användas på järnvägsnätet oavsett elektrifiering. I planerna ingår att elektrifiera Trönderbanen till Stjørdal norr om Trondheim men dieseldrift norr därom så att regionaltrafiken får tillräckliga laddtillfällen (Svingheim, 2020).

Biodrivmedel

Diesel till förbränningsmotorer kan ersättas med flytande bränsle gjort på förnyelsebara råvaror. Enligt uppgifter kan HVO100 ersätta dieselolja utan vidare i flertalet dieselmotorer. Vinsten är ett fossilfritt bränsle som ger väsentligt lägre koldioxidutsläpp än dieselolja.

RME är värre, det kräver ombyggnad av en del av utrustningen. ULJ (2021) uppger att för de äldre dieselmotorer de har i trafik är Ecopar Bio att föredra.

För nya bränslen behöver produktion, distribution och tankställen längs järnvägen etableras. Det har införts längs Inlandsbanan där man också som infrastrukturförvaltare subventionerar användande av HVO100 genom lägre banavgifter (Inlandsbanan, 2021b). En annan användare är Värmlandstrafik som inför HVO100 i sin regionala persontrafik (Tågab, 2021).

Batterilagring av el

Batteritekniken har utvecklats så att det går att få relativt stor räckvidd i batteridrivna fordon. Batterier kräver dock uppladdning och den primära energikällan är då elgenereringen i nätet. I järnvägstrafiken finns en standardlösning för uppladdning redan etablerad, och det är kontaktledningen med högspänning för eldriften. Det ligger då nära till hands att använda hybridfordon eller bimodala fordon, som dels kan köra på direktel på elektrifierad bana, dels på batteriström på oelektrifierade sträckor. Dessa fordon kan vi kalla batterielektriska.

I hybridfordon är även uppladdning på annat sätt än kontaktledningsel tänkbart, till exempel med förbränningsmotor eller bränsleceller för att få större räckvidd på oelektrifierade banor. Det ger dock i allmänhet inte så stora vinster som uppladdning med direkt eldrift.

Batteridrift har utretts i till exempel Tyskland och Norge. Det handlar om regional persontrafik som idag är dieseldriven men som skulle kunna ersättas med batterieldrift. En studie från Ostsachsen förordar batterielektriska motorvagnar för oelektrifierade sträckor och på sikt ökad elektrifiering. Vätgasdrift är inte första handsval eftersom det inte har tillräckligt utvecklad infrastruktur för tillverkning och distribution av bränslet (VVO, 2021).

I Norge har järnvägssektorn utrett en deelektrifiering av Nordlandsbanan norr om Trondheim. Det innebär att man överväger begränsade sträckor med

kontaktledningselektrifiering, till exempel i längre lutningar och vissa stationer, och på så sätt kan använda dessa delsträckor för laddning av batterierna. Däremellan enbart batterielektrisk drift. Det sänker investeringskostnaderna för elektrifiering men ökar istället kostnaderna för fordonen. Jernbanedirektoratet, beställarorganisationen, förordar bimodal drift som inledningsvis kan vara el och diesel men som därefter kan bli batterielektriskt (Svingheim, 2021a).

Batterielektriska tåg finns redan i drift eller som koncept i flera tillämpningar. Även om batterielektrisk drift har begränsad räckvidd kan den vara mycket användbar att täcka korta eller medellånga oelektrifierade gap i infrastrukturen, både för gods- och persontrafik. Järnvägen i Sverige har en fördel i och med att kontaktledningsel för laddning finns att tillgå på många banor.

Vätgas

Vätgas är en högreaktiv gas som bildar vatten så fort gasen kommer i kontakt med syre, under avgivning av en stor mängd energi. Det utnyttjar man i bränsleceller som kan användas för elgenerering i tåg och andra fordon. Nackdelen är att vätgasen behöver mycket energi för att framställas, och det vanligaste för industriell användning är ångreformering av naturgas. Det vi vill uppnå är emellertid ett koldioxidneutralt bränsle och då återstår elektrolys av vatten med grön el. Den samlade verkningsgraden för energin från vätgasproduktion till fordonsdrift blir dock ganska låg³ och förutsätter i nuläget ett överskott av el för att kunna bli ekonomiskt attraktiv. Forskning om alternativa sätt att producera vätgasen kan möjligen ändra på detta i en oviss framtid.

Det finns motorvagnar i persontrafik med bränsleceller som använder vätgas och tekniken fungerar utan problem. Mindre serier av vätgaselektriska motorvagnar har beställts av regionala kollektivtrafikmyndigheter i Tyskland, Italien och Frankrike. Vätgas är idag ett specialbränsle och produktion, distribution och bränsledepåer för vätgas måste lösas för att öka användbarheten. Inlandsbanan har deltagit i projekt vätgas i inlandet för att studera dessa frågor (Inlandsbanan, 2021a).

Andra energikällor

Det har även gjorts försök med andra energikällor, men de flesta har inte fördelar som överväger dess nackdelar på ett eller flera plan. Här kan nämnas gasdrift med biogas vilket har provats i Sverige. Gasbränslen kräver dock tillverkning och distributionssystem för tågtrafiken och ombyggnad av fordonen som gör initialkostnaden relativt hög.

³ Olika uppgifter nämner 15-30 % men pålitlig källa saknas för det intervallet



Figur 6. I mitten av 00-talet provades biogas som drivmedel i en ombyggd dieselmotorvagn på de oelektrifierade Tjust- och Stångådalsbanorna. Biogasen producerades och tankades i Linköping. Foto: Oskar Fröidh

Generellt sett är det i dagsläget inget som slår eldrift med elgenerering i en stationär anläggning, där verkningsgraden kan bli relativt hög och emissionerna hanterbara. Vätgas eller batterieldrift blir då sätt att lagra energin på ett tillgängligt sätt där kontaktledning för direkt eldrift saknas.

3.5 Utblick över klimatmålen i Europa

I ett flertal länder pågår utrednings- och genomförandeprojekt av fossilfri och koldioxidneutral tågtrafik för att nå klimatmålen. Åtta länder i Europa inklusive Sverige ingår i tabellen (Svingheim, 2021b).

Tabell 5. Status i åtta europeiska länder

<i>Land</i>	<i>Status</i>	<i>Målsättning för utsläppsreduktion</i>	<i>Andel elektrifierad bana idag</i>	<i>Ambitioner för järnvägen</i>
Danmark	Prov med batterieltåg	70 % lägre utsläpp 2030	25 %	Batterieltåg i reguljär trafik i mitten av 2020-talet
Finland	Beslut om ökad elektrifiering av järnvägen	Koldioxidneutralt före 2035	56 %	Investera för att elektrifiera järnvägen
Norge	Utredning om nollutsläpp för järnväg. Banor kartlagda för batterieltåg	Åtgärder som kan ge minst 50 % utsläppsreduktion från icke kvotpliktig sektor 2030 jämfört med 2005	51 %	Deelektrifiering (för batterieltåg) kan bli aktuellt i perioden 2027-2033
Sverige	Prov med vätgasmotorvagn genomfört. Prov med batteridrift på spårgående arbetsmaskin pågår	70 % lägre utsläpp från transporter 2030 jämfört med 2010, undantaget flygtrafik	75 %	Investera för elektrifiering i viss mån
Storbritannien	Batterieltåg under utveckling	Dieseltåg ska vara borta före 2040	36 %	Eget program för mer elektrifiering, batteriel- och vätgasdrift
Tyskland	Prov och ordinarie trafik med batteriel- och vätgaståg	Klimatneutral järnväg före 2050	53 %	70 % elektrifierad trafik före 2025, infasning av batteriel- och vätgaståg
Schweiz	Prov av batteridrift på spårgående arbetsmaskiner	50 % utsläppsreduktion till 2030, 92 % reduktion till 2040 (omfattar underhåll och nybyggnad av bana)	100 %	Nollutsläpp från hela järnvägssektorn. Enbart förnyelsebar energi (el) före 2040
Frankrike	Åtgärder för att bygga om ett stort antal bimodala el/dieselmotorvagnar till batterieldrift	All dieseldrift borta före 2035	58 %	Nollutsläpp från tågtrafiken före 2035

Källa: Svingheim, 2021b. Översatt till svenska av Oskar Fröidh (med reservation för någon tveksam sakuppgift)

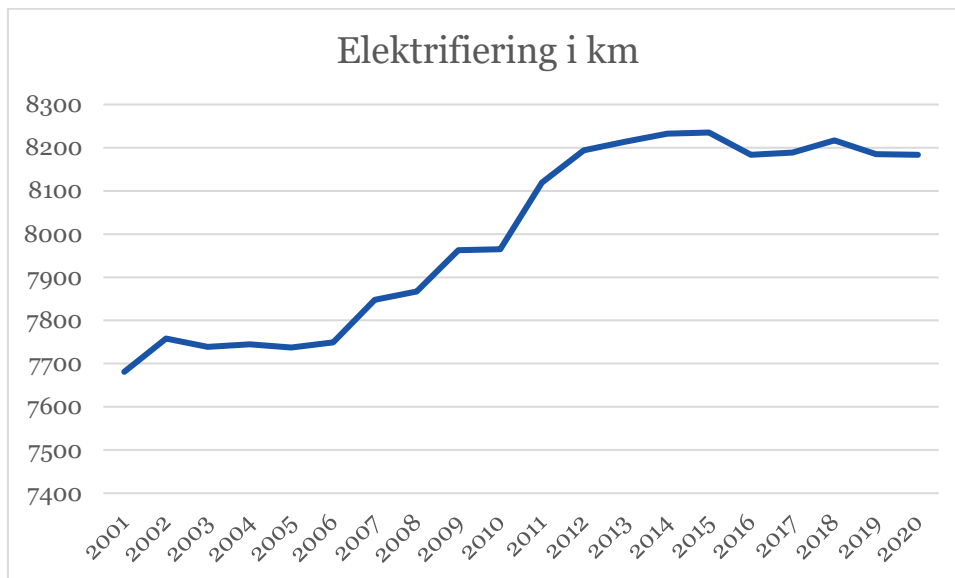
Tabellen ger en bild av vad som pågår och att det i många fall finns ambitiösa klimatmål. Värt att notera är att det handlar om att implementera nu befintlig teknik genom att elektrifiera tågtrafiken i högre grad, med olika kombinationer av banelektrifiering och fordon med batteriel- respektive vätgasdrift.

4. Energieffektiv järnväg

4.1 Järnvägsnätet

Järnvägsnätet i Sverige är till stor del elektrifierat med kontaktledning ovanför spåren, ett beprövat system med över 100 års drifterfarenheter. Det är en energieffektiv lösning eftersom loket inte behöver ha med sig energiförrådet utan kan använda energi genererad av många och varierande energiproducenter, verkningsgraden är hög och det är även möjligt att ordna energiåtermatning vid inbromsning. Elsystemet är av historiska skäl 15 kV, 16 2/3 Hz, detsamma som i Norge, Tyskland, Schweiz och Österrike. I Danmark, Finland och många andra senare elektrifierade järnvägsnät är en mer vanlig spänning 25 kV, 50 Hz.

Totalt finns det 10 909 km trafikerad bana (Trafikanalys 2020). Inklusivt stationer och flerspåriga sträckor är spårlängden 15 557 km. I Sverige är 78 % av antalet spårkilometer elektrifierade och de senaste 20 åren har de elektrifierade banorna ökat med ca 500 km, men ännu större andel av transportarbetet utförs med eldrift.



Figur 7. Antal km elektrifierad banlängd 2001-2020 i Sverige. Källa: Trafikanalys (2020)

En anledning att det kan vara lönsamt att elektrifiera ytterligare länkar är systemeffekten; genom att elektrifiera en kortare bandel som krävde diesellok för en längre transport kan man gå över till ellok för hela transporten. I vissa fall kan man också omlada eldrivna tåg till en tillkommande elektrifierad bana som i annat fall inte skulle kunna användas för omladning. Det beror inte enbart på elektrifieringen utan kan också ha att göra med banans kapacitet, största axellast och banunderbyggnad. Ofta gör man därför förstärknings- och ombyggnadsåtgärder i samband med elektrifiering vilket ökar kostnaderna men också nyttorna.



Figur 8 Järnvägsnätet i Sverige med elektrifierade sträckor (gula) och oelektrifierade sträckor (blåa). Trafikverket 2021g

4.2 Planerad elektrifiering

Som ett led att övergå till den mer effektiva eldriften och få nätverkseffekter planerar Trafikverket för elektrifiering av flera sträckor. De sträckor som nämns är:

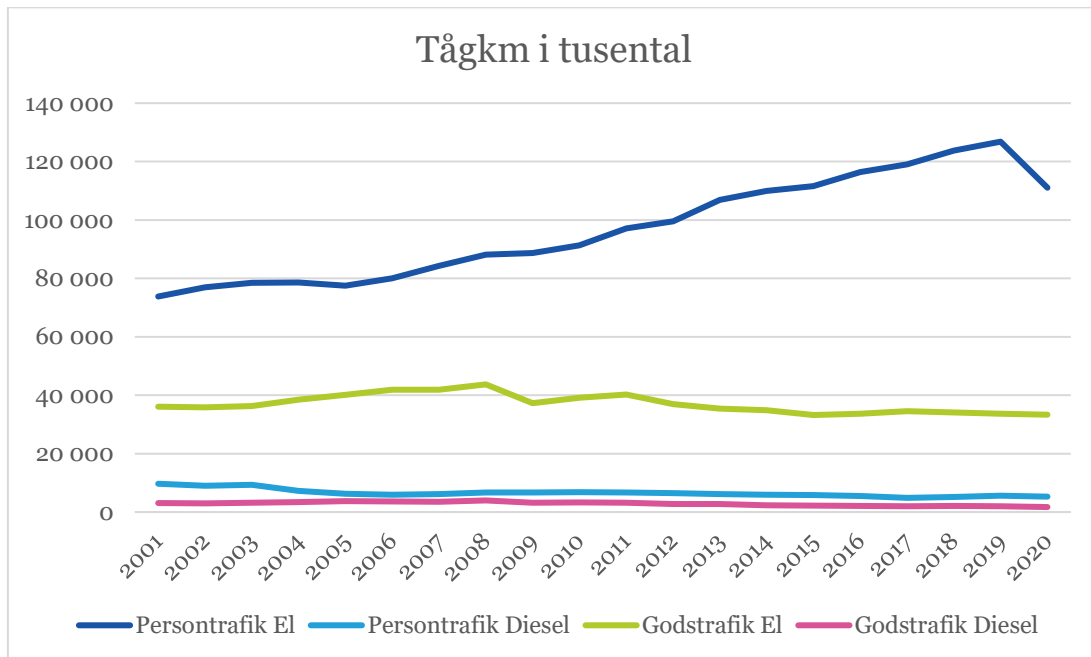
- Nässjö–Eksjö; 20 km; 2026-2028. Primärt för persontrafiken med Krösatåg. (Trafikverket, 2021c)
- Nässjö–Vaggeryd–Värnamo; 81 km; 2026-2029. Möjliggör eldrivna person- och godstransporter samt omlidningsmöjligheter för trafik på Södra stambanan. (Trafikverket, 2021b). Även sträckan Jönköping–Vaggeryd är aktuell i det så kallade Y-et men här övervägs en ny länk från Tenhult.
- Älmhult–Olofström, 42 km, och nya bana Sydostlänken; Uppgradering och elektrifiering av befintlig bana Älmhult–Olofström samt byggnation av ny bana Olofström till Blekinge kustbana. Primärt för godstransporter, men även persontransporter kan bli aktuella på sträckan. (Trafikverket, 2021d)
- Kimstad–Skärblacka; 6 km. Elektrifiering av sträckan från Södra stambanan till Skärblacka och kommer enligt planbeskrivningen att minska antalet dieseldrivna tåg från sex till två per årsmedeldygn, då sträckan Skärblacka–Finspång fortfarande kommer att vara oelektrifierad. (Trafikverket, 2021e)

Det finns förslag om ytterligare elektrifiering men planeringstiden är lång och finansiering sker genom årliga medel utifrån nationell plan för transportsystemet. Ett förslag är elektrifiering av Kinnekullebanan i Västra Götalandsregionen, delsträckan Lidköping–Håkantorp, 28 km, som skulle medge utvecklad eldriven regional persontrafik. Ytterligare ett alternativ är hela Kinnekullebanan inklusive även Gårdsjö–Mariestad–Lidköping, 93 km. De tillkommande nyttorna är framför allt eldriven godstrafik och omlidningsmöjlighet från Västra stambanan om banans standard samtidigt rustas upp.

I flera fall med godstrafik på oelektrifierad bana är det en eller ett fåtal godskunder som kör systemtåg. Det finns då en osäkerhet om trafikens fortlevnad eftersom det räcker med en förändring i logistiken för att banan ska stå utan trafik. I de fallen kan det vara mindre riskabelt att satsa på en lösning som ger nollutsläpp utan elektrifiering.

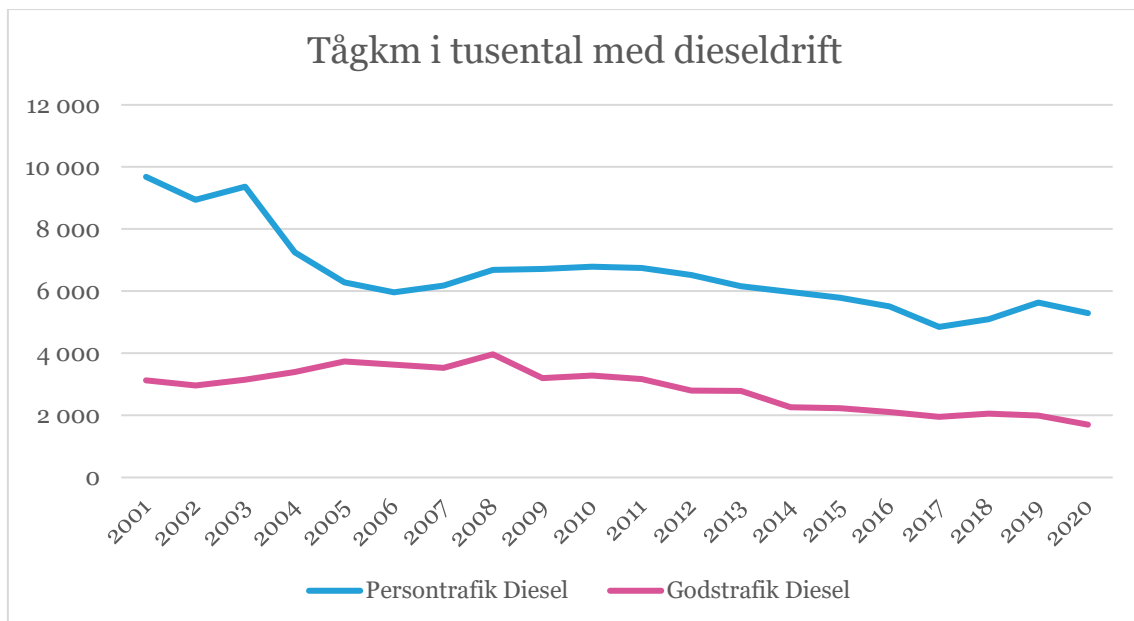
4.3 Tågtrafikens energianvändning

Antalet tågkm med dieseldrift är väldigt lågt jämfört med eldrift, både för persontrafiken och för godstrafiken.



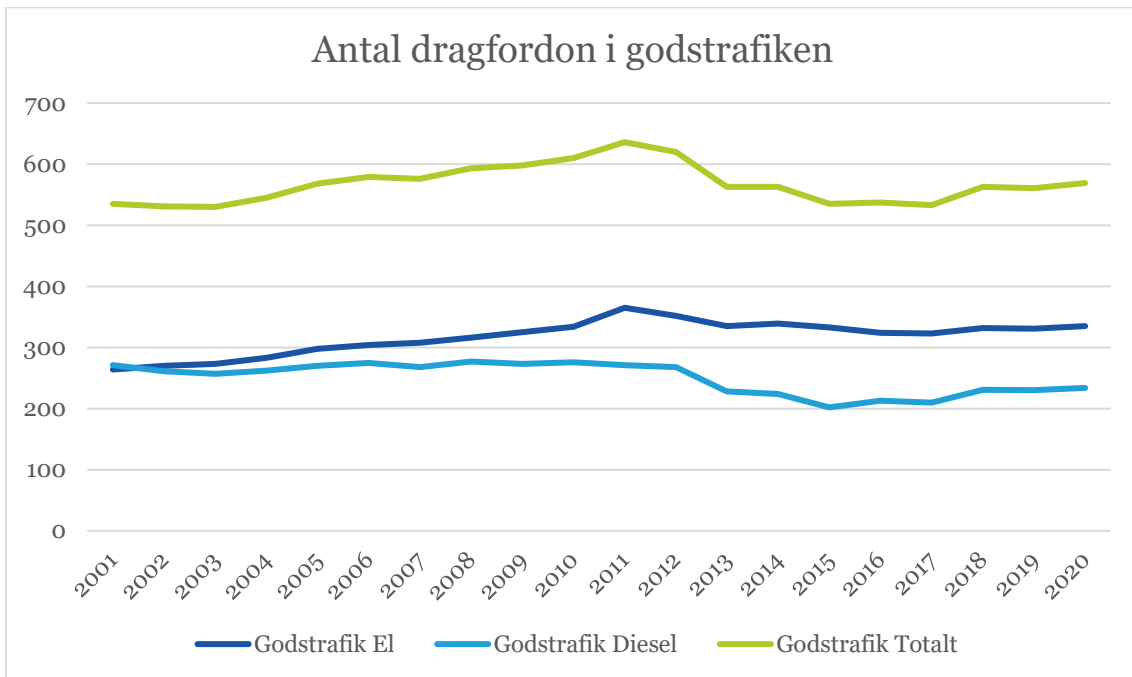
Figur 9. Tågkm i tusental för persontrafik och godstrafik med el och diesel i Sverige. Källa: Trafikanalys 2020

Antalet tågkm med dieseldrift har minskat både för persontrafiken och godstrafiken de senaste 20 åren. Det skedde en kraftig minskning av antalet tågkm med persontrafik åren 2004-2006. Anledningen är elektrifieringen av Blekinge kustbana som hade en omfattande persontrafik med dieseldrivna motorvagnar. Antalet genomgående dieseldrivna tåg på elektrifierad bana (till Malmö och Köpenhamn) minskade från 2004 och kustbanan stängdes helt 2005 för elektrifieringsarbetena (Fröidh och Kottenhoff, 2009).



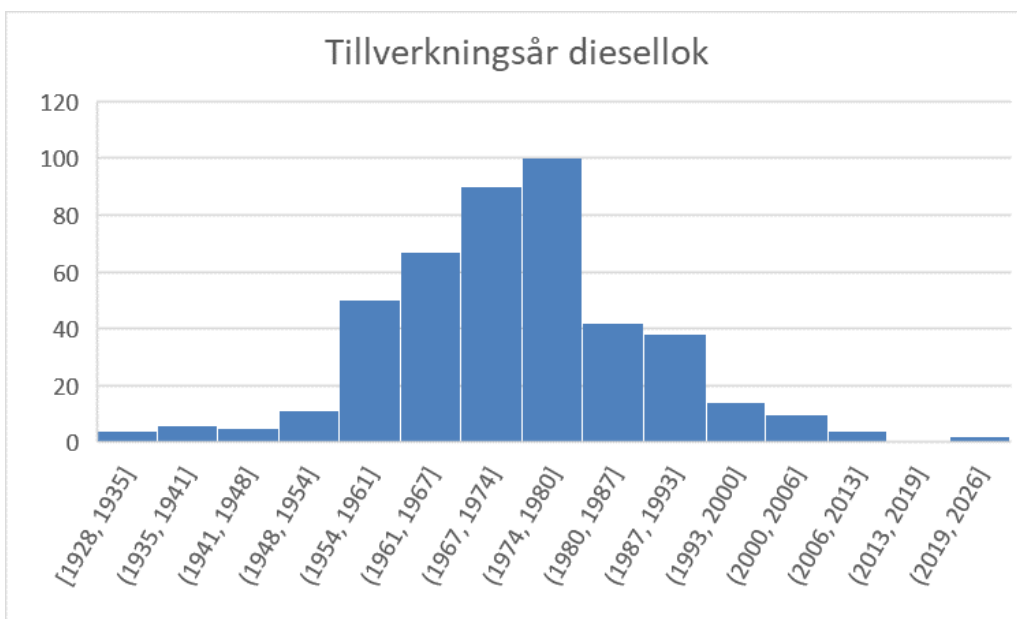
Figur 10. Tågkm i tusental med dieseldrift för persontrafik och godstrafik i Sverige. Källa: Trafikanalys 2020

Antalet dragfordon i godstrafiken har legat relativt konstant de senaste 20 åren, det har dock skett ett skifte mellan diesel och el. I början av 2000-talet fanns det lika många elfordon som dieselfordonen, därefter har antalet elfordon ökat medan dieselfordonen minskat.



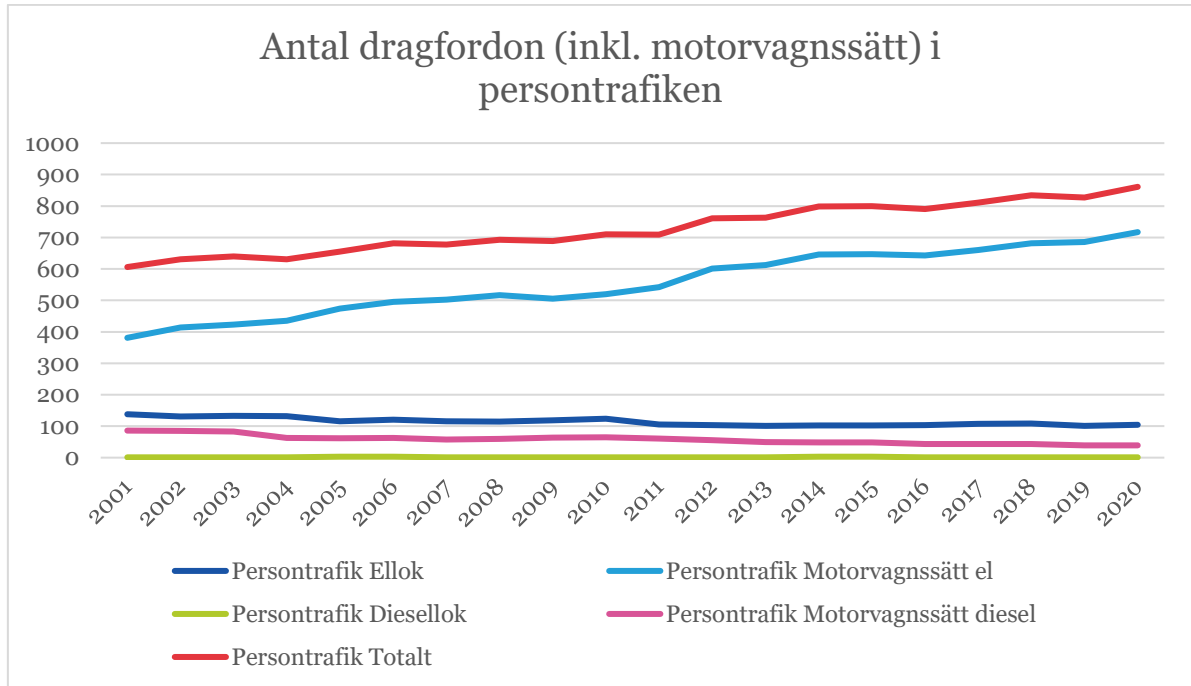
Figur 11. Antalet dragfordon i godstrafiken, uppdelat på el och diesel. Källa: Trafikanalys 2020

Den största mängden av dieselloken som används idag är tillverkade före 1980. Diesellok används också för interna transporter, banarbeten och växling i depåer och vid terminaler vilket förklarar det stora antalet och särskilt de äldre lokens fortbestånd, men den helt dominerande trafikmängden utförs med elfordon. Eventuella ombyggnationer av loken är inte beaktade utan endast tillverkningsåret.



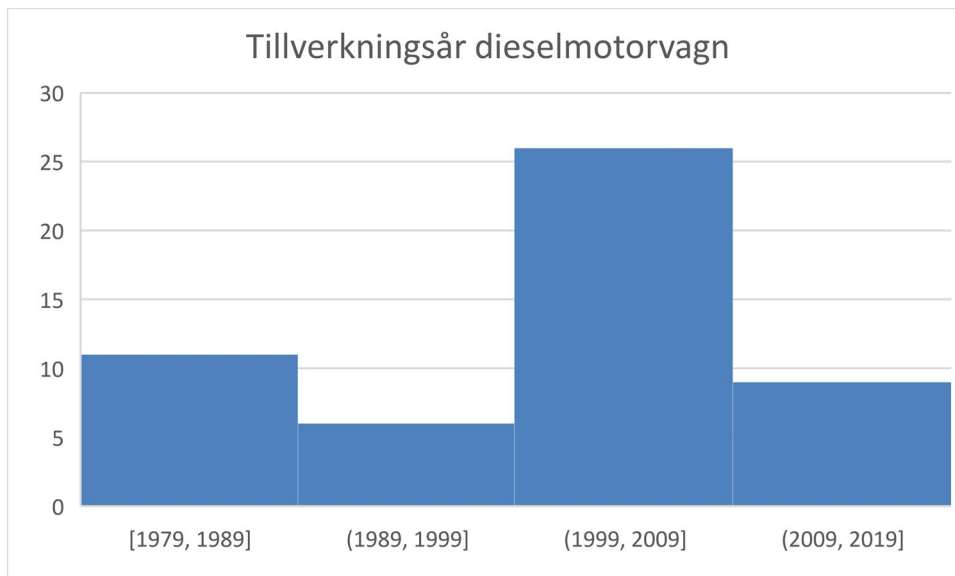
Figur 12. Tillverkningsår aktiva diesellok. Källa: Transportstyrelsen, 2021

På personsidan är det elmotorvagnsfordon som har ökat de senaste 20 åren. Övriga fordonstyper har minskat eller varit konstant.



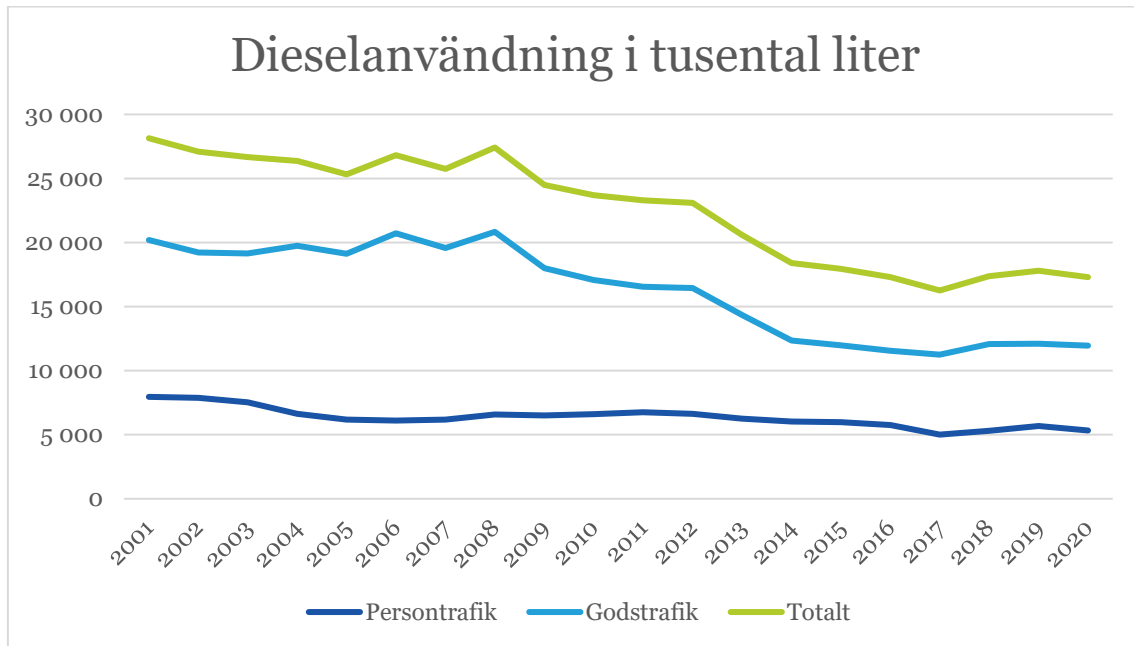
Figur 13. Antal dragfordon (inkl. motorvagnssätt) i persontrafiken i Sverige. Källa: Trafikanalys, 2020

De flesta dieselmotorvagnarna (Y31 och Y32) för persontrafiken tillverkades på 2000-talet.



Figur 14. Tillverkningsår aktiva dieselmotorvagnar. Källa: Transportstyrelsen, 2021

Dieselanvändningen inom järnvägen har minskat de senaste 20 åren med drygt 60 % och den största minskning har skett inom godstrafiken, men även persontrafiken har minskat sin dieselanvändning.



Figur 15. Dieselanvändning inom järnvägen i tusental liter i Sverige. Källa: Trafikanalys 2020

4.4 Typer av dieseltrafik

Dieseltrafiken är i Sverige ett undantag eftersom huvuddelen av tågtrafiken utförs med eldrift. Dieseltrafiken kan översiktligt delas in i tre kategorier:

- Oelektrifierade industrispår, godsterminaler och hamnar där endast den sista sträckan, det vill säga det kapillära nätet, är oelektrifierat men att banan är elektrifierad. Det finns flera exempel på detta i Jordbro, Nykvarn, Värö, Karlshamn, Varberg, Halmstad och Södertälje hamn med flera. Det handlar i de flesta fallen om några hundra meter oelektrifierad sträcka. I många fall är Trafikverket inte infrastrukturägare till dessa sträckor utan det är kommuner, företag eller hamnar som oftast äger dem.
- Medellånga till längre oelektrifierad sträckor där det inte bara är industrispåret eller godsterminalen som är oelektrifierad. Exempel på detta är järnvägen till Hallstaviks pappersbruk från Ostkustbanan (Örbyhus) som är ca 63 km, sträckan mellan Finspång och Kimstad (22 km) eller sträckan Torsby-Kil (82 km) eller godsterminalen i Torsvik söder om Jönköping. Även viss persontrafik med dieselmotorvagn ingår här, som Kinnekullebanan.
- Helt oelektrifierade system som Inlandsbanan med tvärbanor, men även Stångådalsbanan och Tjustbanan (i regionerna Östergötland och Kalmar) där hela trafiken i stort sett endast går längs oelektrifierade spår.

För respektive kategori kan olika lösningar övervägas för att uppnå klimatmålen, där det enklaste steget är att ersätta diesel med flytande biobränsle.



Figur 16. Ett mindre diesellok för växling särskilt på oelektrifierade spår, som här i Lysekils hamn där gods stuffas (lastas om). Foto: Oskar Fröidh

4.5 Effektiviseringspotential inom tågkörning

Energimätare

Många elfordon har energimätare och debitering av elenergin sker efter verklig förbrukning. Det ger operatörerna incitament att minska energianvändningen. Alla nya och ombyggda elfordon måste också utrustas med energimätare, men fordon som saknar debiteras efter schablon (Trafikverket, 2018).



Figur 17. Exempel på ett modernt ellok utrustat med energimätare och med återmatning av bromsenergi till elnätet. Foto: Oskar Fröidh

Ecodriving

Tidtabellsbunden tågtrafik ger förutsägbarhet och en trafikerings som närmar sig optimal när det gäller resursutnyttjande inklusive total tidsåtgång för tågtrafiken. Energisparande körning eller ecodriving kan tillämpas även i tågtrafiken men förutsätter att tidtabellerna medger det. I regel är kraven på korta res- och transporttider samt minimalt med förseningar prioriterat.

Det finns idag förarstöd på marknaden som visar när nästa låsta tid finns och genom att beräkna nödvändig hastighet kan tåget framföras energibesparande. I idealfallet accelererar tåget snabbt upp i hastighet och rullar sedan så långt som möjligt utan pådrag, vilket genom det låga rullmotståndet handlar om flera mil så länge inget större motlut dyker upp i banan. Det ska vägas mot kraven på tidhållning och punktlighet, något som är viktigt för tågtrafikens pålitlighet och attraktivitet. Det skulle kunna vara möjligt att optimera tidtabeller för minskad energianvändning, men korta körtider för att få ner personal- och kapitalkostnader måste också vägas in och det är tveksamt om det ger någon större energibesparing för transportsystemet som helhet om det samtidigt ökar trafikeringskostnaderna och konsumerar bankkapacitet.

Tågledning

När det gäller tågledning framhåller särskilt godsoperatörer att godstågen är lågt prioriterade på banan och i regel får stanna för förbigångar och tågmöten av persontåg (Vida, 2021; Tågab, 2021). Det innebär att körtiderna för godstågen ökar vilket drar upp personalkostnaderna utan att generera några nyttor – tvärtom så minskar möjligheterna att få transportuppdrag som är tidskänsliga. Det går också åt energi för acceleration från stillastående till lämplig hastighet. Jämnare körning skulle kunna sänka energianvändningen och minska de direkta trafikeringskostnaderna. Det är dock ett kapacitetsproblem vars generella lösningar antingen är att ta bort trafik från banan, eller att bygga ut kapaciteten till exempel från enkelspår till dubbelspår.

Äldre ellok

En äldre ellokgeneration, Rc ursprungligen tillverkade 1967-1988 och den moderniserade varianten Rd, har sämre verkningsgrad än nyare lok genom den tekniska uppbyggande av reglersystemet med tyristorbryggor. De har inte heller återmatning av bromsenergin. Rc-loken är dock populära eftersom det är driftsäkra standardlok som används av SJ och Green Cargo och också finns på begagnatmarknaden. Vi räknar dock med att flertalet av dessa lok ska ha slopats, det vill säga tagits ur trafik före 2045 och ersatts med nyare loktyper. Kapitalkostnaderna skiljer så stort mellan äldre och nya lok och energiåtgång för nytillverkning är så betydande att vi inte kan motivera några eventuella styrmedel att påskynda ett utbyte.

5 Andra mindre energiförbrukare inom järnvägen

Det finns flera företeelser inom järnvägen som har relativt sett hög energianvändning och i vissa fall klimatutsläpp, men där omfattningen är så pass liten att det för klimatet är en obetydlig belastning. Vi nämner några av dem här i syfte att få ett mer fullständigt kunskapsunderlag.

5.1 Arbetsmaskiner vid drift och underhåll

Arbete på banan sker i regel utan elförsörjning i närheten, och därför är man beroende av förbränningsmotorer i arbetsmaskiner. Vi hanterar egentligen inte arbetsmaskinerna i detta uppdrag men vill ändå ge en lägesbild.

För banarbeten behövs interna transporter av material, där främst tyngre material som räls, sliprar och ballast (makadam) genererar stort transportbete. I de fall man kan välja mellan lastbils- eller järnvägstransport vore det en fördel ur energisynpunkt att välja järnvägstransport. Banarbeten medför ofta säsongsarbeten, fluktuerande omfattning mellan åren och oregelbunden intern trafik med mycket väntan. Kapitalkostnaderna bör följaktligen vara så låga som möjligt för att kunna hålla låga kostnader för banunderhåll. Det medför i sin tur att det i regel är äldre fordon som används, och ofta diesellok i transporter som också klarar banarbeten när elen i kontaktledningen är avstängd.

Trafikverket handlar i Sverige upp en stor del av banarbetena av entreprenörer. Trafikverket kan därför ställa miljökrav i upphandlingen, till exempel krav på minimala utsläpp av växthusgaser (biobränslen eller eldrift). Det går också att med styrmedel i form av punktskatter få entreprenörerna att gå över till biobränslen och eldrift, liksom i annan energianvändning. I Sverige har provdrift med en batteri driven banarbetsmaskin inletts, Railcare MPV, och erfarenheterna är initialt goda (Railcare, 2021).

5.2 Elanvändning i fasta anläggningar

Kraftförsörjning

I elmatningen till järnvägen sker överföringsförluster. Genom den relativt stora omfattningen med omkring 20 000 km kraftledningar, transformatorer, omriktar- och omformarstationer och 10 000 km elektrifierat spår kan även små, kostnadseffektiva åtgärder ge effekt. Trafikverket arbetar med olika tekniska åtgärder för att minska förlusterna, som direktgenerering och förbättrad startautomatik av omformarstationer (Trafikverket, 2018). Det innebär samtidigt att verkningsgraden för elektrisk tågtrafik ökar från en redan hög nivå.

Bangårdsbelysning och växelvärme

Pågående utbyte av högtrycksnatriumlampor mot led-lampor minskar energianvändningen i belysning av järnvägens spårrområden (Trafikverket, 2018).

Spårväxlarnas tungor och även eventuellt rörliga spårkorsningar behöver värmas vintertid för att inte bli fastfrusna eller spärrade på annat sätt av snö och is. Manuell snö- och isrensning är i regel inte acceptabel ur arbetsmiljösynpunkt. Trafikverket arbetar med bättre reglering av värmen som sparar energi i projektet Överordnad växelvärmestyrning (ÖVV) (Trafikverket, 2018).

5.3 Lokalisering av depåer och verkstäder

Flera nya depåer, för städning, rengöring och uppställning av tåg utanför trafiktid, och verkstäder för järnvägsfordonen har etablerats under senare år. De främsta drivkrafterna är dels fragmentering av järnvägssektorn i flera fordonsinnehavare och trafikupplägg, och dels etablering av nya regionala trafiksystem. Tomkörning av tågsätt är en kostnad som man vill undvika och i de flesta fall lokaliseras depåerna så att tomkörningen blir ringa. Det finns dock en viss undanträngningseffekt på grund av fastighetsprisernas utveckling i storstäderna, där depåer är en verksamhet som kan trängas ut från lägen som går att exploatera till högre markpriser. Nackdelen för järnvägen kan dock bli högre kostnader och att energianvändning för tomkörningen kan öka. De här kostnaderna bör internaliseras i kalkylen för exploatering.

Verkstäder för underhåll som sker mer sällan är inte lika många och kräver ofta längre tomkörning (tjänstetåg). Ett exempel är hjulsvarvning där hjulen sitter kvar under fordonet, utbyte av tyngre komponenter eller ombyggnader.

5.4 Museitågstrafik

Museitåg på järnväg

Museitågstrafik är trafik med järnvägsfordon som av ålders- och kostnadsskäl inte längre används i ordinarie trafik, men som har ett teknikhistoriskt värde. Museitågstrafik kan bedrivas på egen spåranläggning (museijärnväg), eller på Trafikverkets eller annan huvudmans spåranläggning. Det finns ett tjugotal museijärnvägar i landet, varav sex-sju med säsongsmässig ånglokstrafik i nämnvärd omfattning och resten med dieselfordon, ibland tillfällig ånglokstrafik. Den mesta av museitågstrafiken bedrivs ideellt, det vill säga de som arbetar med tågtrafiken får ingen lön. Trafikintäkterna går i regel till inköp av material och drivmedel för drift och underhåll och administration inklusive tillståndshantering. Ett undantag är Sveriges Järnvägsmuseum där museitjänstemän sköter museitågstrafiken. Det förekommer också viss chartertrafik där äldre rullande material hör till upplevelsen. Antalet tågakilometer i museitågstrafik är totalt sett blygsamt och trafiken hör näringsmässigt mer till turism än till transporter.

Ånglok och andra dragfordon

I trafiken används ånglok och dieselfordon, ibland elfordon beroende på sträcka. Särskilt ångloken är gamla och ineffektiva ur energisynpunkt, och eldas lämpligen med stenkol som historiskt sett har varit det vanligaste bränslet. En anledning till att ångloken är ineffektiva är att man behöver göra dem mindre

och lättare än vid stationära ånganläggningar men istället belastar dem hårt genom forcerad eldning vid acceleration och för dra tunga tåg uppför lutningar. Den mesta värmen i bränslet följer då med rökgaserna ut i luften.

Det finns dock modernare teknik som återvinner energin bättre och verkningsgraden skulle kunna öka väsentligt. Ånglok är intressanta ur energiförsörjningsperspektiv eftersom de kan eldas med olika fasta bränslen, men för att öka verkningsgraden med högre grad av värmeåtervinning skulle man behöva konstruera och bygga nya ånglok som inte vore musealt intressanta. Det är inte heller ekonomiskt försvarbart jämfört med motorlok idag.

Alternativa bränslen i museitågstrafiken

Vid Uppsala–Lenna Järnväg, Lennakatten, använder föreningen ett normalår två ånglok samt diesellok och dieselmotorvagnar i trafiken under sommarhalvåret på den smalspåriga 33 km långa museijärnvägen mellan Uppsala och Faringe.

Det finns möjlighet att elda ångloken med annat fastbränsle än stenkol som till exempel spånriketter eller ved, men vedåtgången är så pass stor jämfört med stenkolet som har betydligt högre värmevärde att det behövs extra personal och transporter att hantera all ved. Totalt rullar ångloken ca 11 000 km per säsong och den årliga förbrukningen av stenkol är ca 96 ton. Stenkolförbrukningen för de små till medelstora ångloken är 3-11 kg/km (ULJ, 2021).

Värmevärdet för stenkol är 7,08 kWh/kg (emission 341 g CO₂/kWh)

Torr barr- och blandved i hög har värmevärde 780 kWh/lös m^{3,4}

Av det följer att 110 kg stenkol har motsvarande värmevärde som en kubikmeter lös torr barr- och blandved. 96 ton stenkol motsvarar då ungefär 900 m³ ved.

ULJ har diskuterat möjligheterna att gå över till flytande biobränsle för ångloken. Föreningen bedömer att det är tekniskt möjligt men att det skulle kräva ombyggnad av ångloken för omkring 0,7-0,8 mnkr per lok inklusive installation av brännare (ULJ, 2021). Det skulle dock vara så pass dyrt för ideella föreningar att bygga om museiföremålen att det kan antas kraftigt inskränka möjligheterna att fortsätta med museitågstrafik, om det inte går att lösa med bidrag.

Dieselfordonen skulle utan ombyggnad kunna köras på högkvalitativt biobränsle, som Ecopar Bio. RME eller HVO100 har dock inte rätt egenskaper för de äldre motorerna (ULJ, 2021). Det skulle medföra ökade driftkostnader jämfört med diesel idag, som föreningen måste ta ut på biljettpiserna och därmed kan antas dämpa efterfrågan.

⁴ Torr ved (20 % fukt), 1300 kWh/travad m³, omräkningsfaktor lös/travad 0,6. Som jämförelse har torr björkved värmevärdet 1700 kWh/travad m³ (Motiva, 2010)

Museitågstrafik som teknikhistoria

Frågan om museitågstrafik och emissioner är snarare en fråga om kultur- och teknikhistoria. Kan man acceptera vissa stora punktkällor som har en totalt sett blygsam omfattning är det en fördel att fortsätta med stenkol för att kunna bevara fordonen i originalskick, och kunna visa besökarna hur man hanterade energin förr i kol- och oljeepokerna. Är det viktigt att avstå från fossila bränslen behövs kapitaltillskott i form av bidrag till ideella föreningar för att anpassa museiföremålen. Frågan har paralleller i annan historisk turism, och i synnerhet i andra äldre färdmedel som ångbåtar, veteranbilar och veteranflygplan.

6. Möjliga styrmedel

I uppdraget ingår att presentera förslag till styrmedel inom järnvägssektorn. Vi baserar förslagen på resonemang utifrån uppgifter i rapporten, men har inte gjort kvantitativa analyser av effekterna utan förslagen till styrmedlen behöver utredas vidare.

6.1 Behov av styrmedel

Minskad dieselanvändning i tågtrafiken ger minskade klimatutsläpp. Dieseloljan skulle i de flesta tillämpningar kunna ersättas med biodrivmedel, där HVO100 redan har börjat användas idag. Nackdelen är främst väsentligt högre drivmedelspriser för flytande biobränsle än fossil dieselolja. Det behövs också på kort sikt nya tankanläggningar i det fall olika bränsleblandningar kommer att användas parallellt. Slutligen är inte alla motorer lämpade för alla flytande biobränslen vilket kan medföra behov av ombyggnad eller skrotning och nyanskaffning som kan medföra att kapitalbehovet blir för stort för vissa tågföretag.

Tågtrafiken är undantagen från skatter på dieselolja och reduktionsplikten. Avsikten är att få en kostnadsavlastning som kompenserar för bristande internalisering av externa effekter inom främst lastbilstrafiken och ökar attraktiviteten för järnvägstransporter. Syftet är att behålla transporter på järnvägen, där tågtransport förbrukar mindre energi än lastbilstransport och en överflyttning till lastbil därmed skulle vara suboptimal ur klimatsynpunkt. I utfasningsutredningen (SOU 2021:48) lyfts frågan om att järnvägens dieselfordon har varit undantagna från reduktionsplikten för att garantierna för motorerna inte har täckt inblandning av förnybara bränslen och att det behöver studeras vidare.

Reduktionsplikt för dieselolja inom järnvägstrafiken

Ur klimatsynpunkt vore det rimligt att införa reduktionsplikt för dieselolja även inom järnvägstrafiken och därmed genomföra en successiv övergång till biobränslen. Även utfasningsutredningen (SOU 2021:48) föreslår att reduktionsplikten ska införas för järnvägsfordon. En möjlig tidpunkt att införa reduktionsplikten är 2023 (30 % biobränsle), efter kontrollstation 2022, och därefter enligt gällande plan med successivt ökande andel biobränsle till 2030 (70 %).

Det kan finnas vissa fordon som tekniskt sett inte klarar flytande biodrivmedel. För att lindra de ekonomiska konsekvenserna av ett införande från 2023 i dessa fall föreslår vi övergångsregler som kan medge dispens från reduktionsplikten under vissa villkor. De villkor vi föreslår är:

- Att fordonet inte kan användas med eller underhållsbehovet skulle öka väsentligt av inblandning av flytande biodrivmedel

- Att fordonet används i trafik knutet till ett eller flera transportuppdrag vid beslutstidpunkten för att införa reduktionsplikt inom järnvägstrafiken (2022)
- Att fordonsägaren tar fram en plan för ombyggnad av fordonet så att det kan använda flytande biodrivmedel och genomför ombyggnaden utan fördröjning, alternativt: Om slopning (fordonet tas ur trafik) och skrotning blir aktuellt, att det genomförs när fordonet inte längre används i transportuppdrag som fanns vid beslutstidpunkten (2022).

Givet att dessa villkor kan uppfyllas, föreslår vi att Transportstyrelsen kan bevilja dispens från kravet på inblandning av biodrivmedel från ett upp till fem år, det vill säga perioden 2023-2027. Tidsperioden fem år rekommenderas för att täcka in dels pågående transportavtal, dels för att medge eventuell nyanskaffning av ersättande fordon.

Övergångsreglerna medger att använda ren dieselloja under övergångsperioden givet att det finns tekniska skäl, men att dessa fordon antingen måste byggas om eller slopas så att alla fordon senast 2028 kan använda biobränsle enligt reduktionsplikten.

En interventionskedja för ett införande av reduktionsplikten framgår av Figur 18. Effekterna beskrivs närmare i avsnitt 6.2.

Offentlig upphandling med klimatkrav

I upphandling av tågtrafik, främst regional persontrafik men även upphandlade beredskapslok och transporter vid banarbeten, skulle de regionala kollektivtrafikhuvudmännen (RKM) respektive Trafikverket kunna ställa krav på enbart biobränsle eller nollutsläpp på medellång sikt (före 2030). Nollutsläpp på medellång sikt kan innebära att nya fordonstyper som batterielektrisk drift introduceras.

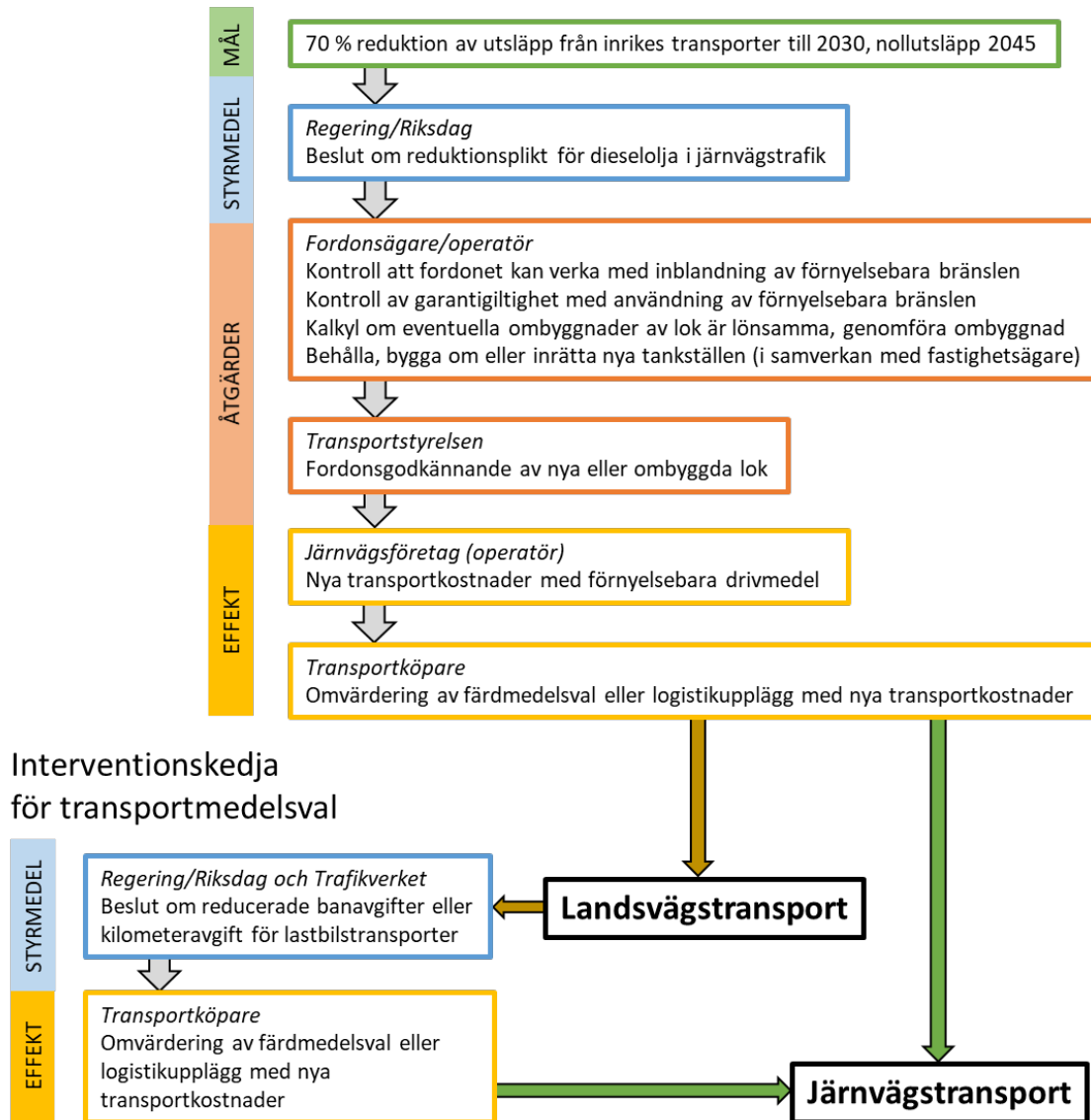
Vi bedömer att det skulle kunna vara möjligt med ett snabbare genomförande än 70 %-målet till 2030. Det medför sannolikt ökade kostnader i upphandlad trafik. Staten skulle kunna införa incitament till exempel bidrag till de regionala kollektivtrafikhuvudmännen för eventuella omställningskostnader av fordon och bränsledistribution. Utformningen av ett sådant stöd måste utredas vidare. Av konkurrensskäl med bil-, buss- och lastbilstrafiken kan man knappast ställa motsvarande krav på snabbare genomförande hos kommersiella operatörer trots att det även omfattar statligt ägda Green Cargo AB.

Investeringsstöd för elektrifiering av kapillära nätet

Vi föreslår ekonomiskt stöd till andra infrastrukturägare än Trafikverket för att elektrifiera det kapillära nätet, det vill säga industrispår, godsterminaler och hamnar. Syftet är att erhålla systemeffekter genom att kunna använda eldrivna lok för hela transporten vilket signifikant sänker trafikeringskostnaderna. Hur stödet kan utformas i detalj måste utredas vidare. Det bör finnas krav på klimatnytta vilket förutsätter antingen att befintlig godstrafik blir eldriven, eller att godstransporter överflyttas till järnväg tack vare åtgärden. Genom

elektrifiering av mindre och mindre trafikerade banor och hamn- och terminalspår minskar dock successivt marginalnyttorna av fortsatt elektrifiering.

Interventionskedja för utsläppsreduktion i järnvägstrafik



Figur 18. Interventionskedja för reduktionsplikt för dieselolja i järnvägstrafik. Figuren är främst avsedd för godstrafik men är i princip densamma för persontrafik. En sekundär interventionskedja för att påverka transportmedelsvalet motiveras av behovet att motverka suboptimering av energianvändning inom transportsektorn, vilket skulle bli följden om järnvägsgods transporteras på lastbil istället.

6.2 Effekter av styrmedel

Att införa reduktionsplikt för dieselolja inom järnvägstrafiken kommer att leda till minskade emissioner från fossila bränslen, som ersätts med biobränslen. Det kommer också att leda till högre bränslekostnader än idag. Det kan i sin tur medföra en överflyttning av viss godstrafik från järnväg till lastbil i de delar som

idag har låg avkastning och där fraktpriset med tåg inte kan höjas av konkurrensskäl. Gods med lastbil med flytande bränslen förbrukar 3-5 gånger mer energi än motsvarande tågtransport vilket gör att effekten då kan bli suboptimal. Utfasningsutredningen delar bedömningen att en reduktionsplikt för järnvägen skulle innebära ökade kostnader och att det skulle kunna slå hårt, framför allt mot mindre aktörer som främst använder dieselfordon, men de menar att användningen av diesel inom järnvägssektorn är relativt liten och därmed inte bör få en alltför stark påverkan. Utfasningsutredningen lyfter även farhågan att ökade driftkostnader skulle kunna innebära en överflyttning från järnväg till väg, vilket skulle innebära negativa klimateffekter, men utfasningsutredningen öppnar upp för att andra stöd till järnvägssektorn kan bli aktuella (SOU2021:48).

För att istället skapa incitament för ökade järnvägstransporter som har potential att minska transportsektorns energianvändning behöver internaliseringen av externa kostnader för lastbilstrafiken öka. En sådan lösning skulle kunna vara kilometeravgifter i lastbilstrafiken för att täcka kostnader för slitage och kapacitet, vilket i så fall skulle likställa lastbilstrafiken med järnvägens banavgifter. Det andra alternativet är att sänka godstrafikens banavgifter av dessa skäl.

Notera att det inte behöver vara samma transporter som flyttas från järnväg till lastbil, som kan flyttas från lastbil till järnväg. Det handlar istället om totalvolymen som bör optimeras utifrån klimatmålen och kostnadseffektivitet.

Genom en fortsatt elektrifiering av järnvägsnätet minskar utsläppen. Elektrifiering av det kapillära nätet med strategiskt viktiga industrispår, godsterminaler och hamnar gör att ellok kan användas hela sträckan och därmed minska utsläppen, samtidigt som trafikeringskostnaderna sjunker. Genom bidrag som ekonomiskt styrmedel för andra infrastrukturägare än Trafikverket skulle det kunna bli möjligt för mindre kommuner eller hamnar att genomföra elektrifiering av delar av det kapillära nätet.

7. Diskussion och slutsatser

Järnvägen har fördelen att den till allra största delen av transportarbetet och till övervägande del av bannätet redan är elektrifierad med en fungerande teknisk lösning, kontaktledning över spåren. Fortsatt elektrifiering av kompletterande sträckor och kapillära nätet bör också genomföras för att systemeffekten av fullständig elektrifiering är stor när mer tågtrafik kan övergå från flytande bränsle till el, med väsentligt lägre trafikeringskostnader till följd. Nackdelen är avtagande marginalnytta när det är mindre och mindre trafikerade banor som kommer ifråga. En annan nackdel är viss ökad sårbarhet om det saknas fordon som kan köra på oelektrifierade banor eller om elmatningen slagits ut på elektrifierade sträckor.

För den tågtrafik som inte kan köras på elektrifierad bana bör andelen biobränsle öka för att nå klimatmålen. Av den anledningen föreslås att reduktionsplikten som innebär att en andel diesel ersätts med flytande biobränsle införs även inom järnvägstrafiken, förslagsvis från 2023.

Det finns upphandlad trafik där fordonen har förbränningsmotorer som redan klarar biobränslen och där bör regionerna och Trafikverket ställa krav på snabbare eller total övergång till biobränslen, eller det högre målet nollutsläpp vid en tidigare tidpunkt än 2045. Konsekvensen kan dock i några fall bli att dagens dieselfordon inte klarar den avsedda andelen flytande biobränsle utan dyrare ombyggnad. Vi föreslår övergångsregler för reduktionsplikten för att om möjligt mildra de negativa konsekvenserna. Eftersom omfattningen inte är känd bör effekterna studeras närmare innan beslut, men vi tror att det är möjligt med måttliga negativa effekter.

Det förväntade elpriset i framtiden är väsentligt högre än idag. Detsamma gäller flytande bränsle för förbränningsmotorer. Det ger dock en relativt liten påverkan på de direkta trafikeringskostnaderna i järnvägstrafiken, med en bedömd kostnadselasticitet mellan 0,07 och 0,15. Trots detta finns det farhågor att viss godstrafik på järnväg, främst vagnslastgods, av de ökade kostnaderna för flytande bränsle skulle lämna järnvägen och transporteras på lastbil istället, om inte motsvarande kostnadsökningar även sker inom lastbilstrafiken. Det skulle ge 3-5 gånger högre energianvändning för samma godsmängd (räknat på lastbil med flytande bränsle). Det är anledningen att vi ser ett behov av subvention av godstrafiken, eller full internalisering av lastbilstransporternas kostnader.

Vägtrafiken och framför allt lastbilstrafiken bör vara föregångare för klimatåtgärder inom järnvägstrafiken eftersom den i många fall är marknadsledande och har värre utsläppsproblem. Finns det biodrivmedel eller vätgas tillgängligt för lastbilstrafik så kommer det att finnas till rimliga kostnader för tågtrafik.

Åtgärder för att minska klimatutsläppen med elektrifiering och drivmedel med nettoutsläpp nära noll är i ett globalt perspektiv inte nog för att få hållbara transporter. Det behövs även ett transporteffektivt samhälle som effektiviserar den globala energianvändningen eftersom produktion av energi ger oönskade miljöeffekter oavsett källa. I det perspektivet är det viktigt att

järnvägstransporter är ett bättre alternativ än bil- och lastbilstransport för många resenärer och godskunder.



Figur 19. Kombitrafik, antingen med containrar eller som här lastbilstrailar som lastas på järnvägsvagnar för fjärrsträckan, är ett klimatsmart alternativ till direkt lastbilstransport. Foto: Emil Jansson

8. Referenser

- Andersson, E., Berg, M., Stichel, S., Casanueva, C. 2018. *Rail Systems and Rail Vehicles*, Text books, KTH Railway Group.
- Andersson, E., Berg, M., Nelldalm B-L., Stichel, S. 2020. *Varför behövs Nya Stambanor i Sverige?* KTH Järnvägsgruppen. Stockholm
- Bantrafik 2020. Trafikanalys, <https://www.trafa.se/bantrafik/bantrafik/>
- Fröidh, O. och Berg, M., 2019. *Framtida trafikeringskostnader och utveckling av persontågsparken*. Rapport. KTH, TRITA-ABE-RPT 1912. Stockholm
- Fröidh, O. och Berg, M., 2021. *Trafikeringskostnader för höghastighetståg*. Rapport. KTH, TRITA-ABE-RPT 2123. Stockholm
- Fröidh, O. och Kottenhoff, K., 2009. *Resandet längs Blekinge kustbana före, under och efter elektrifieringen*. Rapport. KTH TRITA-TEC-RR 09-005. Stockholm
- Garcia Álvarez, A., 2015. *Efecto de la alta velocidad ferroviaria en el consumo de energía y en los costes operativos*. Fundacion de los Ferrocarriles Espanoles (FFE), Madrid
- Inlandsbanan, 2021a. Projekt vätgas i inlandet. <https://inlandsbanan.se/projekt-vatgas-i-inlandet> (2021-10-13)
- Inlandsbanan, 2021b. Med miljön i tanken. <https://inlandsbanan.se/med-miljon-i-tanken> (2021-10-13)
- Inlandsbanan, 2021c. E-post från tf VD Mats Portinson, 2021-09-29
- Motiva, 2010. Bränslens värmevärden, verkningsgrader och koefficienter för specifika utsläpp av koldioxid samt energipriser. PM, 2010-04-20. Motiva Oy, http://www.motiva.fi/files/3206/Branslens_varmevarden_verkningsgrader_och_koefficienter_for_specifika_utslapp_av_koldioxid_samt_energipriser.pdf
- Naturvårdsverket, 2021. Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/> , 2021-10-19
- NTM, 2020. Network for Transport measures. <https://www.transportmeasures.org/en/wiki/evaluation-transport-suppliers/>
- Nyström, U., 2020. Små vinster eller stora förluster. 2020-11-11. <https://jarnvagar.nu/sma-vinster-eller-stora-forluster/>
- Railcare, 2021. <https://www.railcare.se/vi-erbjuder/maskinforsaljning/innovation-och-design/> , 2021-11-02
- SOU 2021:48. *I en värld som ställer om. Sverige utan fossila drivmedel 2040*. Betänkande av utfasningsutredningen. Del 1 och del 2. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2021/06/sou-202148/>
- Svingheim, N., 2020. Her kommer en ny hverdag for Trøndelag! *Jernbanemagasinet*, 4/2020, 24-27
- Svingheim, N., 2021a. Jernbanen må også redusere utslippene sine. *Jernbanemagasinet*, 1/2021, 42-45
- Svingheim, N., 2021b. Europa tidfester nullutslipp for jernbane. *Jernbanemagasinet*, 3/2021, 32-35

- Trafikverket, 2018. Energieffektivisering inom Trafikverket. Presentation av Björn Allebrand, 2018-10-16
- Trafikverket, 2019. Konsekvenser av nedlagd vagnslasttrafik. PM 2019-01-24. <https://www.almega.se/app/uploads/sites/9/2020/01/pm-konsekvenser-av-nedlagd-vagnslasttrafik.pdf>
- Trafikverket, 2021a. E-post från Tomas Broberg, Trafikverket 2021-09-20
- Trafikverket, 2021b. Nässjö–Värnamo, elektrifiering. <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Jonkoping/vi-bygger-och-forbattrar/nassjo-varnamo-elektrifiering/>, 2021-10-18
- Trafikverket, 2021c. Nässjö/Eksjö, elektrifiering. <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Jonkoping/vi-bygger-och-forbattrar/nassjo-eksjo-elektrifiering/>, 2021-10-18
- Trafikverket, 2021d. Sydostlänken. <https://www.trafikverket.se/nara-dig/projekt-i-flera-land/Sydostlanken/>, 2021-10-18
- Trafikverket, 2021e. Granskningshandling Elektrifiering Kimstad–Skärblacka. <https://www.trafikverket.se/nara-dig/ostergotland/vi-bygger-och-forbattrar/elektrifiering-av-jarnvagen-kimstad-skarblacka/dokument/>, 2021-10-18
- Trafikverket, 2021f. Järnvägsnätsbeskrivning 2022. <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/jarnvagsnatsbeskrivningen-jnb/jarnvagsnatsbeskrivning-2022/>, 2021-10-19
- Trafikverket, 2021g. Nationella Järnvägsdatabasen. <https://njdbwebb.trafikverket.se/>, 2021-10-29
- Transportstyrelsen, 2021. Utdrag dieselfordon i Transportstyrelsens register för järnvägsfordon. 2021-10-06
- Tågab, 2021. Intervju med Lars Yngström, VD och Anders Olofsson, fordonsansvarig, i Tågakeriet i Bergslagen AB (Tågab), 2021-09-28
- ULJ, 2021. E-post från ordförande Johan Vinberg och ångloksmästare Henrik Johansson vid Uppsala-Lenna Järnväg (ULJ), 2021-10-07
- Vida, 2021. Intervju med Lars Dahl, lokansvarig, Vida 2021-09
- VVO, 2021. *Vorbereitung des Einsatzes innovativer SPNV-Fahrzeuge im Lausitzer Revier. ENTSCHEIDUNGSPAPIER zum Einsatz einer alternativen Antriebsform im VVO-Dieselnetz. HANDLUNGSEMPFEHLUNG für das Ostsachsennetz.* Rapport, Verkehrsverbund Oberelbe (VVO). <https://www.vvo-online.de/doc/VVO-Broschuere-Alternative-Antriebe.pdf>