

TRAFIKENS EXTERNA EFFEKTER 2045

2022-01-14



TRAFIKENS EXTERNA EFFEKTER 2045

KUND

Trafikanalys

KONSULT

WSP Advisory

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7
Tel: +46 10-722 50 00
WSP Sverige AB
Org nr: 556057-4880
wsp.com

KONTAKTPERSONER

Lif Nelander
lif.nelander@wsp.com

Anders Ljungberg
anders.ljungberg@trafa.se

UPPDRAGSNAMN
Trafikens externa effekter 2045

UPPDRAGSNUMMER
10325234

FÖRFATTARE
Niklas Domeij, Maja Eskebaek,
Lif Nelander, Sirje Pädam, Eva
Wadström

DATUM
2022-01-14

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	5
1 INLEDNING	12
2 EXTERNA EFFEKTER OCH DESS PÅVERKANSAKTORER	13
2.1 EXTERNA EFFEKTER OCH MARGINALKOSTNADER	13
2.2 FAKTORER SOM PÅVERKAR TRAFIKENS MARGINALKOSTNADER	13
2.2.1 Fordonens och drivmedlens egenskaper	13
2.2.2 Infrastrukturens egenskaper	14
2.2.3 Befolkningens lokalisering och inkomstutveckling	14
2.2.4 Bakgrundsnivåer av buller och luftföroreningar	14
2.2.5 Styrmedlens betydelse	14
2.2.6 Klimatpolitikens betydelse	15
3 HISTORISK TILLBAKABLICK - TRAFIKENS EXTERNA EFFEKTER 2010–2020	16
3.1 VÄGTRAFIK	16
3.1.1 Lastbil	16
3.1.2 Personbil	17
3.2 SPÅRTRAFIK	19
3.2.1 Godståg	19
3.2.2 Persontåg	21
3.3 SJÖFART	21
3.3.1 Sjöfart-godstrafik	21
3.4 LUFTFART	23
4 UTVECKLINGEN FRAM TILL 2045	25
4.1 METOD	25
4.2 TEKNIKUTVECKLING OCH DIGITALISERING	25
4.3 EKONOMI OCH BEFOLKNING	28
4.4 STYRMEDEL	30
4.4.1 Vägtrafik	31
4.4.2 Luftfart	32
4.4.3 Sjöfart	33
4.4.4 Spårtrafik	34
4.5 TVÅ SCENARIER	35
4.5.1 Avgränsningar	35
5 TRAFIKENS EXTERNA EFFEKTER 2045	37
5.1 VÄGTRAFIK	38
5.1.1 Elektrifiering av personbilstrafiken	38
5.1.2 Elbilsförsäljningen i Sverige ökar snabbare än väntat	38
5.1.3 Elektrifiering, fordonsvikt och konsekvenser	39

5.1.4	Automatisering	40
5.1.5	Effekter av automatisering av fordonen	41
5.1.6	Tung trafik och lätta lastbilar	42
5.1.7	Huvudscenario	45
5.1.8	Alternativt scenario	48
5.2	SPÅRTRAFIK	50
5.2.1	Koldioxid	50
5.2.2	Marginalkostnad för slitage av infrastruktur	50
5.2.3	Buller	51
5.2.4	Bromsning påverkar slitage, buller och partiklar	51
5.2.5	Utvecklingen i branschen	52
5.2.6	Godstågens utveckling	52
5.2.7	Huvudscenario	53
5.2.8	Alternativt scenario	54
5.3	SJÖFART	57
5.3.1	Huvudscenario	59
5.3.2	Alternativt scenario	61
5.4	LUFTFART	62
5.4.1	Huvudscenario	64
5.4.2	Alternativt scenario	65
6	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	67
6.1.1	Övergripande slutsatser	67
6.1.2	Förändringar jämfört mot tidigare rapport	68
6.1.3	Nya faktorer som påverkar	69
7	REFERENSER	71
	BILAGA 1	75
	BILAGA 2	76

SAMMANFATTNING

Trafikanalys har gett WSP i uppdrag att utreda och analysera hur trafikens externa effekter kan utvecklas till år 2045. Externa effekter är effekter av beslut om ett visst agerande som påverkar andra, utan att den förorsakande parten tar hänsyn till påverkan. Trafiken har en mängd olika externa effekter som privatpersoner och transortköpare inte tar hänsyn till när de fattar beslut om en resa eller transport och dessa kan komma att förändras över tid. Teknisk utveckling, styrmedel, ökade inkomster och förändrad befolkningstäthet kommer att påverka hur utvecklingstakten ser ut. De externa effekter som behandlas i denna rapport är slitage av infrastruktur, buller, koldioxidutsläpp, utsläpp av övriga emissioner, olyckor och trängsel. Externa effekter beräknas som kortsiktiga marginalkostnader. En marginalkostnad är den kostnad som uppstår av en ytterligare fordonskilometer. Både person- och godstransporter behandlas för de fyra trafikslagen vägtrafik, järnväg, sjöfart och luftfart.

Det empiriska materialet består av intervjuer med forskare, utredare och andra sakkunniga som studerat den tekniska utvecklingen inom transportsektorn. Detta material har kompletterats med skrivbordsstudier gällande den tekniska utvecklingen och förväntade framtida styrmedel inom transportsystemet. Materialet ger sammantaget en metaanalys av den framtida utvecklingen. Omfattningen är bred och utvecklingen beror på en mängd faktorer utöver teknisk utveckling, så som finansiering, forskning och politiska styrmedel.

Framtidsbedömningar är av naturen osäkra och med så många faktorer är det inte möjligt att inom ramen för detta projekt göra konkreta prognoser. Flera av de intervjuade har omedvetet eller medvetet tagit en målstyrd eller teknikstyrd ansats. Utifrån dessa två perspektiv har två scenarier utforskats för analysen, ett huvudscenario där trafiken antas vara fossilfri 2045 och ett alternativt scenario där transportsystemet delvis bedöms vara fossilfritt, men inte fullt ut.

För att tänka 25 år framåt i tiden är ett första steg att fundera över hur tekniken såg ut 25 år bakåt i tiden. År 1996 hade digital teknik funnits under en tid, men den breda kommersialiseringen och uppkopplingen av konsumentprodukter började först på 00-talet. Idag, 2022 har den digitala tekniken letat sig in i transportsystemet vilket innebär stora möjligheter att övervaka och styra fordon centralt, övervaka tekniska detaljer på fordon och planera transporterna därefter. Det finns alltså skäl att tro att det kommer att hända mycket även framöver.

Teknikutvecklingen går allt snabbare framåt och påverkar samhället i stort även inom infrastruktur och framtidens fordon. Flera av de intervjuade understryker att det är kombinationen av elektrifiering, digitalisering och automatisering som nu möjliggör snabb förändring.

Elektrifieringen är den förändring som kan spela störst enskild roll för att minska transportsystemets samhällsekonomiska kostnader. Genomslagskraften skiljer sig väsentligt mellan trafikslagen, även om tekniken förekommer inom de trafikslag som behandlas i den här rapporten. EU har stort fokus på elektrifiering och dess roll kommer att vara avgörande för hur snabbt tekniker kommersialiseras.

Omställningen till ett fossilfritt samhälle driver också på ett ökat intresse för alternativa drivmedel. Hit räknas alkoholer, metanbaserade drivmedel som exempelvis metanol, biodrivmedel baserat på vegetabilisk olja och vätgas för förbränning. Elektrobränslen är ytterligare ett alternativ, men kostnaden är fortfarande hög idag.

Eftersom uppskattningar av en del av trafikens externa effekter baseras på betalningsviljestudier är marginalkostnaderna därför kopplade till befolkningens inkomst. För värderingen av de externa effekterna innebär det att, allt annat lika, marginalkostnaderna för de betalningsviljebaserade värderingarna ökar då BNP per capita förväntas öka. Eftersom den prognosticerade BNP-tillväxten är lägre än för tidigare perioder är dock möjligheterna större för den tekniska utvecklingen att övervinna det stigande förväntningarnas missnöje.

En annan aspekt som kommer att påverka hur trafikens externa effekter utvecklas är lokalisering av befolkningen och befolkningstäthet, det vill säga antal boende per kvadratkilometer. Statistiska centralbyråns befolkningsframskrivningar prognosticerar en ökning av befolkningen och en ökad andel av befolkningen som bor i tätort. Ju fler som bor per kvadratkilometer, desto mer trafik genereras per ytenhet och desto fler människor påverkas av de externa effekterna.

Teknikutveckling, ekonomi och befolkningstäthet är tre aspekter som påverkar hur trafikens framtida externa effekter ser ut. Styrmedel är en fjärde faktor. I stort är utvecklingen av styrmedel beroende av utvecklingen på EU-nivå. Utifrån det insamlade materialet framkommer en bild av att EU:s styrning kommer att bli starkare till 2045. En stor fråga på EU-nivå är hur handelssystemet för utsläppsätter, EU ETS, kommer att utvecklas och utökas, eller hur liknande system förs över till nya sektorer. I dagsläget ingår flyg i handelssystemet, men inte vägtrafik, sjöfart eller järnväg. I EU:s program Fit for 55 som lades fram i juli 2021 ingår förslag att vägtransporter och uppvärmning av byggnader hanteras i ett separat handelssystem för utsläppsätter, medan sjöfarten föreslås inkluderas i befintligt handelssystem

TVÅ SCENARIER TILL 2045

I huvudscenariot i denna rapport så antas det att det långsiktiga klimatmålet om att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp i atmosfären år 2045 nås inom transportsektorn genom att utsläppen närmar sig noll.

I det alternativa scenariot antas det att minskningen av utsläppen inom transportsektorn inte kommer nå fullt lika långt och fossilfrihet nås inte i lika stor utsträckning. Eftersom Sveriges långsiktiga utsläppsmål är formulerat som ett generellt mål för alla sektorer så finns det en möjlighet att det övergripande målet nås även i det alternativa scenariot. Det beror på vilken utveckling som sker inom andra sektorer utöver transportsektorn. De kvarvarande utsläppen som antas ske inom transportsektorn skulle i så fall i det alternativa scenariot behöva kompenseras för med kompletterande åtgärder, exempelvis genom upptagande av koldioxid i skog och mark eller genom investeringar utanför Sveriges gränser. Eftersom denna rapport fokuserar på transportsektorn och trafikens externa effekter så görs ingen

bedömning om det övergripande målet nås eller inte i det alternativa scenariot. Det vi kan bedöma är på vilket sätt trafikens externa effekter utvecklas olika i huvudscenariot där trafiken antas vara fossilfri, och i det alternativa scenariot där trafiken går mot fossilfrihet men inte når lika långt. I huvudscenariot utgår vi från att trafiken är fossilfri.

VÄGTRAFIK

Vägtrafiken är den största källan till externa effekter i transportsystemet idag men förändras också snabbast av de fyra studerade trafikslagen. Skillnaden i förändring är relativt stor mellan olika fordonsslag inom vägtrafiken. Utvecklingen för personbilar ligger före.

Stora delar av personbilsbranschen är idag inne i en övergångsfas mot elektrifiering. Merparten av de stora europeiska biltillverkarna har nu valt strategin att gå mot elektrifiering. De intervjuade bedömer att elektrifieringen av personbilsflottan nu kommer att ske även utan styrmedel.

Med elektrifieringen av vägtrafiken kommer den generella reskostnaden att minska. När priset sjunker finns en risk att efterfrågan ökar och därmed även en risk att transportarbetet ökar. För att motverka att det leder till stor ökning av externa effekter, från biltrafik framför allt, diskuteras avståndsbaserade vägskatter. Vidare kommer reduktionsplikten inte att ha sin nuvarande form 2045. Det finns en plan för dess utveckling fram till 2030 och vad som därefter följer finns det i nuläget endast förslag på. Ju större andel av flottan som är elektrifierad desto mindre roll kommer reduktionsplikten att spela.

I huvudscenariot antas att personbilstrafiken är elektrifierad år 2045, att den tunga trafiken är elektrifierad i tätorter samt att de långväga transportererna är elektrifierade till stor del och kvarvarande tung trafik använder biobränsle. Marginalkostnaden för externa effekter av koldioxid minskar till nära noll. Vidare är personbilstrafiken delvis automatiserad men kilometerskatt för samtliga fordon begränsar risken för ökad trängsel. Den automatiserade kollektivtrafiken står för en högre andel av resorna, där gränsen mellan moped, personbil, minibuss och buss till viss del luckras upp. Den semiautomatiserade körningen minskar trängselproblematiken på motorvägar och andra vägar i anslutning till tätort där systemen själva kan anpassa hastighet och avstånd efter fullständig trafikinformation. Detta minskar trängseln. En lägre körkostnad och latent efterfrågan leder till ökad trafik trots kilometerskatt vilket fyller ut den lediga kapacitet som den automatiserade körningen tillför. Personbilarna förväntas ha motsvarande vikt som idag och eventuell utökning av vikten står i paritet till motsvarande ökning av utrymme i fordonen för passagerare. Detta är centralt för effekterna på buller och övriga emissioner. Vikten bedöms inte ha ökat mer än lastkapaciteten för tunga lastbilar på grund av effektivare batterier och vätgasdrift. Mängden gods per fordonsvikt är oförändrad och marginalkostnaden för infrastruktur på grund av slitage är oförändrad.

De tunga fordonen förväntas automatiseras på långväga trafik och delvis köras trådlöst på distans. Olyckor med lastbilar minskar, men inte i samma utsträckning som för personbilar. Lastbilarnas tekniska system innebär ökade säkerhetsfunktioner men äldre lastbilar rullar fortfarande. Busstrafiken

blir säkrare för oskyddade trafikanter, vidare är busstrafiken i tätort helt elektrifierad och ingen busstrafik går sedan länge på fossila drivmedel.

I det alternativa scenariot sker också en elektrifiering av biltrafiken samt övergång till vätgas och biodrivmedel för den återstående tunga trafiken. Den tunga trafiken förväntas bara vara elektrifierad till drygt 50 procent i stadstrafik som ett resultat av brist på råvaror för elektrifiering. Det leder till att marginalkostnaden för koldioxid är noll eller nära noll. Personbilstrafiken är automatiserad utanför tätort och delvis även i tätort. Den generella körkostnaden är lägre än idag vilket innebär ökad trafik på vägarna. Den automatiserade kollektivtrafiken med buss står för en högre andel av resorna, men används främst av personer med lägre inkomster. Den genomsnittliga personbilen har ökat i vikt i strävan på högre komfort. Vikten på tunga fordon som använder batteri har ökat på grund av ökad efterfrågan på batterikapacitet samtidigt som råvarubristen satt gränser för batteriernas utveckling. Detta leder sammantaget till ökade marginalkostnader för emissioner av slitagepartiklar och buller per fordonskilometer. Tidsvärderingen för att resa med personbil motsvarar resande med tåg då förare inte behövs vid resor med personbil via mobilitetstjänster men samtidigt bedöms värderingen av tid öka. Sammantaget leder det till en ökad marginalkostnad för trängsel.

SPÅRTRAFIK

Tågens utvecklingscykel är betydligt längre än för vägtrafiken, tågen som säljs på marknaden idag kommer med största sannolikhet att rulla år 2045. Enligt de intervjuade kan vi räkna med noll andel fossila drivmedel 2045 i järnvägstrafiken. Förändringen i utsläpp blir dock mycket liten eftersom andelen el är hög redan i utgångsläget. De stora externa marginalkostnaderna för järnvägstrafiken är slitagekostnad av infrastruktur, olyckor och buller.

För spårtrafik är den största frågan hur knappheten i systemet ska hanteras och vilken typ av styrmedel som kan reglera det. Från intervjuerna framkommer att denna diskussion har börjat luckras upp under de senare åren, men om knapphet kommer att prissättas i tidsperspektivet till 2045 är däremot tveksamt.

Den digitala tekniken används för ökad övervakning av komponenter på tågen vilket ger operatörerna bättre möjligheter att åtgärda fel och anpassa service. Skeva hjul eller brister i hjulupphängning kan åtgärdas i tid och därmed minska kostnaderna för slitage. Enligt våra intervjuer bör det få en positiv effekt och innebära lägre underhållskostnader för slitage år 2045. Utvecklingen går även mot lägre bullernivåer för ett enskilt tåg och utvecklingen av marginalkostnaden för buller kan i stället avgöras av tågets fördelning mellan tätort och landsbygd. Det kan alltså vara svårt att motverka det ökande antalet individer som påverkas av buller vid förtätning i tätorter. Det är sannolikt att buller från persontågens bromsar kan minska till 2045. Däremot minskar inte slitaget då bromskraften är densamma mot rälsen.

Generellt kan godstågen sägas gå samma utveckling som persontågen, men långsammare, exempelvis inom elektrifiering och hjulupphängningar.

I huvudscenariot är all tågtrafik fossilfri, går på batteridrift eller i vissa fall på de få banor där el saknas används biodrivmedel eller elektrobränslen. Energiförbrukningen effektiviseras något. Minskningen blir liten då nivån i utgångsläget är mycket låg men marginalkostnaden för koldioxid går mot noll. Även marginalkostnaden för övriga emissioner går mot noll då förbränningsmotorer knappt finns kvar.

Den grundläggande tekniken i tågen är huvudsakligen densamma men bromsarna har blivit tystare. Loken med vagnar för persontåg har fasats ut vilket gör att andelen persontåg med modern hjulupphängning ökar. Även på godssidan har hjulupphängningarna blivit bättre men når inte upp till samma tysta standard som i persontågen. Vagnarna har digitaliserats allt mer vilket får en positiv effekt på slitaget på banorna. Digitaliseringen effektiviserar underhåll och minskar slitage på banan i viss utsträckning. Huvuddelen av slitaget kvarstår dock. Detta gäller både godståg och persontåg. De externa effekterna på grund av slitage på infrastruktur minskar totalt sett.

Skillnaderna i alternativscenariot jämfört med huvudscenariot är få för spårtrafiken. Även i alternativscenariot är all tågtrafik fossilfri, batteridriven eller i vissa fall används biodrivmedel eller elektrobränslen för de få banor där el saknas. Energiförbrukningen effektiviseras något. Minskningen av koldioxidutsläpp blir liten i absoluta tal då nivån i utgångsläget är mycket låg men minskningen i andelar av nuvarande utsläpp blir stor när det går till noll eller nära noll.

Godstågens kapacitet är motsvarande som dagens. Den totala vikten ökar vilket ökar buller per fordonskilometer, men inte per tonkilometer. Högre hastighet för persontågen och förtätning av befolkningen i tätorter kan bidra till ökade marginalkostnader för buller. Denna ökning kan vägas upp av något fler passagerare och bullerskydd men eftersom även högre värderingar på grund av ökade inkomster bidrar till ökade marginalkostnader är den sammantagna bilden en ökning. I det alternativa scenariot antas inte heller antalet passagerare öka i samma utsträckning marginalkostnaden för buller ökar även där.

Antalet planskilda korsningar har ökat och säkerheten förbättrats på en markant andel av de plankorsningar som kvarstår. Bättre digital teknik för övervakning av spårområden minskar spårspning. Sammantaget minskar marginalkostnaden för olyckor men inte tillräckligt för att nå noll. Det motverkas också av högre värdering av olyckor på grund av ökade BNP per capita. Detta gäller både huvudscenariot och det alternativa scenariot.

SJÖFART

Sjöfartens externa kostnader består till största delen av utsläpp av koldioxid. Olyckskostnaden i sjöfarten är den näst största kostnaden av de externa effekterna och beror på olyckor inom sjöfarten, dock inte i hamn och terminaler.

I huvudscenariot är utgångspunkten att en omställning mot hållbara drivmedel för sjöfarten tvingas fram, dels genom upphandling i inrikestrafiken dels genom EU-direktiv. De internationella transporterna som styrs av internationella regelverk har gått över till LNG i relativt stor skala.

Den stora förändringen inom sjöfarten är byten av bränslen, vilket motiveras av minskade utsläpp av koldioxid och som kommer på plats tack vare starka styrmedel. Övriga emissioner har relativt små direkta externa kostnader på grund av att utsläppen sker på avstånd från tätort. Målsättningen i EU-kommissionens forskningsagenda är att fartyg som färdas inom EU till år 2035 har fossilfri energilagring för att kunna köra fossilfritt till och från hamn. Detta bör minska de lokala utsläppen av partiklar och därmed de externa kostnaderna för övriga emissioner. Marginalkostnaden för koldioxid nationellt samt övriga emissioner minskar till noll eller nära noll. Internationell godstrafik utgör medparten av trafiken och där är minskningen inte lika stor.

I det alternativa scenariot har inga starka styrmedel införts via IMO, EU-direktivet har ej antagits och för att hålla nere kostnader har den offentligt upphandlade trafiken inte utsatts för krav. Resultatet är att fartyg inom EU och nationellt har i stort sett samma bränsle som idag. På korta distanser har elektrifiering påbörjats. Vissa fartyg drivs med ammoniak som minskar utsläppen men är farligt för människor vid läckage och därför bedöms ha en negativ påverkan på hälsan hos besättningen. Marginalkostnaden för olyckor ökar, medan marginalkostnaderna för koldioxid och övriga emissioner minskar nationellt. Internationell godstrafik motverkar denna minskning något, men väger inte över nettoeffekten.

Marginalkostnaden för infrastruktur i form av isbrytning minskar på grund av tunnare istäcke på grund av högre temperaturer. Detta bedöms gälla både för huvudscenariot och det alternativa scenariot.

LUFTFART

I dagsläget har elektrifieringen inom luftfart inte kommit lika långt som för vägtrafiken, men det satsas mycket pengar. Styrmedel som kommer att vara avgörande för utvecklingen av flygets externa effekter är EU:s handelssystem, flygskatten och reduktionsplikten.

I huvudscenariot antas att även luftfarten är fossilfri. För att branschen ska hinna nå det målet fram till 2045 så kommer allt fokus att ligga på biodrivmedel. Målet om fossilfrihet inom luftfart till 2045 kan endast nås om höghöjdseffekterna inte räknas in. Reduktionsplikt kommer, tillsammans med EU:s handelssystem, att behöva styra skarpt för att målet ska nås. Den reduktionsplikt som trädde i kraft 2021 har en planerad upptrappning till 2030 då 27 procent av flygets drivmedel ska vara inblandat biodrivmedel. Därefter kommer andelen behöva öka ytterligare.

Marginalkostnaden för koldioxidutsläpp minskar till noll eller nära noll eftersom flygen använder biodrivmedel. Höghöjdseffekterna kvarstår dock, alternativt minskar något då viss forskning pekar på det. Marginalkostnaden för buller minskar då den marginalkostnad som finns i dagsläget till stor del beror på att Bromma är i drift och till 2045 antas att Bromma flygplats inte har någon trafik.

I det alternativa scenariot är inte luftfarten fossilfri år 2045. Biodrivmedel är det dominerande drivmedlet men det används inte till 100 procent. Eftersom det inte har varit fullt lika stort fokus på biodrivmedel så har det funnits utrymme för mer resurser till utveckling av el- och vätgasflyg. Resor över

städer men även kortare regionala resor kan ersättas av elflyg. EU:s utsläppshandelssystem och en reduktionsplikt på EU-nivå styr relativt starkt, men har inte trappats upp i samma takt efter 2030 som i huvudscenariot.

Marginalkostnaden för koldioxid minskar även i det alternativa scenariot, men inte i lika stor utsträckning. Marginalkostnaderna för övriga emissioner minskar något relativt dagens nivå.

För buller gäller samma som i huvudscenariot och marginalkostnaden kommer att minska då bedömningen är att Bromma flygplats inte längre kommer att trafikeras.

1 INLEDNING

Trafikanalys har gett WSP i uppdrag att utreda och analysera hur trafikens externa effekter kan se ut år 2045. Det finns många olika faktorer som påverkar de framtida externa effekterna. Teknisk utveckling, styrmedel, ökade inkomster och förändrad befolkningstäthet kommer att påverka hur utvecklingstakten ser ut. De externa effekter som behandlas i denna rapport är slitage av infrastruktur, buller, koldioxidutsläpp, utsläpp av övriga emissioner, olyckor och trängsel. Både person- och godstransporter behandlas för de fyra trafikslagen vägtrafik, järnväg, sjöfart och luftfart.

Huvudfrågan att utreda i uppdraget är vad vi kan förvänta oss för externa effekter i framtiden, det vill säga: hur ser trafikens externa effekter ut 2045? I uppdraget ingår också att närmare förklara utvecklingen bland annat i termer av teknisk utveckling och styrmedel. För att till viss del kunna ta hänsyn till osäkerhetsfaktorer som alltid uppkommer vid framtidsbedömningar har två scenarier för respektive trafikslag definierats. Ett huvudscenario där trafiken antas vara fossilfri 2045 och ett alternativt scenario där transportsystemet delvis bedöms vara fossilfritt, men inte fullt ut.

I kapitel 0 beskrivs vad externa effekter och marginalkostnader är samt vilka faktorer som påverkar dem. I kapitel 3 görs en historisk tillbakablick över marginalkostnaderna för de externa effekterna 2010–2020 utifrån Trafikanalys årliga rapport Transportsektorns samhällsekonomiska kostnader. I kapitel 0 beskrivs förväntad generell utveckling inom teknik, ekonomi och befolkning samt styrmedel och i kapitel 0 beskrivs de externa effekternas utveckling i ett huvudscenario och ett alternativt scenario för respektive trafikslag. Kapitel 0 presenterar slutsatser och vidare diskussion.

Rapporten är skriven av Lif Nelander (projektledare), Niklas Domeij, och Sirje Pädam på WSP. Eva Wadström samt Maja Eskebaek har även de deltagit i arbetet under projektets gång.

2 EXTERNA EFFEKTER OCH DESS PÅVERKANSAFATORER

Externa effekter är effekter av beslut om ett visst agerande som påverkar andra, utan att den förorsakande parten tar hänsyn till påverkan. Externa effekter finns i många olika sammanhang i samhället, trafiken är ett sådant sammanhang.

2.1 EXTERNA EFFEKTER OCH MARGINALKOSTNADER

Trafiken har en mängd olika externa effekter som privatpersonen eller transortköparen som fattar beslut om en transport inte tar hänsyn till vid beslutsfattandet. Exempelvis kostnader som uppstår genom att fordon sliter på väg eller räls, att de bullrar, släpper ut föroreningar, orsakar trängsel och ökar risken för trafikolyckor för andra trafikanter. När den externa effekten är negativ och inte har internaliserats, det vill säga inkluderats i priset, så kommer den att bli större än vad som är samhällsekonomiskt önskvärt. Om kostnaden för den negativa externa effekten är känd finns det möjlighet att ta hänsyn till den i priset, internalisera den, genom skatter och avgifter.

Externa effekter har sedan början av 2000-talet beräknats som kortsiktiga marginalkostnader när de ska utgöra grunden för prissättning. En marginalkostnad är den kostnad som uppstår av en ytterligare fordonskilometer och begreppet används för att betona att det finns variationer av de externa kostnaderna som beror på trafikens omfattning och dess konsekvenser. Marginalkostnader uttrycks i enheter som kronor per fordonskilometer, kronor per personkilometer för persontrafik eller kronor per bruttotonkilometer för godstrafik.

2.2 FAKTORER SOM PÅVERKAR TRAFIKENS MARGINALKOSTNADER

I följande kapitel redogörs för vilka faktorer som påverkar trafikens marginalkostnader för de externa effekterna.

2.2.1 *Fordonens och drivmedlens egenskaper*

Egenskaper hos fordonen har betydelse för storleken på marginalkostnader för i stort sett alla kostnadskomponenter. Storleken på avgasutsläppen från vägfordon påverkas av avgasreningen och bränsleförbrukningen. Vilken typ av drivmedel som används har också betydelse för avgasutsläppen (exempelvis valet mellan bensin, diesel, biodrivmedel eller el). Buller, vägslitage och även till viss del risken för trafikolyckor påverkas av vilka däck som används. För tunga vägfordon har fordonets vikt och antalet hjulaxlar vikten fördelas på en stor påverkan på vilket vägslitage som fordonen ger upphov till. Fordonsegenskaperna har också betydelse för trafikolyckor, dels gällande skydd av förare och passagerare, dels samexistensen av system som förhindrar olyckor så som autobroms och anti-sladdsystem. Storleken och vikten på fordonet i relation till övriga fordon har också en betydelse för hur illa ett fordon skadar andra trafikanter vid en olycka¹.

¹ (Trafikanalys, 2021a)

När det kommer till slitage och buller för järnvägstrafiken finns stora variationer mellan olika fordon. Däremot har järnvägsfordonens egenskaper i princip ingen betydelse när det kommer till olyckor (med övriga trafikanter). Inom sjöfarten finns en stor variation mellan olika fartyg när det gäller emissioner i form av både kväveoxider, svavel och koldioxid där bränsleval, reningsutrustning och bränsleförbrukning är av vikt.

2.2.2 Infrastrukturens egenskaper

Infrastrukturen kan förändras i framtiden vilket kan komma att påverka marginalkostnaderna.

För vägtrafiken kan faktorer som vägbeläggning påverka buller, vägslitage och trafiksäkerhet. Räls och underbyggnad har betydelse för slitage och buller gällande järnväg.

Trafiksäkerheten påverkas av faktorer så som mittseparering, för järnväg påverkas marginalkostnaden av utformningen av plankorsningar.

2.2.3 Befolkningens lokalisering och inkomstutveckling

Marginalkostnader förknippade med buller och luftföroreningar uppstår främst genom påverkan på människor i trafikens närhet. Hur befolkningen är lokaliserad i relation till trafikarbetet har därför en stor påverkan på marginalkostnaderna. För att uppskatta marginalkostnaderna relaterade till störning eller påverkan på hälsa har betalningsviljestudier för att undvika buller eller förtidig död använts. Inkomsterna har en stor betydelse för betalningsviljan och högre inkomster innebär högre värderingar av buller och hälsa.

2.2.4 Bakgrundsnivåer av buller och luftföroreningar

För luftföroreningar har bakgrundshalten betydelse för hur pass mycket ytterligare ett gram utsläpp påverkar hälsan². Det finns icke-lineariteter samt tröskeleffekter som innebär att ett visst utsläpp kan skapa betydligt större kostnader om bakgrundshalten är hög snarare än låg. En förbättrad luftkvalité innebär att marginalkostnaden från avgasutsläpp minskar. Gällande buller gör en hög bakgrundsbullernivå att ytterligare ett fordon kommer bidra mindre till den totala bullernivån jämfört med när bakgrundsbullret är lågt³.

2.2.5 Styrmedlens betydelse

För att en kostnad ska antas vara fullt internaliserad krävs att den som fattar beslut om att och hur en transport ska genomföras också möter den fulla kostnaden som uppstår till följd av beslutet⁴.

Styrmedel har en stor påverkan på de val som görs gällande fordon, rutter och beteende i trafiken. Hastighetsgränser påverkar val av fordonens faktiska hastighet, vilket har betydelse för både trafiksäkerheten, bränsleförbrukning och buller. Avgaskrav har betydelse för vilka utsläpp som fordon skapar. Skatteregler eller kvantitetsregleringar som till exempel

² (Trafikanalys, 2021a)

³ (Trafikanalys, 2021a)

⁴ (WSP, 2015)

reduktionsplikten bestämmer i vilken utsträckning som fossila drivmedel ersätts med biodrivmedel vilket i sin tur minskar koldioxidutsläppen.

2.2.6 Klimatpolitikens betydelse

Hur eventuella koldioxidutsläpp från produktion av biodrivmedel eller elektricitet ska hanteras är en fråga som behöver hanteras i en framtid där fossila drivmedel i stor utsträckning ersätts med biodrivmedel och elektricitet. Koldioxidutsläppen från trafik med bensin- och dieseldrivna fordon beräknas idag utifrån bränslets innehåll av fossilt kol. Detta betyder att biodrivmedel och elanvändning inte ger upphov till några koldioxidutsläpp (inom transportsektorn) och därmed inga marginalkostnader för koldioxidutsläpp.

På vilket sätt koldioxidutsläpp från produktion av biodrivmedel och elektricitet ska inkluderas i marginalkostnaderna beror på vilken, om någon, klimatpolitik som finns i de sektorer där utsläppen sker⁵. Om produktionen förväntas ske inom en sektor som är reglerad med ett bindande utsläppstak innebär förbrukning av biodrivmedel och elektricitet ingen ökning av de globala koldioxidutsläppen. Ett exempel på detta är att de företag som behöver öka sin produktion och därmed sina utsläpp, måste köpa utsläppsrätter av andra företag som i sin tur minskar sina utsläpp i motsvarande omfattning. Ett bindande utsläppstak säkerställer att utsläppen inte ökar inom den större geografiska området som utsläppstaket gäller för, oavsett om utsläppstaket är korrekt satt i relation till de skador som klimatförändringen ger⁶.

Däremot uppstår en kostnad genom att ökade utsläpp från produktion av biodrivmedel och elektricitet innebär att andra aktörer måste minska sina utsläpp i motsvarande mån för att utsläppsmålet ska nås. En kostnad uppstår alltså hos en annan aktör och frågan som avgör om utsläppen är internaliserade är om den som orsakar denna kostnad också betalar för detta. Utsläppen kan antas vara internaliserade om utsläppen betalas genom utsläppsrätter eller med en koldioxidskatt som är satt för att klara en bestämd utsläppsnivå⁷.

Det är först i en situation där det finns koldioxidutsläpp som inte är reglerade som frågan om externa effekter från koldioxid vid produktion av el och biodrivmedel aktualiseras⁸. Så frågan är därmed vad vi tror om klimatpolitiken i framtiden, tror vi på en framtida framgångsrik klimatpolitik är det rimligt att föreställa sig att huvuddelen av de utsläpp som sker kommer att vara reglerade och därmed internaliserade.

Om så inte blir fallet så är en möjlig väg att beräkna de externa kostnaderna för koldioxid från biodrivmedel genom livscykelanalys där man endast tar med utsläpp som inte är reglerade under ett utsläppstak.

En metod för att göra detta är att först beräkna vilka utsläpp som produktion av elektricitet eller biodrivmedel ger upphov till. Den kostnad som dessa utsläpp ger upphov till består av kostnaden för att reducera utsläpp av koldioxid för andra aktörer i utsläppsbubblan i det fall då det finns ett bindande utsläppstak. I ett handelssystem består den kostnaden av priset på utsläppsrätter och genom koldioxidskatten är det skattenivån. Om utsläppen är reglerade och prissatta genom utsläppshandel eller belagda

⁵ (WSP, 2015)

⁶ (WSP, 2015)

⁷ (WSP, 2015)

⁸ (WSP, 2015)

med skatt uppstår ingen extern marginalkostnad – den skatt eller kostnad för utsläppsrätt som producenten har betalat är inkluderad i priset som konsumenten möter. De utsläpp som inte är reglerade återstår i beräkningen av de externa marginalkostnaderna och värderas rimligtvis på samma sätt som de internaliserade utsläppen, det vill säga med en minskningskostnad⁹.

3 HISTORISK TILLBAKABLICK - TRAFIKENS EXTERNA EFFEKTER 2010–2020

Sedan 2010 rapporterar Trafikanalys årligen trafikens externa kostnader. Resultat från dessa årliga rapporter har WSP tidigare sammanställt för att få en överblick av hur de externa kostnaderna har utvecklats över tid¹⁰. I den sammanställningen finns värden för åren 2010–2018 och inom arbetet med denna rapport har dessa siffror kompletterats med år 2019 och 2020 från Trafikanalys årliga rapportering för dessa år¹¹. I följande avsnitt presenteras historiska data i ett urval av diagram över marginalkostnader för olika trafikslag som följer samma redovisning som WSP:s tidigare sammanställning för åren 2010–2018. Samtliga priser har med konsumentprisindex (KPI) räknats om till prisnivån för augusti 2021.

3.1 VÄGTRAFIK

För vägtrafik är de relevanta externa effekterna som har värderats slitage av infrastruktur, olyckor, övriga emissioner, buller och koldioxid.

3.1.1 Lastbil

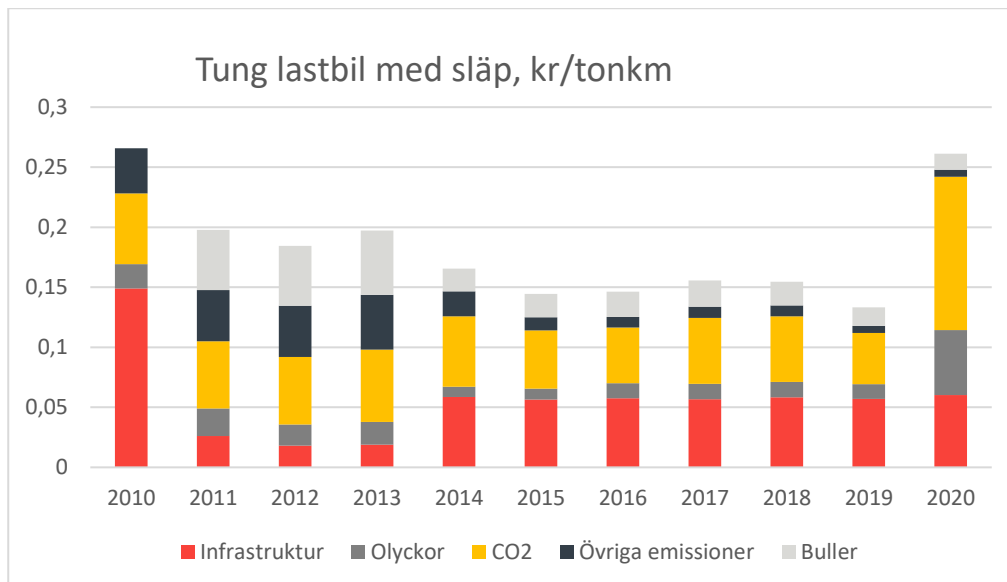
I Figur 1 visas utvecklingen av skattade marginalkostnader för tung lastbil med släp i kronor per tonkilometer. Kostnaderna anger ett genomsnitt för tung lastbil med släp och är viktade för landsbygd respektive tätortstrafik. Viktat medelvärde för landsbygd och tätort baseras på trafikarbetsfördelningen på landsbygd respektive i tätort¹². Det förekommer en hel del variationer över tid.

⁹ (WSP, 2015)

¹⁰ (WSP, 2020)

¹¹ (Trafikanalys, 2020; Trafikanalys, 2021b)

¹² För mer detaljerad beskrivning se Trafikanalys (2021b)



Figur 1. Marginalkostnad för tung lastbil med släp, kr/ton km i 2021 års priser – enligt kostnadskomponenter (viktat genomsnitt).

År 2010 var kostnaden för infrastruktur högre än efterföljande år då den redovisades som summan av kort- och långsiktig marginalkostnad. Efterföljande år innehöll endast kortsiktig marginalkostnad. I beräkningarna från 2010 saknas även en kostnad för buller. Från och med 2014 förändrades beräkningen för buller och övriga emissioner då nya värden i Samkost 1 användes¹³. Belägningsgraden (lastfaktorn) höjs successivt (med något undantag) från 2016 till 2018 för tung lastbil med släp från 17,4 till 20 ton. Sammantaget minskar den verkliga kostnaden för övriga emissioner över tid.

I Trafikanalys rapportering för trafikens externa kostnader 2019 är utsläpp av koldioxid beräknade med en värdering om 1,14 kronor per kg (från då gällande ASEK 6.1) samt den av ASEK och Trafikverket då kommande högre värderingen 7 kronor per kg. I Figur 1 och fortsättningsvis i detta kapitel har endast den lägre värderingen på 1,14 kr per kg använts för 2019, 2020 är kostnaden för utsläpp av koldioxid satt till 3,5 kr/kg¹⁴. För mer detaljerad förklaring se Bilaga 2.

Det bör vidare noteras att olyckskostnaden 2020 baseras på ASEK 7.0¹⁵. Kostnaderna är uppdaterade med de högre olycksvärderingarna och inkluderar endast extern andel av olyckskostnaden enligt ASEK 7.0. De högre olyckskostnaderna har ökat marginalkostnaden avsevärt i tätort och också på landsbygd för tunga fordon.

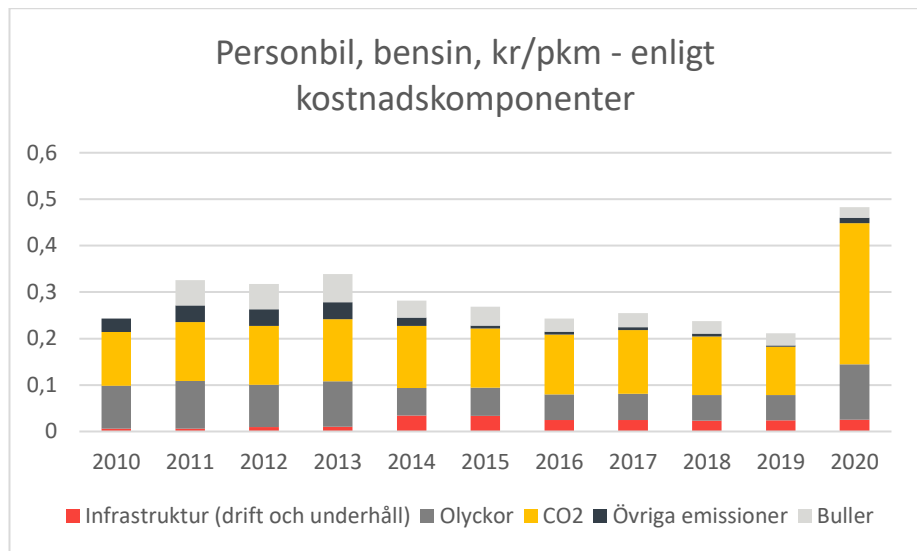
3.1.2 Personbil

I Figur 2 visas utvecklingen av skattade marginalkostnader för bensindrivna personbilar. På samma sätt som för lastbil presenterat ovan är kostnaderna för personbil viktade för landsbygd respektive tätortstrafik.

¹³ Med övriga emissioner avses: CO, HC (NMVOC), NOx, PMavgas och SO₂. (WSP, 2020; Nilsson & Johansson, 2014)

¹⁴ (Trafikanalys, 2021a)

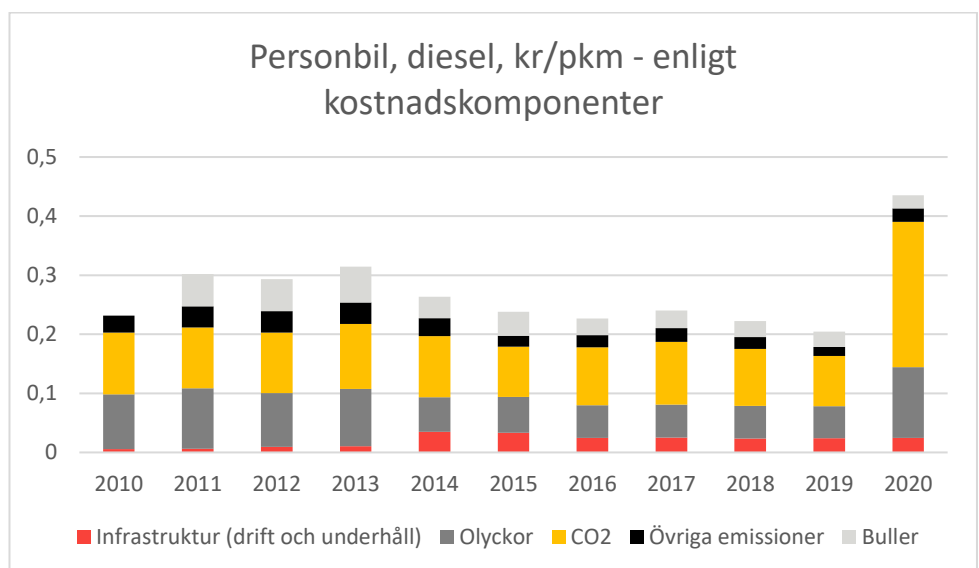
¹⁵ (Trafikverket, 2020a)



Figur 2. Marginalkostnad för personbil, bensin fördelat på kostnadskomponenter kr/pkm, i 2021 års priser.

Framför allt har de enskilda kostnadskomponenterna förändrats. Variationen av marginalkostnaderna över tid är dock inte lika tydlig som för lastbil, detta beror på lägre marginalkostnader för slitage för personbilar. Kostnaden för infrastruktur är densamma 2010 och 2011. Övergången från summan av kort- och långsiktig marginalkostnad till kortsiktig marginalkostnad efter 2010 gör därför ingen skillnad för personbil. Från och med 2014 förändras infrastruktur- och bullerkostnaderna till följd av nya värden i Samkost 1. Precis som för lastbil finns en markant kostnadsminskning mellan 2013–2014, troligtvis till följd av utgivningen av Samkost 1 där beräkningen av buller och övriga emissioner förändras och skrivs ner.

Beläggingsgraden för personbilar är oförändrad fram till 2018 (då den skrivs upp från 1,5 till 1,7 personer per bil), vilket gör att kostnaden per personkilometer minskar mellan 2017 och 2018.



Figur 3. Marginalkostnad för personbil, diesel, kronor per personkilometer i 2021 års priser.

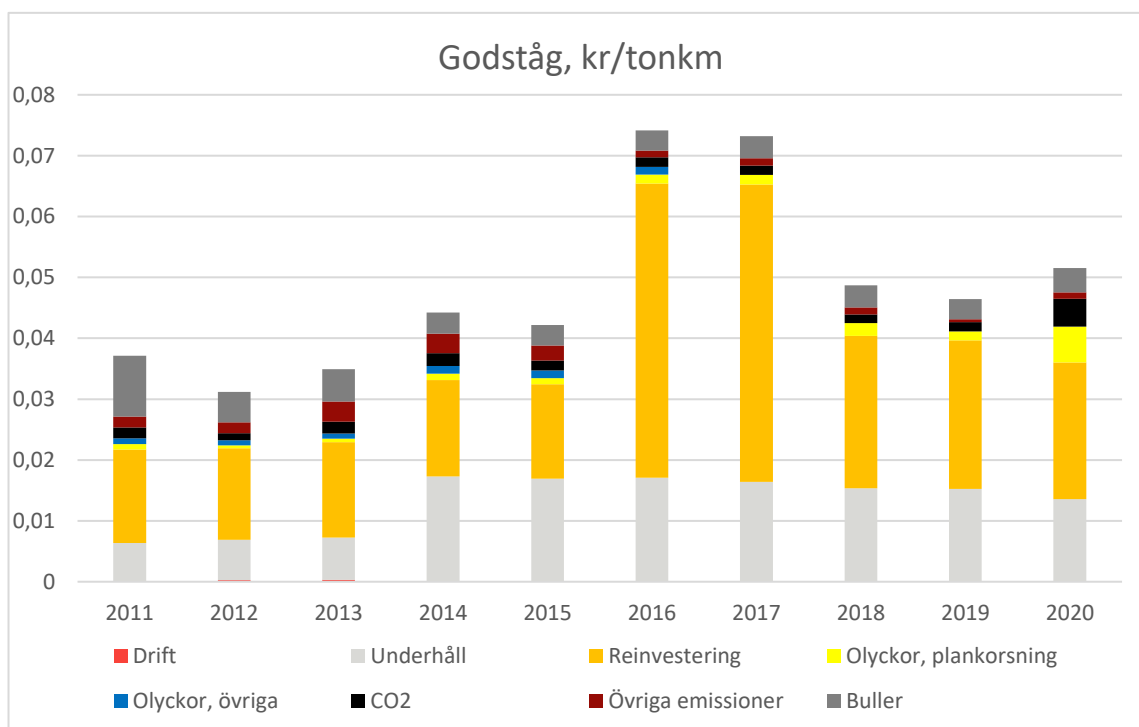
Figur 3 ovan visar utveckling av skattade marginalkostnader för dieseldrivna personbilar uttryckt i kronor per personkilometer fördelat på kostnadskomponenter.

Precis som för lastbil ses en markant kostnadsökning mellan 2019 och 2020 för olyckor samt koldioxid. Förändringen i olyckskostnader förklaras av att kostnaderna är uppdaterade enligt ASEK 7,0 med en ny högre olycksvärdering. Skillnaden i kostnad för koldioxid förklaras av att kostnad för koldioxidutsläpp 2020 är satt till 3,5 kr/kg, vilket skiljer sig markant från 2019 där kostnaden som redovisas i denna rapport är satt till 1,14 kr/kg koldioxid.

3.2 SPÅRTRAFIK

Även för spårtrafik är slitage av infrastruktur, olyckor, övriga emissioner, buller och koldioxid relevanta. Till skillnad från vägtrafik har infrastrukturslitaget delats upp i tre kategorier, drift, underhåll och reinvesteringar. Även marginalkostnaderna för olyckor är uppdelade i olyckor som sker vid plankorsningar och övriga olyckor.

3.2.1 Godståg



Figur 4. Marginalkostnad för järnväg godstrafik, kr per tonkm i 2021 års priser.

I Figur 4

Figur 4 ovan redogörs marginalkostnaderna för godståg i kronor per tonkilometer fördelat på kostnadskomponenter. Infrastrukturkostnaden (drift, underhåll och reinvestering) dominerar de externa kostnaderna för gods på

järnväg. Kostnaden för underhåll ökar 2014 i samband med Samkost 1¹⁶. Från och med 2016 redovisas endast olyckskostnader plankorsning. Tidigare år var olyckskostnaderna uppdelade i plankorsning och övriga. Förändringen beror sannolikt på att nya skattningar av olyckskostnaderna togs fram i Samkost 2¹⁷.

År 2019 är marginalkostnaderna för infrastruktur/slitage, olyckor och buller i huvudsak baserade på vad som anges i Samkost 3¹⁸. För övriga emissioner har värderingar enligt ASEK 6.1 använts för de fåtal tåg som berörs (d.v.s. dieseltåg). Koldioxid har liksom för de andra trafikslagen satts på två nivåer en högre och en lägre. I Figur 4 ovan redovisas endast den lägre kostnaden för koldioxid på 1,14 kr/kg. För år 2020 är marginalkostnader för infrastrukturslitage, olyckor och buller i huvudsak baserade på vad som anges i ASEK 7.0 och Samkost 3.

Marginalkostnaden för reinvestering är betydligt högre 2016 eftersom reinvesteringskostnader för el-, tele-, och signalsystem inkluderats sedan 2016. Marginalkostnaderna för reinvestering (2018, 2019 och 2020) är dock betydligt lägre än de som redovisades i Samkost 2 och 2017 års internaliseringsrapport från Trafikanalys. Resultatet bygger på nya ekonomiska skattningar där det nu på ett bättre sätt beaktats hur kostnaden för respektive anläggningstyp varierar med trafiken.

För år 2020 är marginalkostnader för infrastrukturslitage, olyckor och buller i huvudsak baserade på vad som anges i ASEK 7.0 och Samkost 3. Kostnaden för koldioxid har satts till 3,50 kronor per kg för de fåtal tåg som berörs¹⁹. Ytterligare notering från 2020 är att olyckskostnaden inkluderar den högre olycksvärderingen som för övriga trafikslag, vilket har en märkbar påverkan på olyckskostnaden.

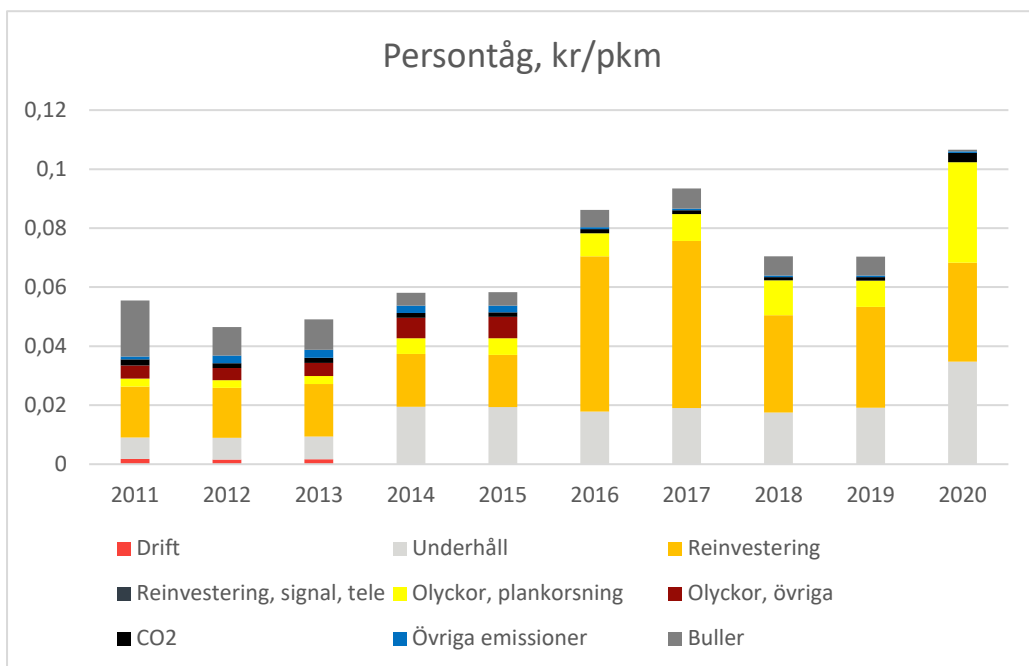
Marginalkostnaden för buller har för 2019 och 2020 satts i intervall eftersom bullerkostnaden varierar kraftigt. Valt intervall för godstrafik är +/- 50 procent kring medelvärdet. För persontrafik representerar bullerspannet kostnaden för olika tågtyper. I figuren redovisas det lägre spannet.

¹⁶ (Nilsson & Johansson, 2014)

¹⁷ (Nilsson & Haraldsson, 2016)

¹⁸ (Nilsson & Haraldsson, 2018; Trafikanalys, 2020; Trafikanalys, 2021b)

3.2.2 Persontåg



Figur 5. Marginalkostnad för järnväg, persontrafik kr per personkilometer i 2021 års priser.

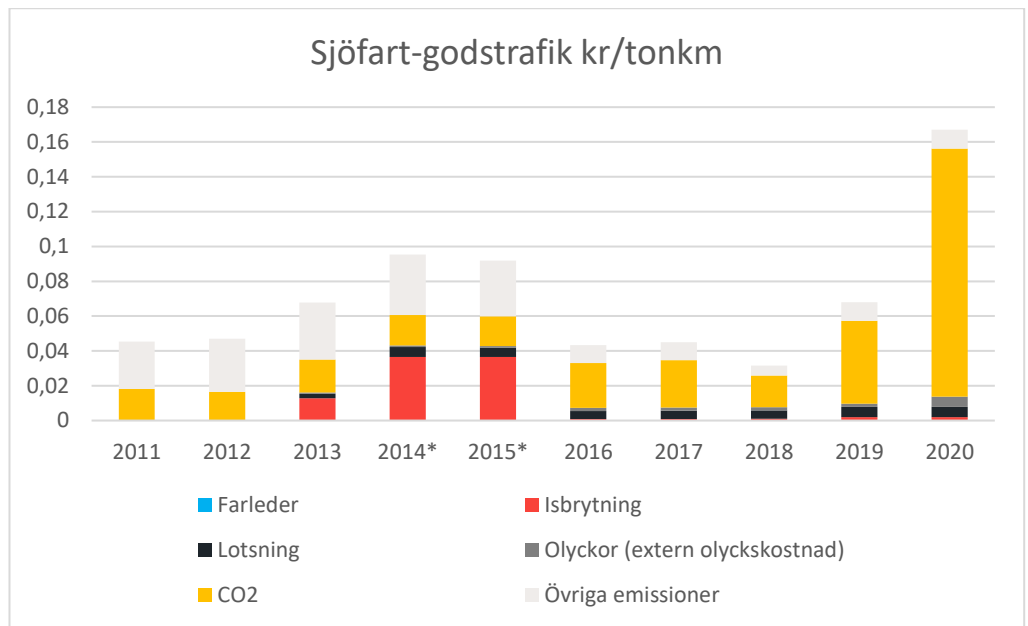
Utvecklingen av marginalkostnaderna för persontrafik på järnväg liknar dem för järnvägsgods genom att de domineras av infrastrukturkostnader. Som noterat i föregående avsnitt avseende godståg så inkluderades inte reinvesteringarkostnader för signal, tele och kraftöverföring i Reinvestering fram till 2015, vilket är en förklaring till den kraftiga ökningen mellan 2015 och 2016.

3.3 SJÖFART

För sjöfartens externa effekter redovisas marginalkostnader för isbrytning, lotsning, olyckor, koldioxid, övriga emissioner och buller.

3.3.1 Sjöfart-godstrafik

Miljöeffekter och kostnader för utsläpp av koldioxid utgör den största delen av sjöfartens externa effekter. Trafikanalys har därför låtit SMHI modellberäkna bränsleåtgång 2018 för all fartygstrafik till eller från svensk hamn inom Sveriges sjöterritorium samt för all inhemsk fartygstrafik. I modellberäkningarna framkom att faktisk bränsleförbrukning är betydligt högre än vad som tidigare redovisades i Samkost 3. Det innebär att kostnaden för både koldioxid och emissioner ökar 2019 relativt föregående år.



Figur 6. Marginalkostnad för sjöfart, godstrafik kr per tonkm i 2021 års priser. *kostnaden för dessa två år endast fördelad på transporter under isförhållanden.

I Figur 6 redovisas marginalkostnaderna för sjöfart (gods) i kronor per tonkilometer fördelat på kostnadskomponenter. År 2013 tillkommer isbrytning och lotsning som betraktas som infrastrukturkostnader. Sedan 2013 redovisas kostnaden för isbrytning separat. Kostnaden skrevs även upp mellan 2013 och 2014 för att endast beakta transporter under isförhållanden. Kostnaden för isbrytning skrivs ner kraftigt mellan 2015 och 2016 vilket förklaras av nya skattningar av marginalkostnaden framtagna av Trafikanalys²⁰, vilka sammantaget också fördelades ut på allt godstransportarbete. Marginalkostnad för isbrytning både för 2019 och 2020 baseras liksom tidigare, på Trafikanalys PM 2017:4, Isbrytningens samhällsekonomiska marginalkostnad.

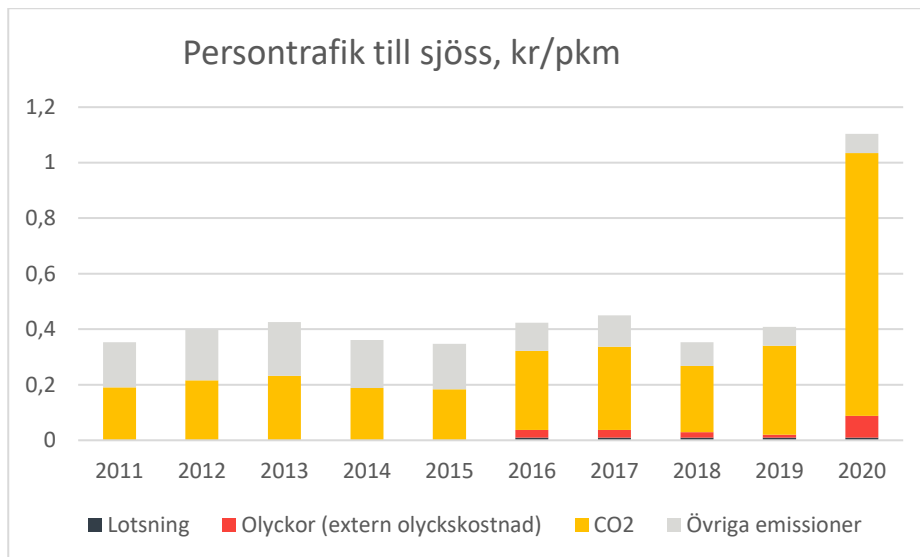
Marginalkostnaden för både koldioxid och emissioner som redovisas 2019 och 2020 är högre än tidigare år. Kostnaden för övriga emissioner baseras på resultat från Samkost 3, där det anges att 1 ton sjöfartsbränsle i Östersjön resulterar i emissionskostnader på mellan 840 kronor och 1800 kronor beroende på var trafiken sker. För 2020 är värderingen av emissioner fortsatt baserat på resultat från Samkost²¹. Kostnaden för koldioxid i sjöfart baseras 2019 på ASEK 6.1 (1,14 kr/kg), som för övriga trafikslag samt 3,50 kronor per kg för 2020.

För olyckor och lotsning 2019 och 2020 baseras kostnaderna för sjöfartens externa effekter på arbete genomfört inom ramen för Samkost 3²² och bygger på ett genomsnitt av antal dödade och skadade inom sjöfarten både i och utanför hamn. Uppdelat på person respektive godstrafik beräknas sedan kostnaden för dödsfall och skadade med värderingar enligt ASEK 6.1. Olyckskostnaden baseras på ASEK 7.0 och den högre värderingen används i Figur 7.

²⁰ Se Trafikanalys (2017)

²¹ (Trafikanalys, 2021a)

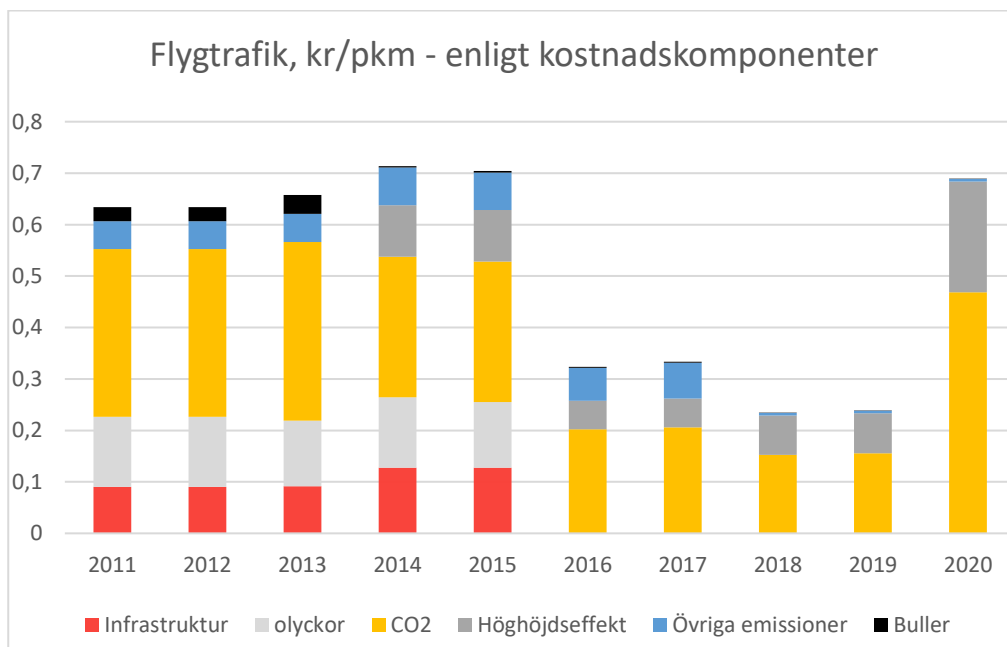
²² (Vierth, 2018; Nilsson & Haraldsson, 2018)



Figur 7. Marginalkostnad för sjöfart, persontrafik kr per personkm i 2021 års priser.

Isbrytning anses i internaliseringsrapporterna endast belasta godstrafik på sjön och är således inte med i figuren ovan. Lotsningskostnader ansågs inte vara marginalkostnader förrän 2013 för godstrafik och 2016 inkluderades de även för kryssningsfartyg på persontrafiksidan. Tidigare beräkningar antog att olyckskostnaden var en andel av farledsavgifterna.

3.4 LUFTFART



Figur 8. Marginalkostnader för luftfart, persontrafik kr per personkm övre gräns i 2021 års priser (2011–2015 endast koldioxid under väg, från och med 2016 koldioxid under väg och höghöjdseffekt)

Utvecklingen över tid skiljer sig en del från övriga trafikslag eftersom kostnaden skrivs ner betydligt från och med 2016. Till och med 2015 beräknades olyckskostnad som en del av flygtrafikledartjänsten (ATM). I

samband med Samkost 2 sker en översyn och nya skattningar av marginalkostnaderna införs. I och med detta räknas från och med 2016 inga terminalrelaterade rörliga kostnader för passagerare längre som marginalkostnader.

Figur 8 visar den övre gränsen för marginalkostnaden. Där inkluderas också kostnad för koldioxid även om den kan anses internaliserad i och med att flyget ingår i ett handelssystem med utsläppsrätter (EU ETS). Här redovisade resultat baseras på beräkningar med den lägre koldioxidvärdering 2019 om 1,14 kr per kg. Till 2020 sker en kraftig ökning till följd av ökad koldioxidvärdering (Om 3,50 kr/kg).

Beräkningarna beaktar att flygets utsläpp av kväveoxider och partiklar sker på hög höjd och sprids över stora geografiska områden med lägre befolkningstäthet vilket medför lägre kostnader än vad som tidigare använts. Det förklarar minskningen i kostnad för övriga emissioner för 2019 och 2020.

Från 2014 och framåt inkluderas också den så kallade höghöjdseffekten som ger climateffekter. Höghöjdseffekter har för 2018, 2019 och 2020 beräknats med utgångspunkt i en artikel av Azar och Johansson²³ där de beräknar en global genomsnittlig höghöjdsfaktor på 1,7. Dock ökar höghöjdseffekten ändå 2020 vilket beror på att koldioxidvärderingen 2020 har höjts till 3,50 kr/kg.

²³ (Azar, 2012)

4 UTVECKLINGEN FRAM TILL 2045

I kapitel 3 har trafikens tidigare externa effekter redovisats fram till 2020. I detta kapitel skiftar fokus till framtidens externa effekter, med sikte på år 2045. Inledningsvis beskrivs metod och tillvägagångssätt för insamlandet av underlag och material följt av en generell diskussion om trender fram till 2045.

4.1 METOD

Det empiriska materialet består av intervjuer med forskare, utredare och andra sakkunniga som studerat den tekniska utvecklingen inom transportsektorn. Flera har arbetat med prognoser för den tekniska utvecklingen eller tagit fram scenarier. Detta material har kompletterats med skrivbordsstudier gällande den tekniska utvecklingen och förväntade framtida styrmedel inom transportsystemet. Materialet ger sammantaget en metaanalys av den framtida utvecklingen. I Bilaga 1 redovisas en lista med intervjuade experter.

Det empiriska materialets innehåll är brett och beror på en mängd faktorer som finansiering, forskning, politiska styrmedel. Framtidsbedömningar är av naturen osäkra och med så många faktorer är det inte möjligt att inom ramen för detta projekt göra konkreta prognoser. Det finns också skäl att illustrera den osäkerhet som framgår av det empiriska materialet, vilket med fördel kan göras i scenarier. Flera scenarier har övervägts men det tydligaste sättet att dela upp möjliga framtider har framkommit i intervjuerna. Flera av de intervjuade har omedvetet eller medvetet tagit en målstyrd eller teknikstyrd ansats. Flera av de intervjuade har själva påtalat att utvecklingen i flera fall inte främst styrs av tillgänglig teknik utan av politiska beslut. Ett perspektiv som utgår från att vi som samhälle väljer vår framtid. Den andra synen utgår från en teknikdriven utveckling där policybesluten anpassas efter tekniken eller åtminstone följer tekniken. I en sådan ansats styrs den tekniska utvecklingen av kommersiella möjligheter och perspektivet att den allmänna viljan motsätter sig stigande kostnader för brukarna eller att minska mängden transporter. Utifrån dessa två perspektiv har två scenarier utforskats för analysen, vilka presenteras vidare i kapitel 0 efter en generell diskussion om teknikutveckling, den ekonomiska utvecklingen samt styrmedel i detta kapitel.

4.2 TEKNIKUTVECKLING OCH DIGITALISERING

Rapportens målfår är 2045, alltså cirka 25 år framåt i tiden. En intressant fråga att ställa är hur tekniken såg ut för 25 år sedan? Transportsystemet var kanske inte så olikt dagens transportsystem, men digitaliseringen hade precis börjat. År 1996 hade telefonerna 2G, DVD skulle precis lanseras och den första utrullningen av bredband via telenätet hade påbörjats. Digital teknik hade funnits betydligt längre, men den breda kommersialiseringen och uppkopplingen av konsumentprodukter började först på 00-talet. Digitaliseringens utveckling tog fart först på 2010-talet efter att de smarta telefonerna blivit standard.

Idag, 2022, har den digitala tekniken letat sig in i transportsystemet. Flygledarna kan exempelvis dirigera flyg på flera platser med digitala verktyg, fordonstillverkare samlar varje dag in data om yrkesfordonens användning och personbilarna lär sina förare hur de ska köra mer energisnålt. Blickar vi framåt är den digitala utvecklingen nästan svårgripbar. Redan 2030 väntas 6G lanseras parallellt med att fler kraftfulla beräkningar via molntjänster kan göras i realtid. AI-teknik kan idag ha en uppfattningsförmåga inom avgränsade områden som motsvarar eller överträffar en människa och kan fatta beslut. Det innebär stora möjligheter att övervaka och styra fordon centralt, övervaka tekniska detaljer på fordon och planera transporter därefter.

Teknikutvecklingen går allt snabbare framåt och påverkar samhället i stort även inom infrastruktur och framtidens fordon. Utvecklingshastigheten accelererar samtidigt, exempelvis godkänns idag cirka 3 gånger fler patent per år jämfört med för 25 år sedan.²⁴ Utvecklingen drivs också av att de asiatiska länderna som står för hälften av världens befolkning nu inte bara tillverkar utan också utvecklar ny teknik i allt större omfattning. Tekniken utvecklas inom flera områden parallellt med olika drivkrafter, antingen av kommersiella intressen eller tack vare offentliga styrmedel. Den digitala utvecklingen är kanske den trend som har störst effekt på förändringar i vårt samhälle. Men flera av de intervjuade understryker att det är kombinationen av elektrifiering, digitalisering och automatisering som nu möjliggör snabb förändring.

Även andra utvecklingsområden, som är mer eller mindre trafikslagsspecifika, kommer att påverka transportsystemets utveckling till år 2045. EU-kommissionen har i en strategisk agenda för forskning och innovation inom transportområdet (STRIA) pekat ut sju områden dit insatser inom framtidens transportsystem ska fokuseras.²⁵ Utöver elektrifiering och digitalisering listas alternativa drivmedel, fordonsdesign, infrastruktur, nätverk och trafikstyrning och mobilitet som prioriterade områden. EU är en viktig forskningsfinansiär och två av de intervjuade nämner agendan som styrande för vilken teknik som kan komma att mogna under kommande decennier.

Elektrifieringen, som egentligen är en kombination av tekniker där målsättningen är att använda elenergi i stället för fossila energikällor, har precis startat inom transportsektorn. Som senare kommer att framgå i rapporten är det den förändring som kan spela störst enskild roll för att minska transportsystemets samhällsekonomiska kostnader. Utvecklingen är delvis en följd av den snabba batteriutveckling som skett inom hemelektroniken tack vare digitaliseringen. Förflyttning mot elektrifierade transporter accelererar nu på grund av de regleringar som införts mot fossila drivmedel. Teknik och produktionskapacitet begränsar dock utvecklingskurvan. Genomslagskraften skiljer sig väsentligt mellan trafikslagen, även om tekniken förekommer inom de trafikslag som behandlas i den här rapporten.

EU-kommissionen pekar i den strategiska forsknings- och innovationsagendan ut tidplaner fram till 2050 för elektrifiering inom väg, järnväg, sjöfart och flyg. Kortfattat kan utvecklingen beskrivas som varierande mellan transportmedlen där järnvägstrafiken bedöms vara helt

²⁴ (WSP, 2021)

²⁵ (EU-kommissionen, 2021)

elektrifierad till 2050, vägtrafiken nästan helt elektrifierad medan sjöfart och flyg inte bedöms kunna göra signifikanta framsteg på grund av tekniska begränsningar innan 2030. Utvecklingen efter år 2030 är kraftigt beroende av utvecklingen av lagringskapacitet av el, vätgas och framdrivningsteknik för vätgas. EU-kommissionen bedömer att den totala reduktionen av koldioxid från transportsystemet i EU kan bli 60 procent från 1990 till år 2050 genom elektrifiering.²⁶ Sverige ligger längre fram än EU-länderna i genomsnitt inom både vägtrafik och järnväg. Sjöfarten och flyget styrs i större utsträckning av den internationella utvecklingen och det är svårt för Sverige att gå en egen väg.

EU-kommissionen pekar också på att det är viktigt att prioritera elektrifieringen där det gör störst nytta: i tätorter.²⁷ Detta går oftast hand i hand med de tekniska möjligheterna. Dagens begränsade batteriteknik bör exempelvis prioriteras till de transporter som går i tätort, tunga fordon som bussar, sopbilar och motsvarande som har högre marginalkostnader för partikelutsläpp i tätbebyggda områden. Långväga busstrafik och lastbilstransporter har både lägre koldioxidutsläpp per person- respektive tonkilometer än sista-milen-transport till slutdestination. En i sammanhanget enkel teknisk åtgärd inom sjöfart är att bygga ut landström vid kajplatser, först och främst nära tätorter, för att minska användningen av fartygens förbränningsmotorer för att i hamn strömförsörja fartygen. På så vis reduceras partikelutsläpp i tätorter snabbare. Detta förutsätter tillräcklig kapacitet i elnät och tillräcklig elproduktion.

Omställningen till ett fossilfritt samhälle driver också på ett ökat intresse för alternativa drivmedel. I andra sektorer har biobränslen en roll inom både energiförsörjning i industrin och i fjärrvärmeproduktionen. Energimyndigheten bedömer att användningen av biobränslen utanför transportsystemet minskar något eller ökar på medellång sikt för att därefter minska.²⁸ Inom transportsystemet har en bredd av alternativa drivmedel växt fram och används i olika skala. Hit räknas alkoholer, metanbaserade drivmedel som exempelvis metanol, biodrivmedel baserat på vegetabilisk olja och vätgas för förbränning. Det finns möjligheter att minska utsläpp av koldioxid genom användning av alternativa drivmedel i transportsystemet på kort- och medellång sikt.²⁹ På längre sikt nämns inte biodrivmedel som en lösning i våra intervjuer, i stället är det elektrifieringen som dominerar.

Ett ytterligare alternativ för att ersätta fossila bränslen är så kallade elektrobränslen. Förenklat kan de sammanfattande beskrivas som bränslen som tillverkas syntetisk med elektrisk energi, ungefär som vätgas kan tillverkas genom elektrolys. Skillnaden är att elektrobränslen tar upp kol från en kolkälla. Resultatet blir bränslen som är väldigt lika eller identiska med bränslen som idag används för förbränning. Koldioxid från luft eller vatten kan användas som kolkälla men effektiviteten i tillverkningsprocessen beror på koncentrationen av koldioxid. Därför ger processen bäst resultat om den paras med en utsläppskälla av koldioxid, exempelvis en industri. Kostnaden idag är dock fortfarande hög.³⁰ Elektrobränslen räknas idag som elektrifiering, men det förutsätter att elen som används vid produktionen är

²⁶ (Meyer, Bucknall, & Breuil, STRIA Roadmap "Electrification" DRAFT Version 9.0, 2016)

²⁷ (Meyer, Blervaque, & Haikkola, 2019)

²⁸ (Energimyndigheten, 2021)

²⁹ (Bauen, o.a., 2020)

³⁰ (Grahn, 2020)

fossilfri. Fördelen med elektrobränslen är att de går att använda direkt i dagens teknik medan nackdelen är att kostnaden är hög och även med vidare utveckling bedöms kosta mer än fossila drivmedel.³¹

Infrastrukturens egenskaper så som livslängd är en annan viktig faktor som påverkar de externa effekterna. Flera aspekter gällande infrastrukturens egenskaper är föremål för forskning och utveckling, främst inom kostnadseffektiv anläggning, minskning av utsläpp från byggande och digitalisering av infrastrukturen. EU:s forskningsagenda på området fokuserar exempelvis på styrning och upphandlingsformer för att minska kostnader för utbyggnad, minska utsläppen från byggnationen och göra infrastrukturen mer flexibel för olika trafikslag. Ett visst intresse finns att studera livscykelkostnader för infrastrukturen, vilket i praktiken ofta motverkas av en strävan att hålla byggkostnader nere. Längre livslängd eller sänkt byggkostnad för samma livslängd skulle inverka positivt på den externa kostnaden för slitage.³² Vi ser få tecken på eftersträvan av innovation inom infrastrukturuområdet för att minska andra externa effekter.³³ Försök har gjorts med exempelvis tyst asfalt, enligt de intervjuade är dock bullerminskningen begränsad när det första lagret slitits ner. Det finns också en direkt korrelation mellan bullerreduktion genom tyst asfalt och sämre hållfasthet och ökat vägslitage varför detta enligt de intervjuade undviks av Trafikverket.

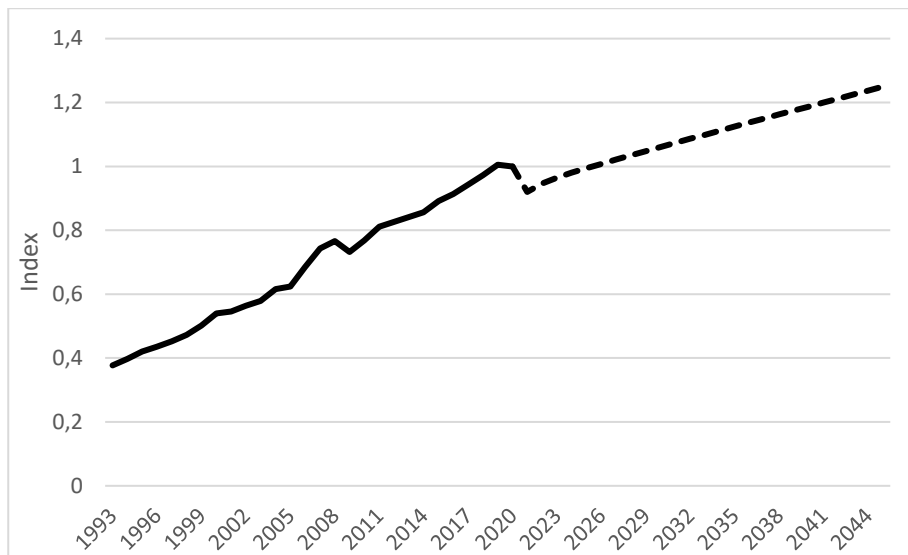
4.3 EKONOMI OCH BEFOLKNING

Eftersom uppskattningar av en del av trafikens externa effekter baseras på betalningsviljestudier är marginalkostnaderna därför kopplade till befolkningens inkomst. Detta gäller exempelvis värderingen av luftföroreningar, olyckor och buller. Sveriges bruttonationalprodukt (BNP) per capita har fördubblats under period över drygt 20 år. BNP per capita förväntas enligt OECD:s prognos att öka ytterligare 25 procent fram till 2045. Detta illustreras i Figur 9. För värderingen av de externa effekterna skulle det innebära, allt annat lika, att marginalkostnaderna för de betalningsviljebaserade värderingarna ökar. I de scenarier som beskrivs i kapitel 0 kommer dock allt annat lika inte att gälla på grund av teknikutveckling och styrmedel och därför kan starkare effekter än befolkningens inkomstutveckling innebära att värderingen av de externa effekterna inte ökar på samma sätt som BNP per capita. Med det sagt så är det en viktig komponent att ha i åtanke när framtiden ska bedömas.

³¹ (Dahal, o.a., 2021)

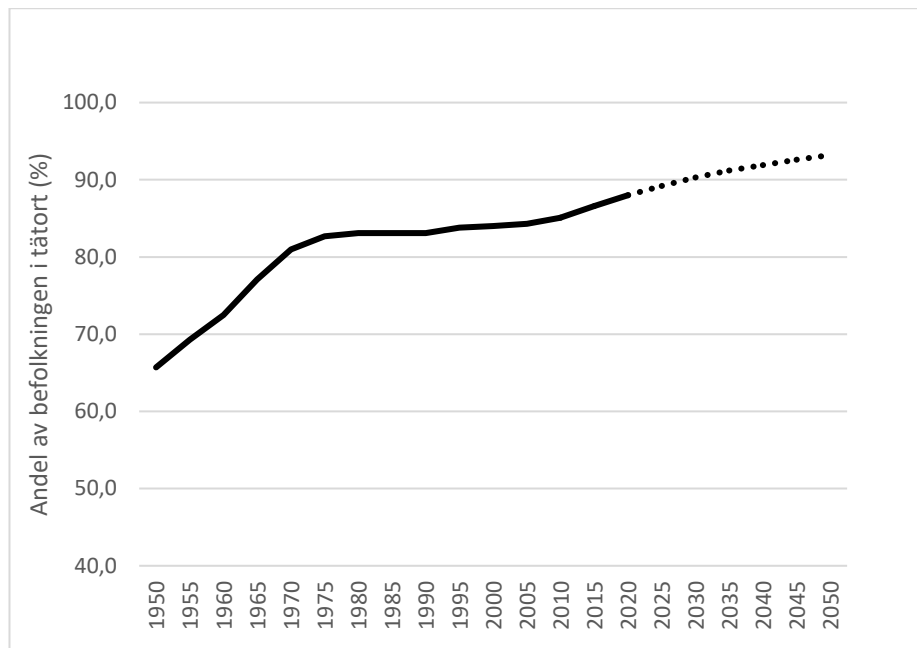
³² (Dalton, de la Pena, Vassallo, & Acciaro, 2016)

³³ Exempelvis den europeiska asfaltsindustrin fokuserar nästan uteslutande på minskning av utsläpp på produktionen och effektivisering av anläggningsarbetet. (EAPA, 2021)



Figur 9. BNP per capita Sverige, 1993-2045. Indexerat till 2020 års nivå. Prickad linje är prognos. Källa: SCB och OECD Real GDP long-term forecast.

En annan aspekt som kommer att påverka hur trafikens externa effekter utvecklas är lokalisering av befolkningen och befolkningstäthet, det vill säga antal boende per kvadratkilometer. Under 1900-talet har trenden mot en högre andel av Sveriges befolkning som bor i en tätort varit tydlig. Detta illustreras i Figur 10. Den största förändringen skedde under andra hälften av 1900-talet. År 1950 bodde 65,7 procent av befolkning i tätort och 20 år senare, 1970 var andelen 81 procent. En ökning på 15,3 procentenheter. Därefter har trenden inte varit lika stark men fortfarande positiv. År 2020 är det 88 procent som i Sverige bor i tätort, det vill säga 9,1 miljoner invånare. Därefter har det prognostiserats av FN att andelen av Sveriges befolkning boende i tätort kommer öka till 93,2 procent år 2050. Statistiska centralbyråns befolkningsframskrivning prognostiserar att Sverige befolkning kommer att öka till 11,5 miljoner 2045, en ökning om 10,5 procent från november 2021. En ökning av befolkningen och en ökad andel av befolkningen som bor i tätort kommer att öka befolkningstätheten, vilket är av central betydelse för storleken på marginalkostnaden av externa effekter. Ju fler som bor per kvadratkilometer, desto mer trafik genereras per ytenhet och desto fler människor påverkas av de externa effekterna.



Figur 10. Andel av Sveriges befolkning som bor i tätort. Prickad linje är prognos. Källa: United Nations, The Population Division of the Department of Economic and Social Affairs

4.4 STYRMEDEL

Vilka styrmedel som kommer att finnas i framtiden beror på en rad olika faktorer. Dels är det i slutändan politiken som beslutar om vad som kommer att vara på plats och inte. Vem som har makten 2045 och vilka som har haft det under tiden fram till dess kan skifta både en och två gånger. Dels är Sverige en del av EU och den globaliserade världen och påverkas därför i stor utsträckning av vilka politiska beslut som fattas utanför Sveriges gränser. Detta blir ytterligare en osäkerhetsfaktor vid bedömningar av framtidens externa effekter.

Koldioxidutsläppen är den externa effekt som flera av dagens nationella styrmedel inom transportsektorn syftar till att minska. Men eftersom de övriga externa effekterna som hanteras i denna rapport påverkas av samtliga beslut som människor tar när de ska förflytta sig så kommer styrmedel initialt utformade för att minska trafikens koldioxidutsläpp att påverka fler externa effekter.

I stort är utvecklingen på EU-nivå avgörande. Inte bara för att styrmedel som beslutas där gäller i Sverige utan även på grund av att flera av de nationella styrmedlen kommer att utformas utifrån de gällande EU-regleringarna. Utifrån det insamlade materialet framkommer en bild av, och en uppfattning om, att EU:s styrning kommer att bli starkare till 2045. En stor fråga på EU-nivå är hur handelssystemet för utsläppsrätter, EU ETS, kommer att utvecklas och utökas, eller hur liknande system införs eller förs över till nya sektorer. I dagsläget ingår flyg i handelssystemet, men inte vägtrafik, sjöfart eller järnväg. I EU:s program Fit for 55 som lades fram i juli 2021³⁴ ingår förslag att vägtransporter och uppvärmning av byggnader hanteras i ett separat handelssystem för utsläppsrätter, medan sjöfarten föreslås

³⁴ (Europeiska rådet , 2021)

inkluderas i befintligt handelssystem³⁵. För sjöfarten skulle handelssystemet gälla för alla fartyg med bruttodräktighet över 5 000 som gör resor inom EU, samt utsläpp halva vägen till eller från EU.

4.4.1 Vägtrafik

Vägtrafiken är det fordonsslag som hittills har tilldelats störst uppmärksamhet i diskussionerna om framtida styrmedel, både i Sverige och inom EU. Det beror mycket på att vägtrafiken släpper ut 90 procent av växthusgasutsläppen från inrikes transporter och inrikes transporter står totalt för en tredjedel av Sveriges utsläpp av växthusgaser³⁶. Vägtrafiken är därför också det trafikslag där en stor del av teknikutvecklingen sker. Elektrifieringen inom personbilstrafiken är i stort sett redan här. Bonus Malus-systemet förväntas fortsätta en viss tid men sedan omformas så att endast Malus-komponenten kvarstår för fordon som fortfarande har koldioxidutsläpp orsakade av förbränning. Utfasningsutredningen som överlämnades till regeringen i juni 2021 föreslår att Bonus-Malus ska utvärderas kontinuerligt för att bedöma när en sådan förändring behöver ske³⁷. Ett annat styrmedel som är riktat mot fordonstillverkarna snarare än konsumenterna är de krav EU ställer på utsläppsnivåerna i fordonstillverkarnas nybilsförsäljning. Om de inte uppfyller dessa krav riskerar fordonstillverkarna böter. Åtstramning av detta styrmedel ingår också i Fit for 55-programmet³⁸.

Med elektrifieringen av vägtrafiken kommer den generella reskostnaden att minska då elpriset är lägre än priset på de fossila drivmedlen. Det finns därmed en risk att efterfrågan ökar när priset minskar och att transportarbetet därför ökar. Detta kommer i sig inte att leda till större utsläpp av växthusgaser från den faktiska trafiken då större delen av fordonen är fossilfria, men det kommer att påverka övriga externa effekter, i synnerhet trängsel i tätorter. Även buller och övriga emissioner skulle minska vid en långtgående elektrifiering. För att internalisera de externa kostnaderna av den fossilfria vägtrafiken så kommer något styrmedel, eller en kombination av flera, att behöva utformas. Ett alternativ uppe för diskussion är avståndsbaserade vägskatter. Två utredningar gällande detta har genomförts för den nationella kontexten, en av IVL och en av VTI³⁹. VTI menar på att det inte är ett styrmedel som är att rekommendera så länge inte omfattande system av vägavgifter inom EU med låg risk och låga drift- och kontrollkostnader finns på plats. IVL lägger fram ett förslag om hur det skulle kunna utformas men bedömer att det inte skulle vara samhällsekonomiskt effektivt att införa innan större delen av nybilsförsäljningen är av laddbara fordon⁴⁰. I Utfasningsutredningen föreslås att en utredning om avståndsbaserade fordonsskatter, både för lätta och tunga fordon, bör tillsättas⁴¹. Det har tidigare genomförts en utredning med förslag på utformning av vägskatt för lastbilar om minst 12 ton⁴². I en utredning som inkluderar både lätta och tunga fordon bör även andra styrmedel, exempelvis

³⁵ (EU, 2021; Trafikanalys, 2021c)

³⁶ (Trafikverket, 2021a)

³⁷ (SOU 2021:48)

³⁸ (Trafikanalys, 2021d)

³⁹ (VTI, 2021a; IVL, 2020)

⁴⁰ 70–90 procent, (IVL, 2020)

⁴¹ (SOU 2021:48)

⁴² (SOU 2017:11)

inom skatteområdet, ingå. K2 skriver i en forskningsrapport att en avståndsbaserad vägskatt även skulle kunna utformas så att olikheter mellan tätort och landsbygd kompenseras för genom skatteväxling från drivmedelsskatt till en vägskatt med olika nivåer där den skulle vara lägre på landsbygderna än i städerna⁴³. Även IVL och VTI diskuterar en sådan differentiering.

Reduktionsplikten är ett styrmedel som idag styr starkt mot att ersätta fossildrivmedel med fossilfria alternativ och som stramas åt allt eftersom och kräver större andelar inblandning av biodrivmedel i diesel och bensin. I dagsläget är reduktionsnivåerna för diesel högre än för bensin, men det kommer troligtvis utvecklas till gemensamma reduktionsnivåer.

Reduktionsplikten kommer inte att ha sin nuvarande form 2045. Det finns en plan för dess utveckling fram till 2030 och vad som därefter följer finns det i nuläget endast förslag på. I Utfasningsutredningen diskuteras hur reduktionsplikten kan komma att kombineras med utsläppsrätter inom ett handelssystem, vilket knyter an till diskussionen om EU:s förslag inom Fit for 55-paketet.

Teknikutvecklingen mot en fossilfri fordonsflotta för de tyngre fordonen på väg har inte kommit lika långt som för lätta fordon och därmed bedöms att styrmedel för tunga fordon kommer att vara av större vikt än för lätta fordon för att de externa effekterna ska kunna regleras. Tungta fordon delas upp på tunga lastbilar och bussar och mellan dessa två har elektrifieringen av bussar kommit något längre. Dels har klimatpremien i form av elbusspremie funnits under en längre tid, sedan 2016, jämfört med premien för tunga lastbilar och arbetsmaskiner som introducerades 2020. Elbusspremien kommer att fasas ut när tekniken är kommersiellt gångbar. Förutsatt att den tunga trafiken blir fossilfri till 2045, enligt huvudscenariot i denna rapport, så kommer det att antas att tekniken är kommersiellt gångbar för samtliga tunga fordon. Då blir det, liksom för lätta fordon, en fråga om hur de externa kostnaderna internaliseras i priset. Även för de tunga fordonen är EU:s roll avgörande för vilka styrmedel som kan tänkas finnas på plats. Den avståndsbaserade vägavgiften som har diskuterats för lätta fordon har redan funnits på plats för tyngre fordon men togs bort och ersattes av Eurovinjett⁴⁴, en skatt som baseras på under hur lång tid fordonet nyttjar vägnätet. Regeringen tillsatte 2020 en utredning för att ta fram förslag på hur Eurovinjett ska ersättas, men slutredovisning av detta har skjutits upp till våren 2022⁴⁵.

Om utvecklingen på EU-nivå är avgörande för utformningen av styrmedel riktade mot vägtrafiken så är det om möjligt än mer avgörande för utvecklingen inom flyg och sjöfart.

4.4.2 Luffart

I dagsläget har elektrifieringen inom luftfart inte kommit lika långt som för vägtrafiken, men det satsas mycket pengar. Flyg mellan länder i EES ingår i EU ETS och med de åtstramande utdelningarna så har det potential att påverka kostnaderna och i högre grad internalisera de externa effekterna,

⁴³ (Winslott et al., 2020)

⁴⁴ Eurovinjett är idag en tidsbaserad vägavgift för tunga lastbilar.

⁴⁵ Regeringen, *Nytt miljöstyrande system för godstransporter på väg*. Kommittédirektiv 2020:38.

framförallt koldioxiden men inte höghöjseffekten eftersom den inte ingår i dagens system. Hur snabbt detta stramas åt och hur högt priset förväntas bli är dock väldigt avgörande för hur starkt detta styrmedel är. Vidare innebär flygskatten, introducerad 2018, att beskattning av flyg inom Sverige görs per passagerare. Utfasningsutredningen pekar på att flygskatten bör baseras på avstånd snarare än passagerare⁴⁶. Ett ökat intresse för den typen av beskattning på EU-nivå har också observerats, bland annat har nio finansministrar gemensamt uttryckt önskan om ökad koordinering mellan medlemsstaterna för att internalisera flygets externa effekter⁴⁷ och i Fit for 55-paketet ges förslag på att en minimiskatt för flygbränsle införs. Från 2021 ingår flyget i ett globalt system för obligatorisk klimatkompensation (CORSIA), vilket, om det fungerar som den ska, skulle minska flygets ökade utsläppstakt med en tredjedel⁴⁸. Inte heller i CORSIA ingår höghöjseffekter dock. Analyser, exempelvis i Biojetsutredningen⁴⁹, bedömer att detta inte kommer att innebära att flygets utsläpp stannar på 2020 års nivå som var tanken med klimatkompensationen från början.

Sedan september 2021 finns en reduktionsplikt för flyg i Sverige. I Biojetutredningen föreslogs en sådan introduktion och den som nu är på plats planeras utvecklas så att 27 procent av drivmedlet till flyget ska vara inblandat biobränsle i flygfotogen till 2030⁵⁰. Förslag på reduktionsplikter som kan påverka luftfarten finns även inom EU:s paket Fit for 55⁵¹. Det finns vidare styrmedel knutna till flygplatserna. Bland annat tar Swedavia ut utsläppsavgifter för kväveoxid och buller.

4.4.3 Sjöfart

Sjöfart omfattas inte av reduktionsplikten och ingår inte i dagsläget i EU:s handelssystem, men det finns förslag på att det skulle inkluderas. I ett sådant skulle endast fartyg med bruttodräktighet över 5000 ingå, vilket innebär att en stor del av de fartyg som utgör Sveriges nationella sjöfartstransporter skulle exkluderas. För att de externa kostnaderna ska internaliseras så skulle, vid en sådan utveckling, förmodligen en högre prissättning för mindre fartyg eftersträvas och behöva tillkomma via något kompletterande styrmedel. Exempelvis skulle farledsavgifterna, miljödifferenterade sedan 1998, kunna utvecklas för att komplettera handelssystemet. En utformning av dessa behöver dock ta hänsyn till hur andra länder i Europa tar sig an frågan då det kan påverka Sveriges konkurrenskraft. I en forskningsrapport från 2020 bedöms att de externa kostnaderna från sjöfart i Sverige internaliseras till mellan 53 och 90 procent i och med de miljödifferenterade farledsavgifterna med tidigare koldioxidvärdering⁵². Med den uppdaterade koldioxidvärderingen, vilken här är härledd utifrån betalningsviljan av utsläpp i framtiden, internaliseras kostnaderna endast till mellan 23 och 28 procent. Detta resultat pekar på att det styrmedel som ska verka som ett komplement till ett EU-styrmedel, skulle behöva utvecklas och vara än mer styrande än

⁴⁶ (SOU 2021:48)

⁴⁷ (Rijksoverheid, 2019)

⁴⁸ (Åkerman, 2020)

⁴⁹ (SOU 2019:11)

⁵⁰ (Dagens industri, 2021)

⁵¹ (Trafikanalys, 2021d)

⁵² (Vierth & Merkel, Internalization of external and infrastructure costs related to maritime transport in Sweden, 2020)

de befintliga miljödifferenterade farledsavgifterna för att de externa effekterna inte ska öka mer.

Gotlandstrafiken utgör 35 procent av bränsleförbrukningen av inrikes sjöfart och upphandlas av Trafikverket⁵³. Från och med februari 2021 blandar Destination Gotland in upp till 10 procent flytande biogas i sina LNG-fartyg, vilket är första gången de använder biodrivmedel för sin trafik. Inför den nya upphandlingen av Gotlandstrafiken med start 2027 så menar utfasningsutredningen att ambitionen inom upphandlingen bör vara att fossila drivmedel helt fasas ut. Ekobonus är ett styrmedel som erbjuder finansiering till projekt som ska leda till att godstrafik flyttas från väg till sjö. Huruvida detta kommer att finnas kvar 2045 beror på utvärderingar av de projekt som har blivit beviljade pengar under 2021.

4.4.4 Spårtrafik

För spårtrafik är den största frågan hur knappheten i systemet ska hanteras och vilken typ av styrmedel som kan reglera det. Eftersom spårtrafik är genomplanerad och det inte uppstår någon slumpmässig trafik på samma sätt som för vägtrafik uppstår inte trängsel. Snarare uppstår knapphet grund av att kapaciteten är begränsad. Denna problematik är svårare att komma åt än för vägtrafik då det är så olika typer av aktörer på järnvägen. Kommersiella aktörer är mer priskänsliga än offentliga aktörer och det finns en risk att det blir en undanträngningseffekt om knappheten prissätts utan att ta hänsyn till de olika priselasticiteterna. Från intervjuerna framkommer dock att denna diskussion har börjat luckras upp under de senare åren, men om knapphet kommer att prissättas i tidsperspektivet till 2045 är däremot tveksamt.

⁵³ (VTI, 2021b)

4.5 TVÅ SCENARIER

I huvudscenariot utgår vi från att trafiken är fossilfri. Klimatmålen, en fossilfri transportsektor, ligger fast. Det sammanvägda resultatet från intervjuerna innebär att det i detta scenario behövs kraftigare styrmedel än idag för att nå målet. Styrmedlen innefattar utökade kostnader för att använda fossila drivmedel samt någon form av kilometerskatt för vägtrafik. Elektrifiering, användning av biodrivmedel eller syntetiska drivmedel kan vara viktiga faktorer för att nå målen.

Trafikverket har kalkylerat motsvarande scenarion fram till 2030 för inrikestrafiken baserat på olika kombinationer av styrmedel⁵⁴. Detta målstyrda scenario skulle motsvara Trafikverkets scenario C2 eller C3.⁵⁵ Att nå klimatmålen är inte synonymt med att alla externa effekter minskar. Andelen biodrivmedel som behövs i transportsektorn kommer att öka, vilket förutsätter att den inhemska produktionen ökar och att Sverige fortsatt kan behöva importera biodrivmedel.

Det alternativa scenariot utgår från dagens styrmedel består och att den kommersiella och tekniska utvecklingen driver förändringarna inom transportsektorn. Detta scenario kan sägas motsvara Trafikverkets Scenario A, referensscenariot som utgår från oförändrade styrmedel där klimatmålen inte bedöms nås.

Det är viktigt att poängtera att styrmedel inte helt styr utvecklingen. Inom personbilstrafiken ser vi att utvecklingen går snabbare än prognoserna vilket drivs av kommersiella motiv.

Inom det regeringsuppdrag Trafikanalys har för att ta fram underlag till nästa klimathandlingsplan ska referensscenariot som styrmedel jämförs mot vara Energimyndighetens elektrifieringsscenario⁵⁶. I elektrifieringsscenariot kommer inte trafiken att vara fossilfri till 2045. Jämfört med 2018 återstår 22 procent av växthusgasutsläppen från inrikes transporter inklusive flyg år 2045.

4.5.1 Avgränsningar

Inom området luftfart omfattas i denna rapport endast flygtrafik. Helikoptertrafik eller annan trafik som exempelvis drönarfarkoster bedöms inte. Det huvudsakliga motivet är att behålla jämförbarheten över tid samt att utvecklingen för drönare är i ett mycket tidigt skede och därmed svår att bedöma. Samtidigt bör påpekas att bara i EU finns ett 70-tal relativt nystartade företag som arbetar med att ta fram nya drönarfarkoster för persontransport. Många av dessa företag fokuserar på urbana transporter. Utvecklingen bör följas då de externa effekterna av stort antal drönare i urbana miljöer kan ge upphov till externa bullerkostnader från rotorblad samt utökade olyckskostnader.

En ytterligare fråga som oundvikligen har återkommit i materialet är olika former av mobilitetslösningar. Utvecklingstakten inom mikromobilitet är betydligt högre än för de traditionella trafiklösningarna. Skälet till att detta

⁵⁴ (Trafikverket, 2020b)

⁵⁵ Trafikverkets scenario C2 och C3 innebär att bränsleskatter höjs och kilometerskatt införs samt att användningen av biodrivmedel i vägtrafiken delvis begränsas för att räkna till sjöfart och flygtrafik. Klimatmålen nås i scenario C2 och C3.

⁵⁶ (Energimyndigheten, 2021)

sker just nu är elektrifiering. En förbränningsmotor och övriga komponenter är skrymmande, vilket begränsat potentialen för mindre fordon. Elmotorn kan konstruerats i mindre format och placeras mera fritt, därför kan fordon som inte tidigare varit motoriserade elektrifieras. Ett konkret exempel är elsparkcyklarna som har en utvecklingscykel på 6–12 månader. De fyra trafikslag som använts i tidigare rapporter innefattar inte cykel eller mopeder varför elsparkcyklar inte ingår i någon befintlig kategori. Enligt vissa prognoser kan delade mobilitet, vilket innefattar en bredd av fordonstyper, ta en stor marknadsandel av transporter till 2045⁵⁷. Det innebär också ökade externa kostnader, speciellt i form av olyckor. Utvecklingen innebär också att gränsdragningen mellan personbilar och mikromobilitet kan bli mer otydlig. För att behålla jämförbarheten har denna typ av fordon exkluderats. Det finns dock skäl att bevaka utvecklingen noggrant då nya typer av fordon sannolikt kommer att bli vanligare och därmed kommer att ge upphov till externa kostnader.

En ytterligare viktig samhällsförändring som kommer att spela stor roll är digitalisering inom logistik. De stora lager som byggs är numera nästintill helt automatiserade och nästa steg i automatiseringen är lastning och lossning på fordon. Fler och fler produkter flyttas också över till större aktörer med hög grad av digital kontroll vilket kommer innebära att betydande ineffektivitet kan minimeras genom AI-baserad lastning och transportplanering. Effekten i transportsystemet är att fyllnadsgraden i transporter ökar.⁵⁸ Detta innebär i praktiken minskade externa effekter per tonkilometer för godstransporter för samtliga trafikslag. Denna effektivisering har ej inkluderats i bedömningen då den relativa förändringen mellan trafikslagen inte kunnat bedömas inom ramen för denna rapport.

I bedömningarna av hur de externa effekterna utvecklar sig fram till 2045 har det inte tagits hänsyn till hur eller om metoderna för att beräkna effekterna ändras. I intervjuerna har det framkommit skäl att tro att omvärdering kan komma att ske. För mätningar av buller från transportsystemet idag används i vissa fall gamla modeller som bör uppdateras enligt de intervjuade. Kunskap saknas om effekten av slitage av mikroplaster i anslutning till vägar där forskningen är i sin linda.

⁵⁷ (International Transport Forum, 2019)






⁵⁸ (WSP, 2021)

5 TRAFIKENS EXTERNA EFFEKTER 2045

I detta kapitel redovisas utvecklingen av trafikens externa effekter till 2045 mot dagens nivåer för huvudscenariot respektive det alternativa scenariot. Beskrivningarna bygger på intervjuer samt till källhänvisade dokument. Enskilda intervjuer refereras inte till löpande i texten, beskrivningen är ett aggregat av respondenternas svar. I Bilaga 1 redovisas de personer som har intervjuats. I tabellerna har enheterna kronor per personkilometer (kr/pkm) och kronor per tonkilometer (kr/tonkm) använts när utvecklingen till 2045 bedömts. Det gör det jämförbart mellan de olika trafikslagen. I kommentarerna kompletteras detta i vissa fall med hur de externa effekterna utvecklas till 2045 i enheten kronor per fordonskilometer (kr/fkm) eller kronor per tågkilometer.

För att illustrera utvecklingen av de externa effekterna används pilarna i Tabell 1. En neråtlutande pil innebär en minskning av den externa effekten. Ju brantare lutning på pilen desto större minskning. När pilen ackompanjeras med en * illustrerar det att den externa effekten minskar till noll eller nära noll. Skälet till att inte sätta noll är att det ibland kvarstår faktorer som är svåra att bedöma. En horisontell pil innebär att den externa effekten förmodligen är på samma nivå som i dagsläget.

Tabell 1. Förklaring till vad pilarna som indikerar utvecklingen indikerar.

Utveckling till 2045 – effekt på marginalkostnader (kr/pkm, kr/tonkm)	Pilen indikerar:
	Den externa effekten bedöms vara på ungefär samma nivå
	Den externa effekten bedöms delvis minska
	Den externa effekten bedöms minska mycket
	Den externa effekten bedöms minska till noll eller nära noll
	Den externa effekten bedöms delvis öka.

5.1 VÄGTRAFIK

Vägtrafiken är den största källan till externa effekter i transportsystemet idag men förändras också snabbast av de fyra studerade trafikslagen. Skillnaden i förändring är relativt stor mellan de olika fordonsslagen inom vägtrafiken, där utvecklingen inom personbilar ligger före och där även tvingande styrmedel för att minska utsläpp finns.

5.1.1 Elektrifiering av personbilstrafiken

Personbilstrafiken har gradvis påverkats av stigande krav, både inom trafiksäkerhet, emissioner och koldioxidutsläpp sedan flera decennier. Resultat är att stora delar av personbilsbranschen nu är inne i en övergångsfas mot elektrifiering. De traditionella biltillverkarna befinner sig i olika faser där merparten av de stora europeiska tillverkarna nu valt strategin att gå mot elektrifiering. Även nya tillverkare slår sig in på marknaden för elektrifierade personbilar och värderas högre på börserna än de traditionella tillverkarna. Ett tecken på att marknaden nu förväntar sig en snabb elektrifiering och ser försäljning av fossila fordon som en kommande kostnad för de traditionella tillverkarna.⁵⁹ De intervjuade bedömer därför att elektrifieringen av personbilsflottan nu kommer att ske även utan styrmedel. Motiveringen är att fordonsutvecklingen de kommande fem åren är känd och företagen fokuserar på elbilsplattformar och har satt upp datum för när de slutar utveckla förbränningsmotorer.

Ett elektrifierat fordon släpper inte ut koldioxid eller ger upphov till övriga emissioner från förbränningen. Bullernivån påverkas däremot i ytterst liten utsträckning av motorljud från just personbilar då motorerna redan är tysta. Endast i hastigheter under 50 km/h kan motorljud från personbilar ha en inverkan. Utmaningen är därför att bedöma andelen elbilar och laddbara fordon samt möjligheten att driva övriga fordon med biodrivmedel. Biodrivmedel resulterar fortfarande i luftförorenande emissioner men har lägre eller nära noll fossila koldioxidutsläpp.

5.1.2 Elbilsförsäljningen i Sverige ökar snabbare än väntat

Trafikverket prognostiserar att försäljningen av laddbara bilar (elbilar och laddhybrider) skulle kunna uppgå till 40 procent år 2030 och med en offensiv politik 60 procent. I det offensiva scenariot skulle andelen av försäljningen vara 90 procent år 2050.⁶⁰ Även Energimyndigheten som analyserat framtidens energianvändning använder samma prognos i sitt offensiva scenario kallat *Elektrifiering*. Enligt elkraftsbranschens intresseorganisation Power Circle och branschorganisationen Bil Sweden så bör nya elbilar ha lägre inköpspris än motsvarande bil med förbränningsmotor cirka 2025. Med det som utgångspunkt prognostiserar de att rena elbilar når en marknadsandel på 50 procent av nybilsförsäljningen år 2025 och 90 procent år 2030. Försäljning av laddhybrider beräknas öka fram till 2025 för att därefter avta på grund av högre pris och driftskostnader.⁶¹

⁵⁹ Polestar värderas exempelvis till samma värdering som Volvo cars, trots en bråkdel av försäljningen. Pickuptillverkaren Rivian värderas högre än Ford och Tesla värderas mer än dubbelt så högt som världens två största biltillverkare Toyota och Volkswagen tillsammans.

⁶⁰ (Trafikverket, 2020b) (Energimyndigheten, 2021)

⁶¹ (Power Circle, 2019)

Försäljningsstatistiken för 2021 överträffar redan branschens prognos. I Sverige är försäljningen av elbilar 16,6 procent och laddbara hybrider 25,8 procent under 2021 enligt försäljningsstatistik från Bil Sweden. Tillsammans är andelen över 40 procent av nybilsförsäljningen, dvs. nivån för 2030 i Trafikverkets referensscenario har nåtts redan 9 år tidigare än prognostiserat.

Intervjuerna bekräftar den bilden, en av de intervjuade menar att elektrifieringen är som tidvattnet, oundvikligt. Däremot är det fortfarande öppet vilka typer av elektrifiering (bränslecell, batteri) som kommer dominera, men det är inte avgörande då skillnaderna är mindre än mellan olika förbränningsmotortekniker. Egenskaperna i övrigt är ytterst lika. Det finns egentligen en begränsning för Sverige, vilket paradoxalt nog beror på efterfrågan globalt. Den totala produktionskapaciteten av elbilsbatterier och mängden råvara för batterier kommer att vara gränssättande. Gruvindustrin har investeringscykler på över 10 år. En intervjuad bedömer därför att Sverige enskilt kommer att kunna ställa om till 2045, men kan begränsas om resten av världen också efterfrågar elbilar samtidigt. En indikation på att en sådan effekt redan kan ha uppstått är att priset på batterier inte sjunkit under 2021 vilket är första året det sker.

Även EU-kommissionens tidplan (*roadmap*) räknar med att elektrifieringen får genomslag på EU-nivå. Till 2030 bedöms 60 procent av marknaden vara elektrifierad varav 100 procent för personbilar. Till 2050 ska hela vägtransportsektorn vara koldioxidfri⁶².

5.1.3 Elektrifiering, fordonsvikt och konsekvenser

En annan viktig förändring är fordonens vikt och storlek på däck som ger upphov till både slitage på vägbanan och emissioner av slitagepartiklar. Högre vikt och större däck ger större kontaktyta vilket ökar slitaget. Tyngre fordon ökar också slitaget på bromsar som avger partiklar. Förändringen är dock marginell jämfört med dagens slitage och emissioner av slitagepartiklar. Samtidigt är den faktor som i högst grad påverkar slitage och slitagepartiklar förekomsten av dubbdäck. Detta avgörs främst av framtida väderförhållanden i landet och användning av politiska styrmedel för att begränsa dubbdäck. Den externa kostnaden för övriga emissioner är också i princip obefintlig på landsbygden men är högre i tätort, särskilt vid täta stadsgator. Här har kommunerna möjligheter att införa begränsningar i användning av dubbdäck. Om dubbdäcksförbud föreligger kan det ha negativa konsekvenser för trafiksäkerheten utanför tätorten. Ett varmare och blötare väder skulle kunna leda till minskat behov av dubbdäck i delar av Sverige och politiskt möjliggöra dubbdäcksförbud.

En mycket svårbedömd faktor är hur de externa effekterna av slitagepartiklar från bilarnas däck kommer att värderas i framtiden. Dessa partiklar är relativt stora och hamnar inte i så stor utsträckning i luften utan lägger sig i väggkanten. De innehåller mikroplaster och forskningen ligger enligt våra intervjuade efter på området varför det saknas svar på vilka effekter det kan ha på naturen. I dagsläget bedöms det mycket svårt att svara på då studier pekar på motstridiga resultat.

En risk med elektrifiering är att fordonen blir tyngre, åtminstone på kort och medellång sikt. Flera av de mest sålda elbilarna har högre vikt och större

⁶² (Meyer, Bucknall, & Breuil, 2016)

hjuldimensioner än motsvarande fossilbilar.⁶³ Det finns exempel på elbilar med kortare räckvidd där vikten skiljer sig i mindre omfattning och hjulstorleken inte avviker. Någon analys av data vore inte meningsfull då modellutvecklingen går mycket fort. De intervjuade menar att det idag är mycket svårt att säga hur batteri- och vätgastekniken kan utvecklas på 20 år, men att vikten kommer att minska. De menar även att det är omöjligt att idag bedöma fordonens design och utveckling på området till 2045. Det är däremot troligt att vikt styrs av utformning av styrmedel samt hur den kommersiella användningen ser ut, särskilt vem som äger fordonen om en större andel av trafiken görs med delade fordon. Användningen styr nämligen efterfrågan på batterikapacitet.

Låt oss ta ett exempel. En taxibil körde i genomsnitt 6 469 mil enligt Trafikanalys år 2019.⁶⁴ Förutsatt att den kör cirka 6 dagar i veckan motsvarar det en daglig körsträcka om cirka 21 mil. Med en laddning vid pauser räcker ett mindre batteri och möjliggör en taxibil med låg vikt. Men om efterfrågan på transporter ökar kraftigt kan batteriets kapacitet bli viktigare och därmed öka fordonets vikt. De typiska taxifordonen skulle då vara större och kanske därmed i premiumsegmentet med högre vikt.

Vikten på fordonet skulle också kunna vara lägre än idag om själva fordonets utformning är annorlunda. Om framtidens fordon snarast liknar podtaxibilar av den typ som Google utvecklar eller de mopedbilar som företaget Bzzt kör i svenska storstäder kan den genomsnittliga vikten vara lägre. Det är väldigt svårt att bedöma den utvecklingen som precis är i sin linda. Därför antar vi att förändringarna tar ut varandra och vikten därmed är oförändrad i huvudscenariot. I det alternativa scenariot antar vi att efterfrågan på komfort ökar och därmed väger de faktorerna över vilket ökar den genomsnittliga vikten.

5.1.4 Automatisering

Elektrifieringen är också tätt sammankopplad med digitaliseringen som möjliggör nya grader av automation. Automationen möjliggörs av ett antal digitala tekniker så som digital kamerateknik, big data, AI-algoritmer, digital uppkoppling. Vägtrafiken styrs idag bottom-up av mänskliga förare. Men redan dagens digitala teknik, som står inför en omfattande utveckling till 2045, innebär helt nya möjligheter. Ett fordon kan köra sig själv och under rätt förutsättningar sannolikt mer säkert än en människa. Biltillverkaren Tesla som samlar in data från samtliga fordon uppger att andelen olyckor är lägre per kilometer i autopilotläge än i manuellt läge. Nästa steg är att bilarna genom 5G och i framtiden 6G eller snabbare kan dirigeras i realtid av centrala system som har tillgång till information från flera fordon samtidigt och andra uppkopplade enheter, som telefoner och trafiksignaler.

Flera hinder återstår fortfarande, exempelvis finns ännu inga beslutade standarder för kommunikation och trafikstyrning på distans eller andra stöd för självkörande fordon. Samtidigt utvecklar fordonstillverkarna idag egna tekniker som utgår från att varje fordon styrs av sig själv och kommunicerar med fordon från samma tillverkare. En central styrningsfunktion är en möjlighet men skulle innebära både tekniska och juridiska utmaningar.

⁶³ Volkswagen ID.4, Skoda Enyaq, Polestar 2, Nissan Leaf, MG ZS EV är de fem mest sålda elbilarna under oktober månad, enligt Bil Sweden.

⁶⁴ (Trafikanalys, 2020)

Troligtvis behöver en sådan central styrning antingen bygga på överenskommelser inom branschen eller offentligt beslutade standarder. Ett sådant arbete kan ta tid och innebära svåra gränsdragningar. Det finns ännu inte en social acceptans för självkörande bilar och säkerhetskraven är därför mycket höga, högre än för mänskliga förare. Väderlek och andra situationer begränsar vissa av teknikerna idag. Därför är det svårt att bedöma när och hur långt automatiseringen hinner nå till år 2045.

5.1.5 Effekter av automatisering av fordonen

En intervjuperson menar att vi kommer att börja se konsekvenserna av automatiserade fordon så snart det är möjligt att köra från en startpunkt till en upphåmtningsplats. Om föraren därefter kan köra själv skulle tjänsten motsvara en förarlös taxi med betydligt lägre kostnad än en taxi idag. De intervjuade menar att det både är önskvärt och att de företagsekonomiska drivkrafterna driver mot ökade mobilitetstjänster. Inom konceptet mobilitetstjänster kan tjänster som hyrbil, taxi, kollektivtrafik, mikromobilitet blandas. Flera personer kan resa med ett fordon som är registrerat som personbil. Delar av personbilsflottan kommer därmed att ingå i kollektivtrafiken i framtiden. Gränsen mellan kollektivtrafik och personbilstrafik kommer därmed att börja luckras upp och inte ha en lika tydlig uppdelning. Mobilitet som tjänst börjar efterfrågas i större skala. De intervjuade bedömer att efterfrågan på att äga egen bil då kan minska kraftigt. Dels av rent praktiskt skäl, att slippa ta hand om en egen bil dels för att slippa stigande fasta kostnader för att äga bil i urbana områden. De stora globala taxiföretagen som exempelvis Uber, Lyft och Waymo har som målsättning att köra förarlöst i framtiden. Företaget Cruise har pågående försök med förarlösa taxibilar i trafik i San Fransisco idag.

Samtidigt är det många sociala faktorer som styr utvecklingen. Tillverkarna kan också använda den digitala tekniken för att öka den individuella anpassningen av bilen till ägaren. Det kan också uppstå egna segment där premiumtjänster med exklusiva bilar finns tillgängliga till högre pris där kunden slipper samåka med andra. Medan billigare tjänster med minibussar och delat resande kan uppstå i lågprissegmentet. Det är svårt att bedöma utvecklingen och vi har därför valt två olika riktningar i scenariona.

Det finns också risk att samåkning inte ses som eftertraktat i personbil på grund av för nära kontakt med okända personer. Detta skulle kunna driva tjänsterna i premiumsegmentet mot ökad andel tomkörning för att hämta enstaka passagerare och fortsatt körning med egen bil. Om automatiseringen når nivå 5, alltså helt självkörande utan assistans från föraren kan det driva på efterfrågan och resultera i fler tomma transporter utan relevanta styrmedel. I kombination med elektrifiering och lägre kostnad per körd sträcka styrs de ekonomiska incitamenten inte längre av sträcka utan av tid. I avsaknad av styrmedel som höjer kostnaden per kilometer eller andra styrmedel kan antalet resenärer per fordon kraftigt understiga 1.

Vi kan också förvänta oss att fordonen blir säkrare både för passagerare och oskyddade trafikanter. Den utveckling som har skett, från bilbälte till airbag och ABS utvecklas nu snabbt genom jakten på självkörande bilar. Autobroms är standard redan idag. Automatiseringen innebär att fordonen utrustas med olika former av optisk och laserbaserad avståndsmätning av omvärlden. År 2045 kommer troligen bilens system redan innan en olycksituation uppstår

bedöma riskmoment genom fler sensorer och tillgång till centraliserad detaljerad trafikinformation. Detta förstärker autobromsens effektivitet. Detta ger helt nya förutsättningar för att öka fordonens möjligheter att ingripa för att förhindra olyckor med oskyddade trafikanter. I synnerhet om spatial information kan delas mellan fordonen. De intervjuade på området är överens om att antalet olyckor bör minska.

5.1.6 Tung trafik och lätta lastbilar

Utvecklingen för den tunga trafiken är mer komplex och omställningen mot hållbara drivmedel har inte nått lika långt. Enligt de intervjuade är faktorerna som styr utvecklingen rent kommersiella bedömningar.

5.1.6.1 Lätta lastbilar

Inom lätta lastbilar börjar elektrifierade alternativ komma ut på marknaden men hittills färre än på personbilsmarknaden. Samtidigt får bonusmalussystemet effekt på lätta lastbilar som i regel väger något mer och därmed får högre skattesats. Utvecklingen begränsas av maxvikten 3,5 ton för b-körkort. De intervjuade bedömer att övergång till el kommer att ske på marknaden så fort kostnaden för eldrivna lätta lastbilar går under fossildrivna vilket troligen sammanfaller med personbilar, cirka 2025. Övergången kan då ske mycket snabbt. Lätta lastbilar bedöms i övrigt följa samma utveckling som personbilar.

5.1.6.2 Bussar

Busstrafiken har en låg förändringstakt jämfört med personbilar trots att livslängden motsvarar en personbil. Den förändring som skett har dels drivits av EU:s utsläppskrav samt de offentliga upphandlarnas krav på fossilfrihet. Enligt branschorganisationen Svensk kollektivtrafik går cirka 80 procent av bussarna i kollektivtrafiken på fossilfria drivmedel. I de större städerna där sträckorna är kortare är andelen i regel högre. Biodrivmedel som RME och biogas dominerar inom bussbranschen medan andelen elektrifierade fordon stod för cirka 3,5 procent år 2020.⁶⁵ Biodrivmedel har förespråkats av branschen som en kostnadseffektiv lösning då tekniken motsvarar den fossila tekniken och förändringar i trafikering minimeras. Busstrafiken styrs av en kommersiell logik där få och korta stopp för pauser och påfyllnad av drivmedel samt service i regel sker nattetid.

Elektrifiering av busstrafiken har begränsats av utbud av bussar med tillräcklig batterikapacitet för att motsvara dagens trafikeringsmönster och eftersträvad körtid. Samtidigt har politiska krav på elektrifiering drivit på övergång till elektrifiering inom de större regionerna som står för merparten av kollektivtrafiken. För den upphandlade stadstrafiken är avtal normalt om elektrifierade bussar i nya linjer.⁶⁶ Däremot är räckvidden för laddbara bussar begränsad i dagsläget, för regional busstrafik finns bara ett fåtal bussar på marknaden. Till 2045 bör dock utbud för upphandlad trafik även på regionala sträckor vara möjlig. Långväga busstrafik kan behöva vätgasteknik vilket vissa tillverkare planerar för. I huvudscenariot antas att all busstrafik

⁶⁵ (Trafikanalys, 2021)

⁶⁶ Se exempelvis Region Västra Götalands klimatstrategi för kollektivtrafiken. (Västra Götalandsregionen, 2018). Även Region Skåne och Region Stockholm har motsvarande strategier.

elektrifieras via batteri eller vätgas. I det alternativa scenariot kvarstår vissa långväga bussar som går på biodrivmedel. De externa effekterna av detta är dock små då den absoluta majoriteten av busstrafiken går i tätort och kommer vara elektrifierad.

Idag kan elektrifiering av bussflottan begränsas på grund av kapacitet i elnätet. Dessa problem bedöms dock inte vara ett problem till år 2045.⁶⁷

5.1.6.3 Buss och automatisering

Busstrafiken kan påverkas i hög grad av automation då föraren står för den största driftkostnaden. Självkörande fordon är lättare att tillämpa längs planerade rutter även om det kräver förändrande passagerarbeteenden, exempelvis vid på och avstigning. Tekniken används på prov idag i Sverige i begränsat utförande. WSP har i tidigare projekt bedömt det som troligt att automatiserade busstrafik i hela eller delar av kollektivtrafiken kommer att vara möjligt till 2050.⁶⁸ Kombinerat med AI-teknik kan trafiken bli mera anpassad utifrån efterfrågan i stället för baserad på tidtabeller. Detta kan öka belägningsgraden och därmed sänka de externa kostnaderna per personkilometer. Det är också troligt att gränsen mellan buss och taxi kommer att suddas ut då föraren tas bort. Den självkörande buss som idag trafikerar Barkarby är mindre än en taxi medan exempelvis minibussar som är registrerade som personbil kan användas för bättre effektivitet i kollektivtrafiken.

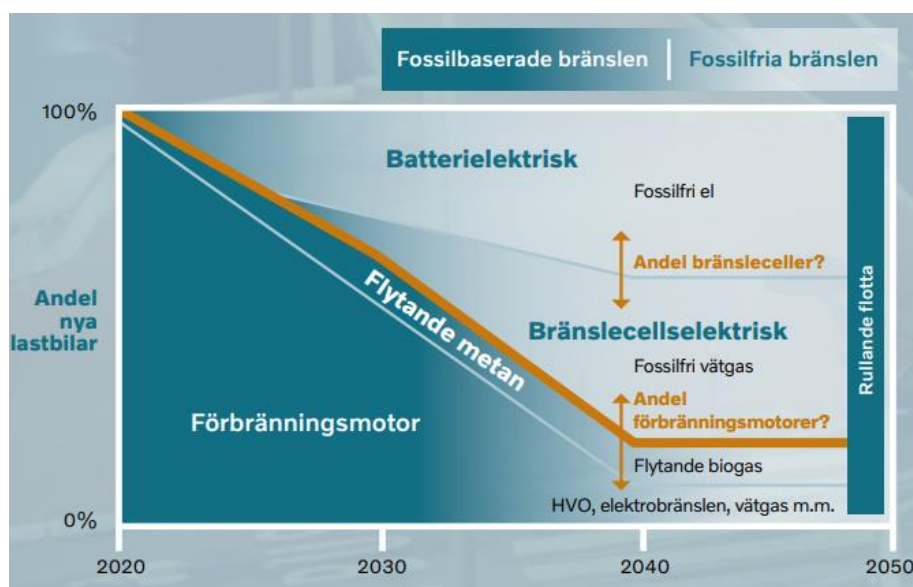
5.1.6.4 Tunga lastbilar

Kostnaderna för drivmedel är små i sammanhanget och lika för alla transportföretag och flyttas i regel över till kunderna eftersom det sällan finns alternativ till lastbilstransporter. Andra faktorer som möjliga körtider, utebliven körtid för laddning, specifika sträckor mellan logistikcentraler för fasta körningar är viktigare faktorer för valet av fordon. Därmed saknas incitament för transportföretagen att köpa elektrifierade fordon till högre inköpspris och lägre effektivitet och därmed tappa i konkurrenskraft. Däremot ligger det i fordonstillverkarnas intresse att påbörja omställning nu för att möta de krav på fossilfrihet som sannolikt kommer att gälla när klimatmålen ska nås.

För tunga lastbilar skiljer det sig mellan olika segment. De stora svenska tillverkarna erbjuder båda elektrifierade alternativ på marknaden idag för stadsnära och regionala transporter. Tidsplanen skiljer sig mellan tillverkare, Volvos är ett illustrativt exempel över hur fördelningen mellan olika drivmedel kan se ut, se figur nedan.

⁶⁷ Se exempelvis Region Stockholms utredning av elbusstrafik som visar att kapaciteten troligtvis är tillräcklig för elektrifiering idag och mer än tillräcklig år 2027–2030. (Trafikförvaltningen, 2019)

⁶⁸ (WSP, 2021)



Figur 11. Volvo lastvagnars tidplan för övergång till fossilfria drivmedel, källa Volvo groups årsredovisning 2020

Volvos utgångspunkt är att merparten av fordonsflottan omsätts var 10:e år varför hela flottan behöver vara fossilfri 2040 för att nå parisavtalets målår 2050. Volvos bedömning är att det fortfarande kommer att behövas vissa förbränningsmotorer men att dessa kan drivas med biodrivmedel och elektrobränslen, dvs. syntetiskt producerade drivmedel som bygger på uppfångad koldioxid från atmosfären vilket gör dem koldioxidneutrala. Förbränningsmotorerna kommer fortfarande att generera emissioner i form av partiklar.

Våra intervjuer indikerar att Volvos tidplan i figur 11 tycks stämma relativt väl. Den huvudsakliga utmaningen för tunga lastbilar är energidensitet och kostnadseffektivitet för transportföretagen. Den stadsnära trafiken, så som korta transporter inom urbana områden går relativt enkelt att elektrifiera och det finns inga direkta kommersiella hinder eller fördelar att göra så. Däremot kan krav från kommuner på minskade utsläpp i tätorter spela roll och behov för transportköpare att marknadsföra sin affär som hållbar. För korta sträckor fungerar batteridrivna lastbilar och andra tunga fordon bra förutsatt att laddinfrastrukturen är anpassad för dem.

Utmaningen kvarstår främst för segmentet regionala transporter och långväga transporter där batteriernas vikt och laddningstid påverkar körekonomin. Diesel är inte en stor kostnad för transportföretagen vid längre transporter, däremot eftersträvas maximering av körtiden för varje fordon. Den lägre drivmedelskostnaden för elektrifierade lastbilar är därför inte en ekonomisk fördel. Kringliggande logistisk infrastruktur så som omlastningscentraler är planerade utifrån dagens tekniska förutsättningar. Räckvidden behöver bli längre vilket hindras av vikt och utrymme som minskar lastkapaciteten. Här kan vätgasdrivna bränsleceller vara en lösning vilket våra intervjuer pekar på kommer att finnas etablerat som teknik till 2045. Vätgasutvecklingen begränsas också av tillverkning och distribution då vätgasen är komplicerad att transportera långa sträckor och tankning är en viktig del i logistikkedjan. WSP:s bedömning utifrån intervjuerna är att vätgastekniken troligen kommer att ta en signifikant marknadsandel. Detta

bygger också på att det finns ett intresse från det offentliga att ta en aktiv roll i utbyggnaden av vätgas för att frigöra biodrivmedel till framförallt flyg men även sjöfart.

Automatiseringen kommer att påverka även den tunga trafiken. En kombination av självkörande lastbilar och möjlighet att styra fordonen trådlöst på distans innebär företagsekonomiska fördelar, både i termer av färre förare och ökat utrymme för last. EU-kommissionens bedömning är att automatisering på längre delsträckor kommer att slå igenom först, vilket är en klar fördel för godstransporter med lastbil.

Inom kategorin tung trafik finns vissa arbetsfordon, exempelvis cementblandare och kranlastbilar som idag använder hydrauliska pumpar som drivs av dieselmotorn. Denna andel förväntas täckas med elektrobränslen och biodrivmedel om inte tekniken ersätts med elektrifierad teknik.

5.1.6.5 Vägnätets betydelse

En utveckling av vägnätet, eller delar av det, till bärighetsklass fyra skulle ge incitament till att öka andelen längre och tyngre fordon på vägarna. Längre och tyngre fordon har i rapporter visat sig ha lägre risk för olyckor men det kausala sambandet är inte helt fastställt. Det kan dels bero på att vägarna är mer trafiksäkra, dels på grund av att förare av dessa fordon är mer erfarna⁶⁹. Det minskar dock sannolikheten för frontalkrockar (med förutsättningen att längre och tyngre fordon inte krockar oftare än andra) eftersom det skulle betyda färre fordon på vägarna. Längre och tyngre fordon innebär enligt Trafikverket även mindre slitage, men enligt Stockholms stad är det osäkert om minskningen också gäller tätort.⁷⁰

5.1.7 Huvudscenario

I huvudscenariot antas att personbilstrafiken är elektrifierad år 2045, att den tunga trafiken är elektrifierad i tätorter samt att de långväga transportererna är elektrifierade till stor del och kvarvarande tung trafik använder biobränsle. Vikten bedöms inte ha ökat mer än lastkapaciteten för tunga lastbilar tack vare effektivare batterier och vätgasdrift varför mängden gods per fordonsvikt är oförändrad.

5.1.7.1 Biltrafik

Personbilstrafiken är delvis automatiserad men kilometerskatt för samtliga fordon gör det inte kommersiellt försvarbart att ha fordonen rullande i trafik i väntan på resenärer. Den automatiserade kollektivtrafiken står för en högre andel av resorna, där gränsen mellan moped, personbil, minibuss och buss suddas ut. Den semiautomatiserade körningen minskar trängselproblematiken på motorvägar och andra vägar i anslutning till tätort där systemen själva kan anpassa hastighet och avstånd efter fullständig trafikinformation. Detta minskar trängseln. En lägre körkostnad och latent efterfrågan leder till ökad trafik trots kilometerskatt vilket snabbt fyller ut den lediga kapacitet som den automatiserade körningen tillför.

⁶⁹ (af Wåhlberg, 2007)

⁷⁰ (Trafikverket, 2019) (Stockholm stad, 2019)

Trafiken förväntas inte fullt ut vara automatiserad, men styrsystemen hanterar kökörning och minskar olycksrisken med andra fordon och oskyddade trafikanter. Fordonen förväntas vara uppkopplade och dela spatial information och trafikinformation med varandra eller via central trafikstyrning. Tillsammans innebär systemen betydligt högre trafiksäkerhet, särskilt i tätort då systemen får störst effekt i lägre hastigheter och där olyckor med oskyddade trafikanter är vanligare. Olyckor på landsbygd som beror på vägunderlag, trötthet eller vårdslöshet minskar också men inte i samma utsträckning.







Personbilarna förväntas ha motsvarande vikt som idag och eventuell utökning av vikten står i paritet till motsvarande ökning av utrymme i fordonen för passagerare. Detta är centralt för effekterna på buller och övriga emissioner. Då mobilitetslösningar och kollektivtrafik där även personbilar ingår har tagit marknadsandelar från privatägda personbilar till år 2045 räknar vi i huvudscenariot på att andelen passagerare per personbil inte ökar i genomsnitt trots automatisering.

5.1.7.2 Tung trafik

De tunga fordonen förväntas automatiseras på långväga trafik och delvis köras trådlöst på distans. I delar av tätorter, på byggarbetsplatser och motsvarande förekommer fortfarande manuellt körda lastbilar. Olyckor med lastbilar minskar, men inte i samma utsträckning som för personbilar.

Busstrafiken blir säkrare för oskyddade trafikanter tack vare ökad grad av automatisering och bättre säkerhetssystem. Busstrafiken i tätort är helt elektrifierad och ingen busstrafik går sedan länge på fossila drivmedel.

Tabell 2. Utveckling av vägtrafikens externa effekter, huvudscenariot.

Utveckling till 2045 – effekt på marginalkostnader (kr/pkm, kr/tonkm)	Kommentar
Infrastruktur (drift och underhåll)	
	<p>Oförändrad vikt på fordon i genomsnitt och oförändrat antal passagerare per fordon leder till oförändrat slitage. Då utvecklingen inom framställning av material för vägar fokuseras på koldioxidfri tillverkning förväntas inte materialen utvecklas för att bli mer slitåliga. Huruvida entreprenadkostnader förändras relativt idag har inte värderats.</p>
Olyckor	
	<p>Inkomstutvecklingen leder till en ökad värdering av olyckor, men detta leder samtidigt till ökade krav på säkerhet i tätort. De förbättrade säkerhetssystemen kopplade till bilarnas automation och delning av trafikinformation leder till kraftigt minskade olyckor i tätort med oskyddade trafikanter. Sammantaget förväntas en minskning.</p>
Koldioxid	
	<p>Elektrifiering av vägtrafiken samt övergång till vätgas och biodrivmedel för den återstående tunga trafiken leder till att utsläpp av koldioxid är noll eller nära noll. Det går inte att utesluta att vissa kvarvarande fordon, exempelvis veteranbilar och möjligen vissa tyngre fordon kan använda inblandning av fossilt bränsle i biodrivmedel. Det kan inte uteslutas att produktionen av biodrivmedel eller vätgas genererar någon form av kvarvarande utsläpp.</p>
Övriga emissioner	
	<p>Personbilstrafikens emissioner för förbränning elimineras genom övergång till elfordon. Mildare vintrar och ökat fokus på slitagepartiklar leder till lägre användningen av dubbdäck. Elektrifiering av tunga fordon i tätort eliminerar även emissioner från förbränning. De tunga fordonens emissioner från däck och vägsitage är oförändrat. Värderingen ökar tack vare högre inkomster och ökat fokus på hälsa. Sammantaget blir effekten troligen ändå en viss minskning.</p>
Buller	
	<p>Bullernivåerna är oförändrade pga. oförändrad vikt, väginfrastruktur och hastighet för både personbilar och tung trafik. Även oförändrat antal passagerare per fordon gör att buller per personkilometer är oförändrat. Värderingen av buller ökar dock på grund av inkomstökningen vilket gör att den sammantagna effekten beräknas öka. Effekten på landsbygden är oförändrad.</p>
Trängsel	
	<p>Ökad grad av automatisering och lägre körkostnad för drivmedel med elektrifierade fordon leder till ökad mängd trafik. Kilometerskatt begränsar ökningen till viss del. Automatiseringen innebär också mer effektiv nyttjande av vägbanan. Högre värdering av trängsel på grund av ökade inkomster motverkas av ökad frihet att göra annat med delvis självkörande fordon. Sammantaget är värderingen oförändrad.</p>

5.1.8 Alternativt scenario

I det alternativa scenariot antas att personbilstrafiken inte är helt elektrifierad till år 2045 på grund av svårigheter att öka produktionen i tillräckligt snabb takt vilket hållit priserna uppe. De elektrifierade fordonen används av de globala taxiföretagens mobilitetstjänster. Samtidigt har utvecklingen av fossilbilar slutat sedan länge men varianter av äldre modeller har sålts fram till 2030-2040 och används främst på landsbygden. Detta gör att åtgången av biodrivmedel till vägtrafiken är högre än i huvudscenariot.

5.1.8.1 Biltrafik

Personbilstrafiken är automatiserad utanför tätort och delvis även i tätort och har en lägre kostnad än idag vilket innebär ökad trafik på vägarna. Den automatiserade kollektivtrafiken med buss står för en högre andel av resorna men används främst av personer med lägre inkomster. Den välbärgade medelklassen föredrar egenägd premiumbil eller individuella mobilitetstjänster. Den genomsnittliga personbilen har ökat i vikt i strävan på högre komfort vilket leder till högre emissioner av slitagepartiklar och buller per personkilometer. Den högre graden av automatisering leder också till högre grad av tillgänglighet för grupper som inte tidigare haft tillgång till egen bil så som barn och personer med funktionsvariationer.

Eftersom bilarna kör längre sträckor tomma för att hämta passagerare hamnar andelen resenärer per fordon i genomsnitt under ett.

Tidsvärderingen för att resa med personbil motsvarar resande med tåg då förare inte behövs vid resor med personbil via mobilitetstjänster. Detta minskar restidsupoffringen vid trängsel.

För transport av gods sista milen vilket kan ske med tung lastbil, lätt lastbil eller nya typer av fordon blir kostnaden lägre utan chaufför vilket ökar andelen av korta transporter. Vilket i sin tur minskar mängden gods per fordon. Styrsystemen hanterar kökörning och minskar olycksrisken med andra fordon och oskyddade trafikanter. Fordonen förväntas vara uppkopplade och dela trafikinformation med varandra eller via central trafikstyrning.

5.1.8.2 Tung trafik

Den tunga trafiken förväntas bara vara elektrifierad till drygt 50 procent i stadstrafik som ett resultat av brist på råvaror för elektrifiering.

Vätgastekniken har varit trög att implementera i praktiken på grund av bristande infrastruktur för tankning och vätgaslastbilar har bara rullat ut för några få år sedan. Bland tunga lastbilar kan en del fortfarande drivas med förbränningsmotorer där elektrobränslen och biodrivmedel primärt används. Elektrobränsle ligger högt i pris på grund av få koncentrerade utsläppskällor och miljökrav tvingar branschen att fortsätta använda biodrivmedel. Behovet av biodrivmedel är därför högt vilket också gör priset högt.

Vikten på de tunga fordon som använder batteri har gått upp på grund av ökad efterfrågan på batterikapacitet samtidigt som råvarubristen satt gränser för batteriernas utveckling. Det leder till ökat slitage, buller och övriga emissioner.

De tunga fordonen förväntas automatiseras på långväga trafik och körs trådlöst på distans inom logistikområden och tätort. Priset på transporter sjunker på grund av låg personalintensitet och efterfrågan på drivmedel ökar. Lastbilarnas tekniska system innebär ökade säkerhetsfunktioner men många äldre lastbilar rullar fortfarande.

Tabell 3. Utveckling av vägtrafikens externa effekter, alternativt scenario.

Utveckling till 2045 – effekt på marginalkostnader (kr/pkm, kr/tonkm)	Kommentar
Infrastruktur (drift och underhåll)	
	Tyngre fordon (både tunga fordon och personbilar) leder till högre slitage både per fordonskilometer och externkostnad per ton/personkilometer. Även färre resenärer per fordon ökar kostnad per personkilometer.
Olyckor	
	Värderingen av olyckor ökar på grund av ökade inkomster. Högre grad av automatisering leder till mycket lågt antal olyckor, i synnerhet i tätort. De externa kostnaderna för olyckor kan dock inte helt elimineras. Sammantaget blir effekten en kraftig minskning. På landsbygden är effekten en svagare minskning från låg nivå.
Koldioxid	
	Samma som i huvudscenariot. Elektrifiering av biltrafiken samt övergång till vätgas och biodrivmedel för den återstående tunga trafiken leder till att utsläpp av koldioxid är noll eller nära noll. Det går inte att utesluta att vissa kvarvarande fordon, exempelvis veteranbilar och möjligen vissa tyngre fordon kan använda inblandning av fossilt bränsle i biodrivmedel. Det kan inte uteslutas att produktionen av biodrivmedel eller vätgas genererar någon form av kvarvarande utsläpp.
Övriga emissioner	
	Tyngre fordon (både tunga fordon och personbilar) leder till ökad slitagepartiklar. Fortsatt användning av biodrivmedel leder till lägre minskning av förbränningspartiklar. Sammantaget ökar den externa kostnaden både per fordonskilometer och extern kostnad per ton/personkilometer. Även färre resenärer per fordon och högre värdering på grund av ökade inkomster ökar kostnaden per personkilometer samt tonkilometer. Effekten på landsbygden är oförändrad.
Buller	
	Tyngre fordon, färre resenärer per fordon och ökad värdering på grund av inkomst leder till en tydligt högre kostnad för buller per ton/personkilometer. Dessutom innebär förtätning att fler individer exponeras för buller från fordon i tätort. Buller skulle kunna minskas genom smalare däck och tyst asfalt på utvalda platser men inga drivkrafter pekar mot det i det alternativa scenariot. Effekten på landsbygden är oförändrad.
Trängsel	
	Automatiseringen innebär mer effektivt nyttjande av vägbanan. Automatisering och lägre körkostnad för drivmedel med elektrifierade fordon leder till ökad mängd trafik. Godstrafikens automatisering leder till extra trängsel i tätorter. Högre värdering av trängsel på grund av ökade inkomster motverkas av ökad frihet att göra annat med självkörande fordon. Sammantaget är värderingen en ökning.

5.2 SPÅRTRAFIK

Spårtrafikens utveckling är utifrån intervjuerna lättare att beskriva då tågens utvecklingscykel är betydligt längre än för vägtrafiken. Den planerade avskrivningstiden för tågagnar är cirka 30 år, vilket alltså betyder att tågen som säljs på marknaden idag med största sannolikhet kommer att rulla år 2045. I många fall uppdateras vagnarna dessutom för att användas längre perioder än så, exempelvis driftsattes SJ:s X2000-tåg hösten 1990 och nylanserades hösten 2021 med ny inredning. Utvecklingsprocessen förlängs också av själva inköpsmetoden som är mycket grundlig och ofta görs av offentliga beställare. Inköp av nya vagnar för en tågoperatör kan ta cirka 5 år. Vi vet därför i praktiken med säkerhet vilken basteknik som kommer att användas år 2045 vilket avgör viktiga parametrar som vikt och drivlina.

5.2.1 Koldioxid

Majoriteten av den svenska järnvägen är redan idag elektrifierad, förutom ett fåtal enskilda banor samt vissa godståg som både använder diesel och el. Trafikverket föreslår elektrifiering av två sådana banor i nytt förslag till nationell plan för transportsystemet till 2033.⁷¹ Enligt de intervjuade kan vi räkna med noll andel fossila drivmedel 2045 i järnvägstrafiken. Batteriteknik kan ersätta de korta transporter inom bangårdar som idag körs med diesel. Eventuella kvarvarande sträckor utan el kan köras med biodrivmedel. I princip samtliga lok från 2010 och framåt kan köras med biodrivmedlet HVO. Förändringen i utsläpp blir dock mycket liten eftersom andelen el är hög redan i utgångsläget.

5.2.2 Marginalkostnad för slitage av infrastruktur

De stora externa marginalkostnaderna för järnvägstrafiken är kostnad för slitage av infrastruktur, olyckor och buller. Kostnaden för slitage delas upp i två delar, ökat slitage på anläggningen samt reinvesteringar som visat sig korrelera med mängden trafik.⁷² Den senare beror på att reinvesteringar i signal- och teleanläggningar tidigareläggs på grund av högre störningar av fler tåg. Därmed uppstår en marginalkostnad även på signal och teleanläggningar. I den nationella planen ingår en pågående utbyggnad av nytt signalsystem (ERTMS) i storleksklassen 40 miljarder som ej bedöms vara färdigt till 2033. Vi kan inte bedöma hur detta system kan komma att påverka reinvesteringarkostnaden och den externa infrastrukturkostnaden. Samtidigt kan den digitala tekniken också möjliggöra effektivare användning av banorna vilket skulle betyda fler tåglägen och därmed fler passagerare på banan per tidsenhet. Då effekterna på reinvesteringar är för svåra att bedöma görs ingen värdering av detta i sammanvägningen.

Den andra delen av slitaget beror på friktion mellan hjulen och rälsen. Denna del påverkas av tågets vikt, hjulens skick och mängden inbromsningar. Den digitala tekniken används för ökad övervakning av komponenter på tågen vilket ger operatörerna bättre möjligheter att åtgärda fel och anpassa service. Skeva hjul eller brister i hjulupphängning kan åtgärdas i tid och därmed minska kostnaderna för slitage. Tekniken kan också användas i bangårdar för att låta AI-baserade verktyg optiskt besiktiga vagnarna med digitala

⁷¹ Älmhult-Olofström-Karlshamn samt Värnamo-Jönköping/Nässjö. (Trafikverket, 2021b)

⁷² (Nilsson & Odolinski, 2018)

kameror efter fel. Fel på vagnar och slitna komponenter ökar slitaget på banan och det finns ett kommersiellt incitament att implementera tekniken. Enligt intervjuerna bör det få en positiv effekt och innebära lägre underhållskostnader för slitage år 2045.

Högre hastigheter medför också ökat slitage, men bara under förutsättning att banan är oförändrad. Hastigheten på svenska banor sätts efter banans standard. Slitaget beror på kostnaden för infrastrukturen, som i sin tur är anpassad för hastigheten. En generell höjning av hastigheterna borde synas genom dyrare investeringar och därmed slå igenom i underhållskostnaden.

5.2.3 Buller

Även buller är ett resultat av kontakten mellan räls och spår där vikt, bromsar och hastighet har betydelse. Buller går också att påverka i högre grad av tåget eller vagnarnas hjulupphängning vilket innebär större möjligheter att styra utvecklingen av buller. Godståg har enligt våra intervjuer betydligt högre ljudnivåer än persontåg. Dels beror det på den högre vikten, men också på äldre teknik på både gamla och nyare godståg. Då godsets intresse för komfort är lägre än passagerare saknas incitament för tågoperatören att investera i dyrare hjulupphängningar när nya tåg köps in. Ett modernt pendeltåg exempelvis har mycket låga bullernivåer, medan ett modernt godståg låter ungefär som ett äldre regionaltåg med lok. Utvecklingen går dock mot lägre bullernivåer för ett enskilt tåg.

Bullernivåerna kan påverkas av tågens fördelning mellan tätort och landsbygd. Nya stambanor för höghastighetståg kan öka bullernivåerna per personkilometer på grund av högre hastighet. Om de också förläggs till angöringsstädernas centrala delar i ett yttligt läge kan bullerpåverkan öka. Så här formulerade Trafikverket problematiken i slutrapporten:

"En ny järnväg i ytläge genom tätorter kan innebära stor påverkan på befintlig bebyggelse och infrastruktur och medför stor bullerpåverkan, vilket begränsas i RU1, RU2 och RU3 i och med framförallt externa eller stadsnära stationslägen. Hur järnvägen lokaliseras i förhållande till befintlig infrastruktur inom eller i anslutning till tätorterna styr också i vilken grad situationen kommer att förändras."⁷³

Buller från järnväg går att påverka med bullerskyddsåtgärder, men enligt de intervjuade är effekten svår att begränsa inom 30–50 meter från spåret. Det kan alltså vara svårt att motverka det ökande antal individer som påverkas av buller vid förtätning i tätorter.

5.2.4 Bromsning påverkar slitage, buller och partiklar

En annan teknisk utveckling som gäller fler tåg är förbättrade system för bromsning. Bromsning ger upphov till utsläpp av partiklar, slitage på banan samt buller. Partiklar från bromsar vägs idag inte in den externa kostnaden. Två tekniker som är aktuella är ökad motorbroms samt bättre bromsbelägg. Partikelutsläppen från bromsar har liten effekt utomhus men däremot vid stationer i inomhusmiljö, som exempelvis i tunnelbanemiljö, kan det ha större effekt. Plattformbarriärer som i den underjordiska tågstationen Stockholm city minskar effekten. I denna rapport har ingen värdering av bromspartiklar

⁷³ (Trafikverket, 2021c, s. 90)

vägts in, däremot kan frågan komma att bli aktuell i framtiden om fler inomhusstationer byggs.⁷⁴

Inom EU har förslag på bromsbelägg som avger mindre bromsljud föreslagits men dessa klarar i dagsläget inte svenska vinterförhållanden. Enligt intervjuerna bedöms detta gå att förbättra över tid vilket främst är en kostnadsfråga. En bättre teknik är att bromsa genom elektrisk regenerering av elenergi via tågets motorer. Dels minskar det energiförbrukningen något, dels uppstår det inte något friktionsljud från bromsar. Detta förutsätter dock att tågen utrustas med fler motorer, vilket också eftersträvas i fler upphandlingar enligt de intervjuade. Fler motorer är mer kostsamt vid inköp men kostnaden avsätts någon mån av minskat slitage på bromsar. Detta är viktigare ju oftare tågen stannar. I Sverige ökar regionaltågstrafiken (inklusive pendeltåg) där fler motorer numera eftersträvas. Därför är det sannolikt att buller från persontågens bromsar kan minska till 2045. Däremot minskar inte slitaget då bromskraften är densamma mot rälsen.

5.2.5 Utvecklingen i branschen

En av de pågående trenderna i branschen är att maximera antalet platser men med bibehållen eller ökad komfort. Vägen dit går främst genom att effektivisera layout och minimera skrymmande tekniska komponenter. Själva vagnarna står vanligtvis för 85-90 procent av tågets vikt vilket betyder att fler platser minskar de externa kostnaderna per personkilometer. Branschen arbetar även med energieffektivisering, men då järnvägen redan är väldigt energieffektiv blir förändringarna små.

Ytterligare en viktig aspekt är pandemins påverkan på olika typer av resande. Sedan 1990-talet har merparten av den ökade tågtrafiken skett i regionaltågstrafiken. Regionaltågstrafiken utsätts inte heller för konkurrens på samma sätt av flygtrafiken som den interregionala trafiken. Denna trend kan förstärkas av pandemin då affärsresandet minskar vilket minskar efterfrågan på interregionala resor. Trenden mot minskade interregionala flygresor kan motverkas av styrmedel för att minska nationellt flygresande.

5.2.6 Godstågens utveckling

Generellt kan godstågen sägas gå samma utveckling som persontågen, men långsammare. Detta avspeglas redan i de högre kostnader för buller och koldioxid i de externa effekterna i dagsläget. Enligt de intervjuade går utvecklingen mot elektrifiering och bättre hjulupphängningar. Av ekonomiska och praktiska skäl kommer utvecklingen sannolikt fortsatt ligga efter persontågen, men förändringen kan bli lika stor eller större.

På godssidans finns en strävan att köra tyngre tåg, alltså med mera last. Andelen gods per vagn skulle potentiellt kunna öka. Samtidigt är korrelationen mellan slitage och totalvikt på tågen höga. Tyngre tåg leder också ökat buller, vilket är en ytterligare förklaring till den stora skillnad som råder i bullernivåer mellan persontåg och godståg. Här finns en risk att bullernivåerna ökar per fordonskilometer, parallellt med att godsmängden ökar. Per tonkilometer bör effekten dock inte påverkas.

⁷⁴ Arlanda station, Citytunneln i Malmö och Citybanan i Stockholm är existerande exempel. Men även Västlänken i Göteborg kommer ha stationer i inomhusmiljö och förslag finns på inomhusstationer för nya stambanor.

5.2.7 Huvudscenario

I huvudscenariot är all tågtrafik fossilfri, batteridrivna eller i vissa fall på de få banor där el saknas används biodrivmedel eller elektrobränslen.

Energiförbrukningen effektiviseras något. Minskningen blir liten då nivån i utgångsläget är mycket låg men går mot noll.

Den grundläggande tekniken i tågen är huvudsakligen densamma men bromsarna har blivit tystare och har lägre utsläpp av emissioner. Loken med vagnar för persontåg har fasats ut vilket gör att andelen persontåg med modern hjulupphängning ökar. Även på godssidan har hjulupphängningarna blivit bättre men når inte upp till samma tysta standard som i persontågen. Vagnarna har digitaliserats allt mer vilket får en positiv effekt på slitaget på banorna. Digitaliseringen effektiviserar underhåll och minskar slitaget på banan i viss utsträckning. Huvuddelen av slitaget kvarstår dock. Detta gäller både godståg och persontåg.

Antalet passagerare per vagn kan öka med 10–20 procent på nya vagnar vilket gör att antalet platser i hela vagnflottan som går 2045 har något fler platser per vagn. Efterfrågan på att resa med tåg kvarstår trots något lägre körkostnad med delvis automatiserade bilar. Urbaniseringsgraden är något högre och den genomsnittliga beläggningen är något högre än i dagläget. Samtidigt ligger spåren där de ligger och förtätningen i tätorter gör att fler påverkas av buller från tågen.

Godstågens kapacitet motsvarar dagens. Mängden gods ökar något tack vare digitalisering inom logistik som effektivisering lastning av vissa sorters gods. Den totala vikten ökar vilket ökar buller per tåg, men inte per tonkilometer.

Hastigheten på tågen ökar i genomsnitt vilket till stor del beror på de nya stambanorna som färdigställts. Den högre hastigheten får en negativ effekt på buller. Samtidigt ökar andelen regionala resor vilket minskar buller från bromsar men ökar slitaget per personkilometer på grund av fler stopp.

Antalet planskilda korsningar har ökat och säkerheten har förbättrats på en markant andel av de plankorsningar som kvarstår. Bättre digital teknik för övervakning av spårområden minskar spårspning. Sammantaget minskar olyckorna men inte tillräckligt för att nå noll.

Tabell 4. Utveckling av spårtrafikens externa effekter, huvudscenariot.

Utveckling till 2045 – effekt på marginalkostnader (kr/pkm, kr/tonkm)	Kommentar
Slitage på infrastruktur (drift och underhåll)	
	Slitagekostnad minskar något digitaliseringen förbättrar underhåll av bana och tåg. Fler passagerare per persontåg och oförändrat mängd gods per tåg leder till sammanvägd minskning.
Olyckor	
	Trafikverkets investeringar i fler planskilda korsningar och skalskydd på anläggningen minskar olyckorna. Även digital teknik kan användas för att detektera och motverka spårsprung som leder till olyckor. Högre inkomster leder till högre värdering av olyckor. Men den ökade värderingen tack vare högre inkomster leder troligen till ökade krav på investeringar i säkrare plankorsningar och bättre signalteknik för att minimera olyckor. Effekten blir sammantaget minskning.
Koldioxid	
	Tågtrafiken blir koldioxidfri genom batteridrift, biobränsle och elektrobränslen. Utsläppen blir noll eller nära noll.
Övriga emissioner	
	I övriga emissioner räknas ej partiklar från bromsar, endast från förbränning. Dessa når noll eller nära noll tack vare att förbränningsmotorer knappt finns kvar i tätort.
Buller	
	Bullerkostnaden kan öka på grund av snabbare persontåg och tyngre godståg. Även förtätning av tätorter leder till att fler individer störs av buller från samma tåg. Detta kan vägas upp av något fler passagerare och bullerskyddsåtgärder i nationell plan vilket leder till en minskning. Samtidigt innebär inkomsteffekten en högre värdering av buller. Detta gör att den externa kostnaden för buller sammantaget troligen ökar något.

5.2.8 Alternativt scenario

Skillnaderna i alternativscenariot mot huvudscenariot är få. Den största skillnaden är kopplad till de automatiserade fordonen i vägtrafik vilket minskar efterfrågan på personresor och godsresor med järnvägstrafik. På grund av trängsel och ökande befolkning i tätorter är den genomsnittliga beläggningen oförändrad. Detta får resultatet att kostnaden per tonkilometer

respektive personkilometer inte sjunker vid oförändrad teknik. Det gör att den stigande värderingen på grund av ökade inkomster för vissa externa kostnader blir viktigare. Mängden gods på järnväg minskar men tågens längd och antal tåg anpassas. Detta får inte någon direkt effekt per tonkilometer utöver buller som i stort är oförändrat per tonkilometer oavsett längden på tåget.

Även i alternativscenariot är all tågtrafik fossilfri, batteridrift eller i vissa fall biodrivmedel eller elektrobränslen används för de få banor där el saknas. Energiförbrukningen effektiviseras något. Minskningen av koldioxidutsläpp blir liten i absoluta tal då nivån i utgångsläget är mycket låg men minskningen i andelar av nuvarande utsläpp blir stor när det går till noll eller nära noll.






Den grundläggande tekniken i tågen är huvudsakligen densamma som idag men bromsarna har blivit tystare och ger lägre utsläpp av slitagepartiklar. Lägre investeringsgrad på grund av svagare efterfrågan på fjärrtåg och regionaltåg gör att många äldre vagnar fortfarande används. Även på godssidan har hjulupphängningarna blivit bättre men når inte upp till samma tysta standard som persontågen. Vagnarna har digitaliserats vilket ökar kostnadseffektiviteten för tågoperatörerna men förbättringarna på slitaget uteblir i avsaknad av företagsekonomiska incitament.

Antalet passagerare per vagn kan öka med 10-20 procent på nya vagnar vilket gör att antalet platser i hela vagnflottan som går 2045 har något fler platser per vagn. Efterfrågan på att resa med tåg kvarstår och beläggningen är något högre än i dagsläget vilket sänker de externa kostnaderna per personkilometer. Godstågens kapacitet är motsvarande som dagens.

Hastigheten på tågen ökar i genomsnitt vilket till stor del beror på att de nya stambanorna som färdigställts. Den högre hastigheten får en negativ effekt på buller. Samtidigt ökar andelen regionala resor vilket minskar buller från bromsar men ökar slitaget per personkilometer på grund av fler stopp.

Antalet planskilda korsningar har ökat och säkerheten har förbättrats på en markant andel av de plankorsningar som kvarstår. Bättre digital teknik för övervakning av spårområden minskar spårspning. Sammantaget minskar olyckorna men inte tillräckligt för att gå mot nära noll.

Tabell 5. Utveckling av spårtrafikens externa effekter, alternativt scenario.

Utveckling till 2045, effekt på marginalkostnader (kr/pkm, kr/tonkm)	Kommentar
Infrastruktur (drift och underhåll)	
	<p>Slitaget på banan kvarstår på samma nivå för persontåg. Detta beror på att digitaliseringen främst används till att spara kostnader för tågoperatörer. Dyrare teknik för signal och tele ökar reinvesteringskostnaderna. En lägre belägningsgrad på tågen leder till färre passagerare per fordonskilometer. Detta kan i viss mån kompenseras genom färre vagnar. Sammantaget ökar kostnaderna något per ton och fordonskilometer.</p>
Olyckor	
	<p>Trafikverkets investeringar i fler planskilda korsningar och skalskydd på anläggningen minskar olyckorna. Även digital teknik kan användas för att detektera och motverka spårspring som leder till olyckor. Högre inkomster leder till högre värdering av olyckor. Men den ökade värderingen tack vare högre inkomster leder troligen till ökade krav på investeringar i säkrare plankorsningar och bättre signalteknik för att minimera olyckor. Effekten blir sammantaget minskning.</p>
Koldioxid	
	<p>Tågtrafiken blir koldioxidfri genom batteridrift, biobränsle och elektrobränslen. Utsläppen blir noll eller nära noll.</p>
Övriga emissioner	
	<p>I övriga emissioner räknas ej partiklar från bromsar, endast från förbränning. Dessa når noll eller nära noll tack vare att förbränningsmotorer knappt finns kvar i tätort.</p>
Buller	
	<p>Bullerkostnaden kan öka på grund av snabbare persontåg och tyngre godståg. Även förtätning av tätorter leder till att fler individer störs av buller från samma tåg. Något sämre belägningsgrad av passagerare leder till ökad kostnad per personkilometer. Inkomsteffekten innebär en högre värdering av buller. Bullerskyddsåtgärder i nationell plan minskar problemen något. Detta gör att den externa kostnaden för buller sammantaget troligen ökar något.</p>

5.3 SJÖFART

Sjöfartens externa kostnader består till största delen av utsläpp av koldioxid. Anledningen är enkel, merparten av sjöfarten sker till havs eller till sjöss långt från tätorter och därför påverkar utsläpp, buller och andra aktörer betydligt färre personer. En annan relevant faktor för godstrafiken är lastkapaciteten vilket gör att trots stora utsläpp per fartyg blir utsläppen per ton i genomsnitt lägre än en tung lastbil. Olyckskostnaden i sjöfarten är den näst största kostnaden av de externa effekterna och beror på olyckor inom sjöfarten, dock inte i hamn och terminaler.⁷⁵

I tidigare uppföljningar av trafikens externa effekter så har buller inte ingått och marginalkostnaden för dessa finns därför inte med i den historiska tillbakablicken. 2014 konstaterades att det inte finns någon forskning om marginalkostnader för buller från sjöfart⁷⁶ och det har inte heller under arbetet med denna rapport kunnat identifierats. Det finns en typ av buller som huvudsakligen uppstår när fartygen är i hamn och strömförsörjs genom fossildrivna hjälpmotorer. Dessa kan ge upphov till monotont buller som kan vara särskilt störande nattetid men dessa effekter ingår inte i redovisningen för trafikens externa effekter. Eftersom det är en fråga som flera av de intervjuade lyfte benämns det kort nedan.

En viktig åtgärd är att elansluta fartygen i hamn så att hjälpmotorer inte behövs när fartyget ligger vid kaj.⁷⁷ Inom EU-kommissionens forskningsplan för elektrifiering finns en målsättning om att samtliga fartyg som anlöper hamnar inom EU ska erbjudas landströmsanslutning till 2025.⁷⁸ Det kan förefalla som självklart men i dagsläget saknas en gemensam internationell standard för detta enligt de intervjuade. Detta hör dock, som tidigare nämnt, inte till trafikens externa kostnader även om det tidigare har lyfts att bättre underlag gällande befolkningstäthet och fartygstrafik skulle kunna möjliggöra uppföljning av sådana kostnader.⁷⁹

Utsläppen av partiklar från fartygen är dock en faktor som ingår i de externa effekterna men där de direkta externa kostnaderna är relativt små på grund av att utsläppen sker på avstånd från tätort. Men partikelhalterna är högre än för andra fordon och vissa av partiklarna sprids längre sträckor, exempelvis till flera länder runt östersjön. Utöver anslutningen till landströmsförsörjning för att minska utsläpp i hamn är målsättningen i EU-kommissionens forskningsagenda att fartyg som färdas inom EU till år 2035 har fossilfri energilagring för att kunna köra fossilfritt 20–30 miles (32–48 kilometer) till och från hamn. Möjlighet ska även finnas att ladda batterier för detta ändamål.⁸⁰ Detta bör minska de lokala utsläppen av partiklar och därmed de externa kostnaderna för emissioner.

Den stora förändringen inom sjöfarten är byten av bränslen, vilket motiveras av minskade utsläpp av koldioxid. Förändring av bränslemixen får effekt även på emissioner. Möjligheterna att byta bränslen inom sjöfarten begränsas av kapaciteten att lagra den mängd energi som krävs för framdriften. År 2019 gick färre än 1 procent av fartygen i drift i världen på

⁷⁵ (Nilsson & Haraldsson, 2018)

⁷⁶ (VTI, 2014)

⁷⁷ Se exempelvis Stockholms hamnars åtgärder mot buller. (Stockholms hamnar, 2021)

⁷⁸ (Meyer, Bucknall, & Breuil, 2016)

⁷⁹ (Nilsson & Johansson, 2014; SIKA, 2010)

⁸⁰ (Meyer, Bucknall, & Breuil, 2016)

alternativa drivmedel och utgjordes av ungefär lika delar batteri och flytande naturgas (LNG). En analys år 2020 där även fartyg som är beställda men ännu ej har tagits i drift inkluderas uppgår andelen alternativa drivmedel till 9 procent. LNG och batterier står för 4 procent vardera och den sista procenten delas mellan metanol, LPG, vätgas och ammoniak. I kategorin batteri ingår även olika former av hybrider. I den svenska inrikesjöfarten står LNG för en högre andel, cirka 10 procent och även biodrivmedel används.⁸¹ Enligt våra intervjuer går branschen just nu mot exponentiell ökning av LNG, detta på grund av internationella regelverk för att minska svavelutsläpp från bunkeroljan. LNG är också fossil men kan ersättas med LBG, alltså flytande biogas. Drivmedlet har fördelen att det minskar koldioxidutsläppen, men nackdelen att biogas och naturgas är ännu starkare växthusgaser och läckage riskerar att helt utradera den positiva effekten enligt de intervjuade. LNG har också fördelen att minska mängden kvävedioxid till cirka en tredjedel.⁸² Enligt de intervjuade är ammoniak och metanol andra alternativ till LNG som går att producera fossilfritt. De är dock utrymmeskrävande och ammoniak är dessutom farligt för både miljö och människor. Ett utsläpp i naturen är troligtvis allvarligt och läckage inom fartyget kan vara mycket farligt för personalen då inandning av gaser från ammoniaken kan skada luftrören. Kunskap saknas idag avseende hur ammoniak kan hanteras säkert.⁸³

Den svenska inrikes sjöfarten består huvudsakligen av färjor och fartyg för både fordon och passagerare där Gotlandstrafiken är den största aktören. Även andra statliga aktörer som Kustbevakningen, Sjöfartsverket och Trafikverkets är stora aktörer. Tillsammans står alla fyra för cirka 50 procent av den svenska inrikesjöfarten. Ytterligare en del av inrikestrafiken är driven av offentliga aktörer. Inom den upphandlade trafiken används biodrivmedel men detta ses som en övergångslösning då biodrivmedel är dyrt och förbrukningen hög. Passagerartrafiken utrikes går främst till övriga länder runt Östersjön. Potentialen för elektrifiering varierar beroende på destination men enligt de intervjuade borde inrikestrafiken kunna elektrifieras till 2045 i stor utsträckning och mellan 30–70 procent av trafiken inom Östersjön borde kunna elektrifieras.

Även inom EU finns drivkrafter för att ersätta fossila drivmedel. I EU:s program Fit for 55 som lades fram i juli 2021 föreslås att sjöfarten inkluderas i befintligt handelssystem, EU ETS. Det skulle gälla fartyg över 5000 ton som anlöper i EU. Koldioxiden ska enligt direktivet minska med 59 procent till 2045 och 75 procent år 2050. Inför beslut om direktivet har inverkan på ny teknik beräknats där bränslecellsdrivna fartyg (vätgas) väntas uppgå till cirka 19 procent och elektrisk framdrivning till 5,4 procent år 2050.⁸⁴ Om direktivet införs får det sannolikt stor effekt på utsläpp av koldioxid men även på andra partiklar, både genom viss minskning av sjöfart men också effektivisering. VTI har bedömt utsläppen av partiklar i olika scenarier. Om en realistisk omställning mot hållbara drivmedel och en viss minskning av trafiken sker kan koldioxidutsläppen minska med hälften totalt sett och partikelhalterna med mellan 50 och 90 procent beroende på partikeltyp till år 2045.⁸⁵

⁸¹ (VTI, 2021b)

⁸² (VTI, 2021b)

⁸³ (Hansson & Fridell, 2020)

⁸⁴ (EU-kommissionen, 2021)

⁸⁵ (Trosvik, Vierth, & Andersson-Sköld, 2020)

Enligt de intervjuade är den stora utmaningen den internationella godstrafiken som är betydligt svårare att ställa om. Energibehovet på interkontinentala transporter är så stora att elektrifiering skulle innebära för stora förluster av lastutrymme och ökad vikt. Någon form av flytande bränsle är nödvändigt på sikt. Ett positivt steg är att *International Maritime Organization* (IMO) har uttalat ambitionen att minska utsläppen med 50 procent. Teknikvalet är dock oklart. En annan viktig aspekt som påverkar marginalkostnaden är fartygens storlek. Större fartyg ger betydligt lägre förbrukning per tonkilometer jämfört med mindre fartyg. Sedan 70-talet har fartygen ökat i storlek regelbundet och de största containerfartygen kan idag lasta 24 000 containrar och antalet ökar. Vi saknar prognoser för utvecklingen av fartygens storlek som angör svenska hamnar men det är möjligt att storleken ökar, vilket skulle innebära lägre kostnad per tonkilometer.

En aspekt som bör ingå i ett framtidsscenario är stigande temperatur och dess påverkan på isbildning. Mindre is bör rimligen minska kostnaden för isbrytning. Isbildningen varierar från vinter till vinter i Östersjön och förekommer historisk från Stockholm och norrut. Vid normala vinterförhållanden är Finska viken, Bottenhavet, Bottenviken samt delar av Östersjön istäckt. Vid milda vintrar behöver inte hela flottans isbrytare användas.⁸⁶ Särskilt hamnarna i Sundsvall, Skellefteå, Umeå och Luleå är beroende där bland annat skogsindustrin skeppar varor från är beroende av isbrytningen.

SMHI har baserat på standardiserade klimatscenarion beräknat isbildningen i Östersjön. Variationerna kommer fortfarande att vara stora och även i ett scenario med kraftigt höjda temperaturer bedöms isbildning fortsätta ske hela seklet. I det som anges som standardscenario RCP 4.5 vilket motsvarar en temperaturökning på 2–3 grader, den lägsta som bedömts, påverkas främst Bottenhavet. Is förekommer fortfarande men är tunnare jämfört med vad den har varit. Den genomsnittliga isklassen i Bottenhavet motsvarar då Sjöfartsverkets lägsta klassning vilket fartyg på 2000 ton och uppåt kan klara själva. I Norra kvarken och Bottenviken är skillnaderna mindre även om det genomsnittliga istäcket bör bli tunnare.⁸⁷

Isbrytning påverkas i övrigt huvudsakligen av kostnader för driften av isbrytarna. Upphandling av nya isbrytare pågår men är ej ännu finansierad. Driftkostnaden för dessa är inte känd men sannolikt används dessa fram till år 2045. Kostnaden per tonkilometer påverkas också av mängden gods, vilket skulle kunna öka då isbrytarna kan bryta bredare rännor för större fartyg.⁸⁸ Ingen bedömning av förändring baserat på driftskostnaden för nya isbrytare har gjorts då beslut om inköp ej fattats.

5.3.1 Huvudscenario

I huvudscenariot är utgångspunkten att en omställning mot hållbara drivmedel tvingas fram, dels genom upphandling i inrikestrafiken dels genom EU-direktiv. Den nationella sjötrafiken går till delar på el, även mindre fartyg under 5000 ton inom EU går på el men fortfarande finns delar av flottan som inte är konverterade. I alla EU:s hamnar finns el-anslutning för laddning och förbrukning i hamn. Det påverkar dock inte trafikens externa effekter. Alla

⁸⁶ (Sjöfartsverket, 2021)

⁸⁷ (SMHI, 2021)





⁸⁸ (Sjöfartsverket, 2021)

fartyg oavsett storlek använder eldrift inom 3 kilometer från hamn, även större fartyg med hybridsystem.

De internationella transporter som styrs av internationella regelverk har gått över till LNG i relativt stor skala. I Sverige ersätts LNG med LBG (flytande biogas) vilket gör att en andel av internationella transporter som bunkrar i Sverige kör fossilfritt från svenska hamnar. Metanläckagen har minskat och LNG och LBG ger därför minskade sammanvägda klimatutsläpp. Även andra fossilfria drivmedel används. För de internationella tunga transporter används fortfarande fossila drivmedel på öppet hav på grund av brist på biodrivmedel.

Den genomsnittliga fartygsstorleken har minskat på grund av ökad elektrifiering vilket lämpar sig bättre i mindre fartyg. Det leder till att energiförbrukningen per tonkilometer ökar. Effekten påverkar främst fartyg som är utsläppsfria vilket innebär att utsläppen per tonkilometer och personkilometer inte ökar på grund av detta.

Tabell 6. Utveckling av sjöfartens externa effekter, huvudscenario.

Utveckling till 2045 - effekt på marginalkostnaden (kr/pkm)	Kommentar
Infrastruktur (isbrytning och lotsning)	
	Något lägre kostnad för isbrytning på grund av tunnare istäcke vid högre temperaturhöjning enligt SMHI:s scenario. Oklar förändring av driftskostnad för nya isbrytare då beslut inte är fattade.
Olyckor	
	Påverkas ej då ökad automatisering i hamnar och mindre fysiskt arbete räknas ske utanför transportsystemet i tidigare analyser. Eventuellt viss ökning om olyckskostnader värderas högre, men marginell eller försumbar skillnad mot dagens nivåer. Troligt att säkerheten är under ständig utveckling, framförallt om värderingen för olyckor ökar.
Koldioxid	
	På svenskt territorium minskar utsläppen kraftigt i den upphandlade trafiken. Även persontrafik till och från Sverige närmare sig noll. Internationell godstrafik utgör merparten av trafiken och där sker minskning men ej lika stor.
Övriga emissioner	
	Ökad eldrift inom Sverige samt nära hamn för hybridfartyg får genomslag och övriga emissioner närmar sig noll.

5.3.2 Alternativt scenario





I det alternativa scenariot har inga starka styrmedel införts via IMO, EU-direktivet har ej antagits och för att hålla nere kostnader har den offentligt upphandlade trafiken inte utsatts för krav. Resultatet är att fartyg inom EU och nationellt har i stort sett samma bränsle som idag. På korta distanser har elektrifiering påbörjats men bara nått cirka 5 procent av de kortväga resorna. Cirka hälften av drivmedlet för fartyg på korta distanser är fossila drivmedel och drygt en tredjedel andra fossilfria drivmedel utöver el⁸⁹. För de internationella tunga transportererna används fortfarande fossila drivmedel på öppet hav pga. brist på biodrivmedel eftersom dessa behövs till vägtrafiken.

Miljömålen nås således inte i det alternativa scenariot. Utsläppen av koldioxid minskar per personkilometer och tonkilometer på grund av cirka 30 procent reduktion i bränsleförbrukning tack vare effektivare skrov och motorer.

Utsläpp av svavel och kvävedioxider minskar i detta scenario tack vare mer effektiva förbränningsmotorer och övergång till LNG. I alla svenska hamnar finns hamnladdning och landströmsförsörjning vid kaj. Det påverkar dock inte trafikens externa effekter. Krav ställs på elektrisk drift av passagerarfartyg inom 3 kilometer från kaj, däremot ej för lastfartyg. Övriga emissioner minskar.

Vissa fartyg drivs med ammoniak som minskar utsläppen men negativt påverkar hälsan hos besättningen vid olyckor och läckage.

Tabell 7. Utveckling av sjöfartens externa effekter, alternativt scenario.

Utveckling till 2045 - effekt på marginalkostnaden (kr/pkm)	Kommentar
Infrastruktur (drift och underhåll)	
	Lägre kostnad för isbrytning på grund av tunnare istäcke vid högre temperaturhöjning enligt SMHI:s scenario. Oklar förändring av driftskostnad för nya isbrytare då beslut inte är fattade.
Olyckor	
	Risken för allvarliga olyckor ökar då ammoniak i viss utsträckning används som drivmedel. Olyckor är inte vanliga men får stora konsekvenser för personalen när de sker. Eventuellt även viss ökning om olyckskostnader värderas högre, men marginell eller försumbar skillnad mot dagens nivåer.
Koldioxid	
	En viss minskning sker, främst tack vare effektivare förbränningsmotorer och större fartyg. Minskning från LNG uppvägs av metanläckage till atmosfären.
Övriga emissioner	
	Övriga emissioner minskar tack vare hybriddrift som används av passagerarfartyg i städer. Godshamnstäder påverkats fortsatt negativt av emissioner från lastfartyg.

⁸⁹ (Trosvik, Vierth, & Andersson-Sköld, 2020)

5.4 LUFTFART

Luffartens externa effekter består huvudsakligen av buller, koldioxidutsläpp inklusive höghöjdseffekt samt andra emissioner, alltså kväveoxider och partiklar. Trafikanalys har i tidigare arbeten konstaterat att slitage på rullbanor, trängsel och olyckor för tredje part inte är tillräckligt omfattande för att värderas⁹⁰. Kostnader för flygledning och flygplatsinfrastruktur är i regel fasta och påverkas i liten grad av ytterligare en avgång.⁹¹

Flygets framtida externa kostnader beror huvudsakligen på drivmedel eller typ av drivkälla. Utveckling sker även inom aerodynamik. Inom det regionala flyget finns flera tillverkare av flygplanstyper för persontransport och segmentet står för cirka 20 procent av de existerande passagerarflygplanen. Utvecklingstiden är lång och flygplanen används i flottan i ett par decennier. Konkurrensen är därmed begränsad och vi kan med relativt god säkerhet bedöma att flygplan som tillverkas de kommande 10 åren med dagens styrmedel sannolikt kommer att vara i bruk även 2045.

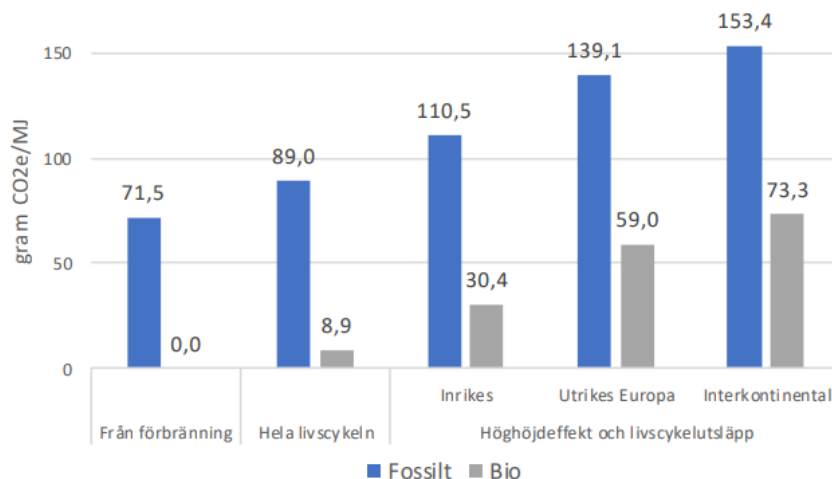
Utvecklingen kan både ske genom en ersättning av fossila drivmedel i dagens flygplansmotorer eller utveckling av nya flygplansmodeller. För dagens motorer kan bränsle delvis eller i vissa fall helt ersättas av motsvarande biodrivmedel eller syntetiska drivmedel. De syntetiska drivmedlen tillverkas av flytande naturgas eller kol vilket innebär att de inte är fossilfria. Därtill kommer nya tekniker som förbränning av vätgas, elektrifiering genom batteri eller vätgasdrivna bränsleceller. Även en tredje möjlighet är bränslen som tillverkats med elektricitet som energikälla men lagras kemiskt som exempelvis metanol, väte, ammoniak. Om den elektriska energin som används för att tillverka drivmedlet är koldioxidfri blir även förbränningen koldioxidneutral. Däremot krävs en kolkälla, exempelvis koldioxidlagring från industrin.

Biodrivmedel är mest beforskat och har potential att fungera tillsammans med dagens teknik i relativt stor utsträckning. Forskningen visar dock på motstridiga resultat avseende effekten på höghöjdseffekt samt emissioner av partiklar. Tröskeleffekterna för att använda biodrivmedel i flyg är lägre då flygplanen med förbränningsmotorer idag med en liten ändring går att använda med biodrivmedel. Vad biodrivmedel, eller andra fossilfria drivmedel, inte påverkar i lika stor utsträckning som koldioxidutsläppen generellt är höghöjdseffekterna. Det finns viss forskning som pekar på att även höghöjdseffekten minskar när biodrivmedel används⁹². I Figur 12 visas höghöjdseffekten per förbrukad energiåtgång för fossilt flygfotogen och biodrivmedel. Där framgår att höghöjdseffekten inte kommer att kunna generera nollutsläpp även om biodrivmedel används men att de är lägre än om fossila bränslen används.

⁹⁰ (Trafikanalys, 2021b)

⁹¹ (Trafikanalys, 2021b)

⁹² (Moore, 2017)



Källa: Utredningens egna beräkningar. Antaganden återfinns i bilaga 2.

Figur 12. Klimatpåverkan från fossilt respektive biojetbränsle. Med antagna livscykelutsläpp för åren 2035-2030. Olika distanser beräknas ha olika höghöjdefekt på grund av olika flyghöjd. Källa: Biojetutredningen (SOU 2019:11).

För att beräkna höghöjdefekterna så används en höghöjdsfaktor. Det finns inte en vedertagen faktor för detta. I Trafikanalys årliga rapporter används en om 1,7 baserat på Azar och Johansson⁹³, medan det i ASEK rekommenderas en faktor om 1,4 respektive 1,9 för inrikes respektive utrikes resor. Vad denna kommer att utvecklas och sättas till 2045 kommer att vara avgörande för de externa kostnaderna som orsakas av höghöjdefekten.

Vätgas- och elflyg är två områden som det också sker en stor utveckling inom. Utifrån underlaget från de genomförda intervjuerna framkom delade meningar om hur långt utvecklingen av dessa flygtyper hinner till 2045. Därför antas en försiktig och en mer optimistisk bild i huvudscenariot respektive det alternativa scenariot. Den största faktorn som gör att utvecklingstakten fram till 2045 kanske inte kommer att gå tillräckligt snabbt för att dessa flygtyper kan vara i trafik är för att flygplansutveckling består av två delar. Dels teknikutvecklingen där ramarna liknar den teknikutveckling som finns inom bilbranschen. Men för flyg tillkommer en extra utvecklingsfas som handlar om att säkerhetsställa att komponenterna är helt kvalitetssäkrade, vilket är en längre process än vad bilbranschen behöver ställas inför. Mycket av den utveckling som skulle behövas för att kunna se helt fossilfria flygplan utan bränsleförbränning 2045 ligger på utvecklingsnivån 1–3 på skalan technology readiness level (TRL) vilket innebär att det fortfarande är på ett tidigt stadiet. Även för biobränsle råder delade meningar gällande hur snabbt utvecklingen kommer att gå och huruvida och till vilken utsträckning dagens flygplan kan användas.

Flygplan drivna av fossilfria drivmedel kommer fortfarande att orsaka buller. Även propellrar ger upphov till buller, i vissa fall mer än jetmotorer vilket betyder att elflyg med batteriteknik inte behöver bullra mindre än dagens flyg. Om marginalkostnaden för buller ska minska så skulle ökade bulleravgifter, som är en del av start- och landningsavgiften på Swedavias flygplatser, behöva öka för att täcka mer än kostnader för mätningar och bulleråtgärder för byggnader runt omkring och i stället sättas för att internalisera

⁹³ (Azar, 2012)

kostnaderna fullt. Detta bedöms dock inte som ett rimligt antagande i något av scenarierna. Vad som däremot kommer att påverka bullrets marginalkostnad är om Bromma flygplats finns kvar 2045. Enligt nuvarande regering och den promemoria som överlämnades till Infrastrukturministern i augusti 2021 är planen att Bromma kommer att avvecklas vid avtalets slut 2038, om inte innan.⁹⁴ Bromma flygplats är placerad i tätbebyggt område och marginalkostnaden för buller är i princip endast den för Bromma. Idag görs undantag i förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader, ibland kallat Brommaundantaget. Undantaget innebär att flygplatser i Stockholm stad inte inkluderas full ut i förordningens begränsning.

Gällande styrmedel för flyget kommer en reduktionsplikt att vara nödvändig som styrande verktyg för att nå högre andel biodrivmedel. 2021 introducerades det i Sverige, med en utvecklingsplan om att 27 procent ska vara inblandat biodrivmedel 2030 och i EU:s paket Fit for 55 ingår förslag om liknande system även på EU-nivå. Flyget är sedan tidigare med i EU:s utsläppshandelssystem men priset på koldioxid-utsläpp idag är inte på en tillräckligt hög nivå för att vätgas exempelvis ska vara en kostnadsmässigt bättre alternativ där bränslekostnaden är tre gånger så hög. Åtstramningar av antalet utsläppsrätter i systemet påverkar priset och åtstramningstakten är därför avgörande hur snabbt de fossilfria alternativen blir kostnadseffektiva jämfört med de fossila drivmedlen.

Det råder delade meningar om hur långt utvecklingen av flyg utan förbränningsmetoder kommer att nå fram till 2045. Utifrån de genomförda intervjuerna framkommer två alternativ. I huvudscenariot antas en mer optimistisk utveckling av el- och vätgasflyg och de bedöms stå för en viss andel av den regionala flygtrafiken. Till viss del även ersätta tågresor.

Av de trafikslag som behandlas i denna rapport bedöms luftfarten, och specifikt huvudscenariot för luftfarten, som det som har längst väg att gå från dagens situation. Inblandningen av biobränsle är idag omkring 0,1 procent, så det är en bit kvar till dess att flyg kan gå på 100 procent biobränsle.

5.4.1 Huvudscenario

I huvudscenariot antas att även luftfarten är fossilfri. För att branschen ska hinna nå det målet fram till 2045 så kommer allt fokus att ligga på biodrivmedel. Målet om fossilfrihet inom luftfart till 2045 kan endast nås om höghöjdseffekterna inte räknas in. Reduktionsplikt kommer, tillsammans med EU:s handelssystem, att behöva styra skarpt för att målet ska nås. Den reduktionsplikt som trädde i kraft 2021 har en planerad upptrappning till 2030 då 27 procent av flygets drivmedel ska vara inblandat biodrivmedel. Därefter kommer andelen behöva öka ytterligare. En viss andel av drivmedlen är andra så kallade drop-in fuels.

Externa effekter i form av infrastrukturslitage antas internaliseras genom avgifter. Trängsel bedöms inte påverkas och olyckor är även de så pass små att de utgår från bedömningen, se Figur 8 i kapitel 3.4.




De externa effekterna för koldioxidutsläpp minskar eftersom flygen använder biodrivmedel. Höghöjdseffekterna kvarstår dock, alternativt minskar något då viss forskning pekar på det⁹⁵. De externa effekter som inte är internaliserade

⁹⁴ (Ds 2021:25)

⁹⁵ (Moore, 2017)

minskar genom att det ställs högre krav på att avgifter ska täcka en större andel. Marginalkostnaden för buller minskar då den till stor del i dagsläget inte är internaliserad på grund av att Bromma flygplats är i drift. Till 2045 bedöms Bromma flygplats inte trafikeras längre och därmed kommer marginalkostnaden för buller att vara nära noll förutom på ett fåtal platser.

Tabell 8. Utveckling av luftfartens externa effekter, huvudscenariot.

Utveckling till 2045 - effekt på marginalkostnaden (kr/pkm)	Kommentar
Koldioxid	
	Flygen använder biodrivmedel vilket minskar koldioxidutsläppen från flygplanens förbränning. Höghöjdseffekter kvarstår eller minskar något men räknas inte in i denna bedömning.
Övriga emissioner	
	Minskar, men går inte mot noll då biobränsle används. Avgifter, som bedöms öka, ger incitament till att använda fordon med låga avgasutsläpp. Är dock redan på en låg nivå.
Buller	
	Minska på grund av färre undantag. Exempelvis trafikeras inte Bromma längre, Bromma står för en stor andel av de externa bullerkostnaderna idag.

5.4.2 Alternativt scenario

I det alternativa scenariot är inte luftfarten fossilfri till år 2045. Biodrivmedel är det dominerande drivmedlet men det används inte till 100 procent. Eftersom det inte har varit fullt lika stort fokus på biodrivmedel så har det funnits utrymme för mer resurser till utveckling av el- och vätgasflyg. Resor över städer men även kortare regionala resor kan ersättas av elflyg. EU:s utsläppshandelssystem och en reduktionsplikt på EU-nivå styr relativt starkt, men har inte trappats upp i samma takt efter 2030 som i huvudscenariot.




Marginalkostnaden för koldioxid minskar även i det alternativa scenariot, men inte i lika stor utsträckning som i huvudscenariot eftersom biodrivmedel blandas in i viss utsträckning men inte till 100 procent. Höghöjdseffekterna kvarstår dock, alternativt minskar något då viss forskning pekar på det⁹⁶. Marginalkostnaderna för övriga emissioner minskar något. Det finns fortfarande en liten andel som inte är internaliserade men det minskar relativt dagens nivå.

För buller gäller samma som i huvudscenariot och marginalkostnaden kommer att minska då bedömningen att Bromma flygplats inte längre kommer att trafikeras. Vad som skiljer sig från huvudscenariot är att en viss andel av flygtrafiken är elektrifierad, vilket skulle kunna bidra till en ökad

⁹⁶ (Moore, 2017)

marginalkostnad per personkilometer då planen kommer att vara mindre. Totalt sett görs bedömningen att marginalkostnaden för buller från luftfarten minskar.

Tabell 9. Utveckling av luftfartens externa effekter, alternativt scenario.

Utveckling till 2045 – effekt på marginalkostnaden (kr/pkm)	Kommentar
Koldioxid	
	En viss andel av flottan är fossilfri och drivs av biodrivmedel till viss del el samt andra drop-in-fuels. Det finns fortfarande en del fossildrivmedel kvar. Höghöjdseffekten kvarstår eller minskar något men räknas inte in i denna bedömning.
Övriga emissioner	
	Minskar men i lägre grad. Avgifter, som bedöms öka, ger incitament till att använda fordon med låga avgasutsläpp. Är dock redan på en låg nivå.
Buller	
	Färre passagerare per flygplan vid elektrifiering, el kommer att gå med propeller vilket kan leda till ökad marginalkostnad för buller. Minskar totalt sett på grund av färre undantag. Exempelvis trafikeras inte Bromma längre, Bromma står för en stor andel av de externa bullerkostnaderna idag. Bromma trafikeras inte längre.

6 SLUTSATSER OCH DISKUSSION

Trafikens externa effekter är ett resultat av att människor väljer att förflytta sig själva och gods med fordon. Det ger oss möjligheter till samvaro, upplevelser och arbete. Men följs också av negativa effekter för samhället genom luftföroreningar, olycksrisk och slitage. Sannolikt är att vi kommer att vilja fortsätta använda fordon även år 2045, trots distansarbete, sociala medier och metauniversum. Trafikens externa effekter påverkas av hur människor värderar de samhällsekonomiska kostnaderna, hur många som påverkas och av den tekniska utvecklingen av fordon likväl som infrastruktur. Vi kan vara säkra på att samtliga parametrar kommer att förändras, men hur säkra vi kan vara varierar. Det räcker med att gå tillbaka till förlagan till den här rapporten som skrevs av WSP år 2015⁹⁷ för att jämföra hur mycket som har hänt.

Inom vägtrafiken hade Volkswagens dieselskandal ännu inte uppdagats och elektrifieringen stod bara för en liten del av den prognosticerade minskningen av utsläpp från vägtrafiken. Då, år 2015 var fortfarande minskning av utsläpp genom effektivisering av förbränningsmotorn vad som primärt antogs i prognoser. Idag, sju år senare står laddbara fordon för en majoritet av de sålda personbilarna. Då, år 2015 hade ingen kollektivtrafikmyndighet tagit fram en plan för elektrifiering av busstrafiken. Idag är elbussar norm i stora delar av nya avtal för busstrafik. Då, år 2015 hade Tesla precis lanserat sin första självkörande mjukvara, idag har alla större fordonstillverkare och flera stora teknikföretag investerat mångmiljardbelopp i de självkörande fordon som redan kör på vägarna.

Inom andra trafikslag är skillnaderna mindre. Inom sjöfarten var utsläpp av svavel den största frågan, något som branschen löst. Nu är istället den största frågan hur man kan hitta lösningar för att reducera utsläppen av koldioxid. Elektrifiering inom sjötrafiken framstår numera som en rimlig lösning för inrikes och kustnära sjötrafik. Inom flyget och järnväg är förändringarna mindre, även om det är intressant att notera att elektrifiering av flyget överhuvudtaget inte sågs inte som ett alternativ år 2015. Men enbart teknikutvecklingen löser inte problemen.

År 2015 fanns ingen klimatlag, EU:s regelverk om personbilstrafikens utsläpp var långt ifrån var de är idag, vilket varit avgörande för att skynda på elektrifieringen. Det säger också något om svårigheterna att blicka framåt för att bedöma vilka framtida styrmedel som kan bli aktuella. Även samhället förändras. En skillnad från rapporten från 2015 och den nu aktuella rapporten är en svagare BNP-prognos. I båda rapporterna är tidshorisonten 25 år. Då prognostiserades en ökning med 60 procent till 2040, nu en ökning med 25 procent till 2045. Skillnaden gör att de stigande värderingarna inte verkar som en lika stark motkraft till teknikutvecklingen.

6.1.1 Övergripande slutsatser

Huvudscenariot som representerar en överlag positiv syn på utvecklingen, där styrmedel gör skillnad och tekniken i något större utsträckning går från försök till applikation indikerar en förhållandevis positiv utveckling. Bedömningen utifrån det insamlade materialet är att transportsektorns kostnader för externa effekter minskar i huvudscenariot. Detta gäller framför allt de externa kostnaderna för utsläppen av koldioxid då det just nu sker ett paradigmskifte mot fossilfria transporter, framförallt för vägtrafiken. I huvudscenariot i denna rapport så antas det att det långsiktiga klimatmålet

⁹⁷ (WSP, 2015)

om att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp i atmosfären år 2045 nås inom transportsektorn genom att utsläppen närmar sig noll.

I det alternativa scenariot antas att utsläppen inom transportsektorn inte kommer fullt lika långt och trafiken är inte fossilfri i lika stor utsträckning. Scenariot utgår från överlag en långsammare utveckling utan nya styrmedel och svagare implementering av teknik. Eftersom Sveriges klimatmål är formulerat som ett generellt mål för alla sektorer så är det möjligt men osannolikt att det övergripande målet nås även i det alternativa scenariot. Det beror på vilken utveckling som sker inom andra sektorer. De kvarvarande utsläppen inom transportsektorn skulle i så fall behöva kompenseras för med kompletterande åtgärder, exempelvis genom upptagande av koldioxid i skog och mark eller genom investeringar utanför Sveriges gränser. Eftersom denna rapport fokuserar på transportsektorn och trafikens externa effekter så görs ingen bedömning om det övergripande målet nås eller inte i det alternativa scenariot. Det vi kan bedöma är skillnaden i hur trafikens externa effekter utvecklas i huvudscenariot, där trafiken antas vara fossilfri, och i det alternativa scenariot, där trafiken går mot fossilfrihet men inte når lika långt.

Sveriges BNP per capita antas i OECD:s prognoser öka med 25 procent till 2045 och de ökande inkomsterna gör att värderingen av de samhällsekonomiska kostnaderna ökar. Den tekniska utvecklingen och styrmedel som påskyndar en sådan effekt antas i de flesta fall vara starkare krafter och nettoeffekten på marginalkostnaderna blir generellt sett en minskning. Det finns dock en del marginalkostnader som ökar, mestadels för vägtrafiken i det alternativa scenariot då vi inte antar att det finns en lika starkt styrande avståndsbasead vägskatt som i huvudscenariot.

6.1.2 Förändringar jämfört mot tidigare rapport

De externa effekterna som bedöms för trafikslagen i respektive scenario i denna rapport kan jämföras med de bedömningar som gjordes i WSP:s rapport från 2015. Då var målåren 2025 och 2040 och det fanns ingen uppdelning mellan scenarier. För vägtrafiken görs liknande bedömningar om minskade framtida marginalkostnader för olyckor och koldioxid i båda rapporterna. Infrastruktur och buller bedömdes i den tidigare rapporten ha en osäker utveckling, medan vi gör bedömningen att marginalkostnaden för infrastruktur är på samma nivå eller ökar, medan bedömningen för buller är att de externa kostnaderna ökar. En skillnad kan vara att fokus idag är större på klimat från bransch och akademi vilket minskar intresse för förbättringar på andra områden. Övriga emissioner bedöms i denna rapport minska i huvudscenariot och öka i det alternativa scenariot medan tidigare bedömning var en minskning.

Risken för trängsel bedöms vara större i denna rapport, vilket till stor del förklaras av snabbare sjunkande körkostnader av elektrifiering, vilket gör att befintliga styrmedel som trängselskatt inte kan bedömas vara tillräckliga.

För spårtrafiken skiljer sig utvecklingen för de externa effekterna från WSP:s tidigare rapport. Marginalkostnaden för slitage av infrastruktur bedöms i denna rapport öka i det alternativa scenariot och minska i huvudscenariot. I den tidigare rapporten är resonemanget liknande, då igen specifik trend kunde konstateras. Den tidigare rapporten bedömde även utvecklingen av marginalkostnaden för olyckor som osäker, medan vi gör bedömningen att den minskar i båda scenarierna. En förklaring kan vara ökad uppmärksamhet på trafiksäkerhet och resurser från Trafikverket. Vi ser också större tekniska möjligheter genom automatisk övervakning. För marginalkostnaderna för

koldioxid, övriga emissioner och buller inom spårtrafiken görs liknande bedömningar i de två rapporterna. För luftfarten bedöms de framtida marginalkostnaderna i huvudscenariot och det alternativa scenariot vara liknande de bedömningar som gjordes i den tidigare rapporten.

För sjöfarten liknar bedömningarna i det alternativa scenariot i denna rapport de bedömningar som gjordes tidigare förutom för olyckor som i det alternativa scenariot bedöms öka på grund av metanol som bränsle, något som inte var aktuellt i tidigare rapport. Gällande buller i hamn, som inte ingick i marginalkostnaden 2015 och inte heller gör det nu, görs liknande bedömning i båda rapporter att det är en viktig aspekt att ha med in i framtiden.

Det är nödvändigt att göra bedömningar över vilka styrmedel som kan komma att finnas på plats för att kunna göra antaganden om framtida marginalkostnader. Utan starka styrmedel och incitament, framför allt inom luftfarten, kommer inte de tekniska möjligheterna för att minska växthusgasutsläpp realiseras i lika snabb takt. Detta knyter an till slutsatserna i WSP:s tidigare rapport om att det är svårt att göra antaganden om framtida marginalkostnader utan att göra antaganden om framtida styrmedel.

I den tidigare rapporten konstaterades också att kunskapsunderlaget när det gäller sjöfart och luftfart är mindre än för de övriga trafikslagen. Under arbetet med denna rapport har ett sådant mönster inte på ett lika tydligt sätt kunnat identifieras. Det blir dock tydligt i sjö- respektive luftfartskapitlet att utvecklingen inte är lika tekniskt beskriven som i kapitlen för de övriga trafikslagen. En förklaring är att valet av teknik inte är lika självklart som för vägtrafik och järnväg då elektrifiering bara till viss del kan lösa problemen. Det gör att såväl bransch som beslutsfattare har svårare att välja riktning. Det talar ändå för att konstaterandet som gjordes i WSP:s tidigare rapport till viss del fortfarande stämmer. Vad som blev tydligt under arbetets gång gällande luftfart var dock att det framkom en splittrad bild av hur långt teknikutvecklingen inom luftfarten kommer hinna snarare än att kunskapsunderlaget är mindre.

6.1.3 Nya faktorer som påverkar

Det finns två faktorer som är nära relaterade till utvecklingen av de externa effekterna men som endast har nämnts kort i denna rapport. Dels gäller det den ökade andelen mikromobilitet, dels hur metoder och modeller för värdering av externa effekter utvecklas.

Delad mobilitet och mikromobilitet är ett ämne som upprepade gånger har tagits upp i intervjuerna som avgörande för hur de externa effekterna kan komma att utvecklas. Rätt styrt kan utvecklingen leda mot mindre fordon med lägre externa kostnader. Elsparkcyklarna är ett ytterst nytt fenomen som blivit populärt men hittills inte påverkat resande med bil. I stället konkurrerar trafikslaget främst med cykel och kollektivtrafik. Biltrafiken kan antingen gå mot betydligt mindre fordon och därmed sänka de externa kostnaderna. Eller så kan den delade mobiliteten med bil i stället leda till fler resor med större och tyngre fordon som traditionell taxi med ökade externa kostnader per fordonskilometer som följd.

Den traditionella kollektivtrafiken står inför en svår utmaning efter pandemin, med låg beläggning på busslinjerna och tryck att upprätthålla ett högt utbud. Det leder till högre externa kostnader. Ett av skälen är det inte finns någon prismekanism som styr mot mindre fordon då slitage, buller och emissioner från däck inte leder till någon ökad marginalkostnad för operatören. Rätt styrt

kan kollektivtrafik med flera typer av fordon som är helt eller delvis automatiserade och med hjälp av AI-teknik mycket bättre matcha efterfrågan, både på dygn och plats.

Klart är att de allt mer uppluckrade gränserna mellan vad som räknas som kollektivtrafik, personbil och delade fordon kommer att påverka vad som räknas som vad och därmed också vilka externa effekter som tillskrivs vilket trafikslag. Det är ännu för tidigt att bedöma.

I tidigare sammanställningar över utvecklingen av trafikens externa effekter har det varit en utmaning att bedöma samband och se trender då stora variationer förekommer i hur man mäter marginalkostnaderna. Variationerna beror till största del på ändrade skattningsmetoder och värderingar. När bedömningarna i denna rapport har gjorts så har grundantagandet varit att skattningsmetoder inte ändras över tid. Eftersom sådana förändringar har skett allt sedan 2010 så är det dock troligt att ändrade skattningsmetoder kommer att påverka marginalkostnaderna även fram till 2045. Att sja om vad dessa förändringar skulle kunna vara är dock mycket svårt. Ett konkret exempel har dykt upp under intervjuerna, nämligen den bristande kunskap som finns om däckpartiklars effekt på miljön. Frågan bör bevakas.

Under arbetet har de intervjuade varit allra mest samstämmiga när det handlar om hur långt i utvecklingen som går att komma bara vi bestämmer oss för det. I nuläget satsas mycket på att få ner koldioxidutsläppen och utifrån de mål och den teknikutveckling som vi redan nu ser bedöms det som möjligt att marginalkostnaden för koldioxid går mot noll, i alla fall för de flesta trafikslag. Om liknande ansatser skulle göras för att minska övriga externa effekter är det sannolikt att även det skulle vara görbart. Kanske till och med önskvärt.

Ett av skälen till att vi ser att buller och emissioner kan komma att öka från vägtrafiken är bristen på incitament att exempelvis minska fordonens vikt och storleken på däck. Sedan fordonsskatten förändrades till att bygga på koldioxidutsläpp i stället för fordonsvikt har fordonsskatten varit gynnsam för elfordon. Fordonens vikt och däck bör främst regleras på EU-nivå för att få effekt på fordonsbranschen.

7 REFERENSER

- af Wählberg, A. (2007). *Trafiksäkerhetseffekter av ökad storlek på lastbilar*. Skogforsk, nr 635 2007.
- Azar, C. &. (2012). Valuing the non-CO2 climate impacts of aviation. *111(3)*.
- Bauen, A., Gomez, I., Nanaki, E., oudeNijeweme, D., Parischiv, M., & Schoentgen, R. (2020). *STRIA Roadmap: Low-emission Alternative Energy for Transport*. EU-kommissionen.
- Dagens industri. (den 13 September 2021). *Bolagen som ska fylla flyget med grönt bränsle*. Hämtat från Dagens industri: <https://www.di.se/hallbart-naringsliv/bolagen-som-ska-fylla-flyget-med-gront-bransle/>
- Dalton, G., de la Pena, E., Vassallo, J. M., & Acciaro, M. (2016). *STRIA Road map: transport infrastructure*. EU-kommissionen.
- Ds 2021:25. (2021). *Bromma flygplats - underlag för avveckling av drift och verksamhet*. Regeringskansliet.
- EAPA. (2021). *Publications*. Hämtat från European Asphalt Pavement Industry: <https://eapa.org/eapa-position-papers/>
- Energimyndigheten. (2021). *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*. Energimyndigheten, 2021:6.
- EU. (den 14 juli 2021). *European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions*. Hämtat från European Commission: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541
- EU-kommissionen. (den 14 juli 2021). Förslag till Europaparlamentets och rådets förordning om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG. *2021/0210(COD)*. Bryssel: EU-kommissionen.
- EU-kommissionen. (den 15 november 2021). *Strategic Transport Research and Innovation Agenda (STRIA): STRIA priority, roadmaps and related links*. Hämtat från EU-kommissionen: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/transport/stria_en
- Europeiska rådet . (den 3 december 2021). *Fit for 55 - The Eu´s plan for a green transition*. Hämtat från European Council : <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/>
- Grahn, M. (2020). *En introduktion till elektrobränslen*. Göteborg: Chalmers tekniska universitet.
- Hansson, J., & Fridell, E. (2020). *On the potential of ammonia as fuel for shipping: A synthesis of knowledge*. Lighthouse, Swedish Maritime Competens Center & Trafikverket.
- International Transport Forum. (2019). *ITF Transport Outlook 2019*. Paris: OECD Publishing.

- IVL. (2020). *Vägskatt för personbilar*. IVL Svenska miljöinstitutet, nr C 469 .
- Meyer, G., Blervaque, V., & Haikkola, P. (2019). *STRIA Roadmap on Connected and Automated Transport: Road, Rail and Waterborne*. EU-kommissionen.
- Meyer, G., Bucknall, R., & Breuil, D. (2016). *STRIA Roadmap "Electrification" DRAFT Version 9.0*. EU-kommissionen.
- Moore, R. (2017). Biofuel beldning reduces particle emissions from aircraft engines at cruise conditions. *Nature*.
- Nilsson, J. E., & Johansson, A. (2014). *Samkost - Redovisning av regeringsuppdrag kring trafikens samhällsekonomiska kostnader*. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut.: VTI.
- Nilsson, J.-E., & Haraldsson, M. (2016). *Samkost 2: redovisning kring regeringsuppdrag om trafikens samhällsekonomiska kostnader*. VTI.
- Nilsson, J.-E., & Haraldsson, M. (2018). *Redovisning av regeringsuppdrag kring trafikens samhällsekonomiska kostnader: SAMKOST 3*. VTI.
- Nilsson, J.-E., & Odolinski, K. (2018). *Marginalkostnader för reinvesteringar i järnvägsanläggningar: en delrapport inom SAMKOST 3*. VTI.
- Power Circle. (2019). *Då tar elbilarna över. Prognos 2019-2045*.
- Rijksoverheid. (2019). *Political statement: Joint statment on EU coordination for aviation pricing by the Ministers of Finance*. Rijksoverheid.
- SIKA. (2010). *Sjöfartens externa effekter*. SIKA PM 2010:1.
- Sjöfartsverket. (den 26 10 2021). *Här är Sveriges nya isbrytare*. Hämtat från Sjöfartsverket: <https://www.sjofartsverket.se/sv/om-oss/nyheter-och-press/nyheter/har-ar-sveriges-nya-isbrytare/>
- Sjöfartsverket. (den 19 1 2021). *Publikationer - sammanfattning av isvintrarna*. Hämtat från Sjöfartsverket: <https://www.sjofartsverket.se/sv/tjanster/isbrytning/publikationer---sammanfattning-av-isvintrarna/>
- SMHI. (den 22 10 2021). *Hur förändras havsisen?* Hämtat från SMHI: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimat effekter-i-havet/hur-forandras-havsisen-1.28291>
- SOU 2017:11. (2017). *Vägskatt*. Regeringskansliet.
- SOU 2019:11. (2019). *Biojet för flyget*. Regeringskansliet.
- SOU 2021:48. (2021). *Utfasningsutredningen*. Regeringskansliet.
- Stockholms hamnar. (den 8 01 2021). *Miljöhamnen Värtahamnen*. Hämtat från Stockholms hamnar: <https://www.stockholmshamnar.se/om-oss/miljoarbete/miljoatgarder/miljohamnen-vartahamnen/>
- Trafikanalys. (2017). *Transportsektorns samhällsekonomiska kostnader. PM 2017:4*. Stockholm: Trafikanalys.
- Trafikanalys. (2020). *Körsträckor 2019*. Trafikanalys.
- Trafikanalys. (2020). *Transportsektorns samhällsekonomiska kostnader, PM 2020:1 - bilagor*. Stockholm: Trafikanalys.

- Trafikanalys. (2021). *Fordon på väg*. Trafikanalys.
- Trafikanalys. (2021a). *Transportsektorns samhällsekonomiska kostnader. Rapport 2021:4*. Stockholm: Trafikanalys.
- Trafikanalys. (2021b). *Transportsektorns samhällsekonomiska kostnader. PM 2021:5 - bilagor*. Stockholm: Trafikanalys.
- Trafikanalys. (2021c). *Yttrande över förslag till ändring av EU ETS direktiv 2003/87/EG inklusive flyg, beslut (EU) 2015/1814 angående marknadsstabilitetsreserven och förordning (EU) 2015/757 angående MRV (dnr M2021/01389)*. Trafikanalys.
- Trafikanalys. (2021d). *Fit for 55 Trafikanalys per trafikslag SLUT*. Trafikanalys, underlagsfil Excel.
- Trafikförvaltningen. (2019). *Beslut om affärsinriktning för trafikavtal avseende busstrafik respektive spårtrafik samt beslut om att inleda upphandling av aktuella områden och därtill beslut om inriktning för elektrifiering av busstrafiken*. Region Stockholm.
- Trafikverket. (2019). *Längre lastbilar på det svenska vägnätet - för mer hållbara transporter*. Trafikverket.
- Trafikverket. (2020a). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.0*.
- Trafikverket. (2020b). *Scenarier för att nå klimatmålet för inrikes transporter*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (den 29 april 2021a). *Transporternas klimatpåverkan*. Hämtat från Trafikverket: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/energi-och-klimat/transporternas-klimatpaverkan/>
- Trafikverket. (2021b). *Förslag till nationell plan för transportinfrastrukturen 2022-2033*. Trafikverket.
- Trafikverket. (2021c). *Nya stambanor för höghastighetståg: slutredovisning av uppdrag angående nya stambanor för höghastighetståg*. Trafikverket.
- Trosvik, L., Vierth, I., & Andersson-Sköld, Y. (2020). *Maritime transport and air emissions in Sweden and business-as-usual scenarios for 2030 and 2045*. VTI.
- Vierth, I. (2018). *Organization of pilot and icebreaking in the Nordic countries and update of the external costs of sea transports in Sweden: A report in SAMKOST 3*. VTI, rapport 988A.
- Vierth, I., & Merkel, A. (2020). Internalization of external and infrastructure costs related to maritime transport in Sweden. *Research in Transportation Business and Management*, 100580.
- VTI. (2014). *SJÖSAM – sjöfartens samhällsekonomiska marginalkostnader. Förstudie inom SAMKOST*. VTI, rapport 807.
- VTI. (2021a). *Kilometerskatt för personbilar*. VTI Working paper 2021:2.
- VTI. (2021b). *Sjöfartens användning av alternativa bränslen - trender och förutsättningar*. VTI, rapport 1093.

- Västra Götalandsregionen. (2018). *Miljö- och klimatstrategi för kollektivtrafiken i Västra Götaland*. Region Västra Götaland.
- Winslott et al. (2020). *En rättvis omställning av transportsystemet - en analys av de sociala effekterna av styrmedel för minskade klimatutsläpp*. Lunds universitet.
- WSP. (2015). *Trafikens framtida externa effekter*. WSP.
- WSP. (2020). *Trafikens externa effekter och internalisering under tio år som gått*. WSP.
- WSP. (2021). *Infra 2050 - faktorer som påverkar näringslivetstransportbehov 2050*. Stockholm: WSP.
- Åkerman, J. (2020). *Ett flyg i linje med klimatmålen - Framtidsbilder och styrmedel*. Hämtat från <https://snsse.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2020/02/jonas-akermans-presentation.pdf>

BILAGA 1

Tabell 1B. Intervjupersoner

Namn	Roll
Gunnar Alexandersson	Expert styrmedel, Senior forskare, Handelshögskolan i Stockholm
Matts Andersson	Expert trängsel, Senior transportekonom WSP Advisory
Roger Fred	Expert buller, civilingenjör i Akustik som arbetar med utredningar och praktiska mätningar av buller från transportsystemet, WSP Akustik
Maria Grahn	Expert livscykel- och kostnadsanalyser av drivmedel inom luftfart och sjöfart. Docent, Mekanik och maritima vetenskaper, avdelningen för maritima studier, Chalmers tekniska högskola
Mats Gustafsson	Expert på luftkvalitet och emissioner från väg och järnväg, särskilt fokus på däck, senior forskare på VTI inom empiriska studier och fältmätningar av partiklar.
Eilert Johansson	Expert på digitalisering och automatisering inom transportsystemet och framtidens mobilitet, Chef inom strategisk forskning och affärsutveckling, RISE Reserarch Institute
Magnus Karlström	Expert inom elektrifierade transporter med fokus på vägtrafik, Disputerad inom livscykelanalys, Omvärldsanalytiker på Lindholmen Science park som på uppdrag av Energimyndigheten är redaktör för nyhetsbrev om elektrifierade transporter.
Mats-Ola Larsson	Expert inom framtidens transportsystem, hållbart resande, mobilitet och externa kostnader, Expert/projektledare IVL
Anders Lundblad	Expert drivmedel luftfart, Specialist whole engine, GKN Aerospace. Adjungerad professor på Mekanik

	och maritima vetenskaper, Chalmers tekniska högskola
Johan Palm	Expert framtidens järnväg och tåg, Senior business Advisory Rolling stock, arbetar med upphandlingar och specifikationer av inköp av vagnar, WSP Rail Advisory
Inge Vierth	Expert inom framtidens drivmedel i sjöfart, Utredningsledare transportekonomi, VTI. Svarat på frågor via e-post.

BILAGA 2

Nedan finner med explicita förklaringar av de antaganden som har gjorts för data som ingår i uppdateringen av den historiska tillbakablicken i kapitel 3.

Vägtrafik

Olyckskostnad baseras 2019 i huvudsak på Samkost 2, men tätortsvärdena för personbil och lätt lastbil bygger på tidigare aktuell kunskap som återfinns i ASEK 6.1.

Kostnader för buller för vägtrafiken baseras 2019 på uppgift från Samkost 2 där bil och lätt lastbil erhållit kostnad för personbil. Buss samt tung lastbil med respektive utan släp har erhållit kostnad för tungt fordon. På landsbygden mycket långt från boende anges bullerkostnaden till noll, eftersom ingen person störs och det därmed inte uppstår någon kostnad.

För trafik på väg 2020 är marginalkostnaderna för infrastrukturslitage hämtad från Samkost 2, men man beaktar att lastbilar och lastbilsekipage med dubbelaxlar sliter mindre på vägarna⁹⁸.

Övriga emissioner baseras 2020 på emissionsfaktorer enligt bilaga 3 i Trafikanalys PM 2021:5, samt på värderingar enligt ASEK 7.0 baserat på "REVSEK". I tätort inkluderas nu också kostnad för slitagepartiklar med högre emissionsfaktor än tidigare baserat på bl.a. OECD⁹⁹ och SMED¹⁰⁰. Trafikanalys anger ett intervall där det övre intervallet baseras på emissionsfaktor för slitagepartiklar som också rekommenderas i ASEK 7.0. Den lägre nivån i intervallet kommer från OECD. Hur stora emissionerna är beror på en mängd olika faktorer såsom däck, årstid, väder och fordon.

Kostnader för buller baseras 2020 på uppgift från Samkost 3¹⁰¹, där bil och lätt lastbil erhållit kostnad för personbil och buss samt tung lastbil med respektive utan släp har erhållit kostnad för tungt fordon

⁹⁸ Trafikanalys Rapport 2021:4

⁹⁹ OECD (2020)

¹⁰⁰ SMED (2015)

¹⁰¹ (Nilsson & Haraldsson, Redovisning av regeringsuppdrag kring trafikens samhällsekonomiska kostnader: SAMKOST 3, 2018)

Sjöfart

För olyckor och lotsning 2019 baseras kostnaderna för sjöfartens externa effekter på arbete genomfört inom ramen för Samkost och bygger på ett genomsnitt av antal dödade och skadade inom sjöfarten både i och utanför hamn. Uppdelat på person respektive godstrafik beräknas sedan kostnaden för dödsfall och skadade med värderingar enligt ASEK 6.1.

Kostnaderna för olyckor och lotsning 2020 baseras för sjöfartens externa effekter på arbete genomfört inom ramen för Samkost. Olyckskostnaden baseras på ASEK 7.0 och den högre värderingen.

Luftfart

Eftersom det i ATM ingår mer än bara olycksprevention och det är oklart hur kostnaderna för olycksförebyggande varierar med trafikvolym sätts olyckskostnaderna ungefär lika med noll från och med 2016.

Den underlagsrapport i Samkost 1¹⁰² som behandlar flyget argumenterar för att koldioxidutsläppen under väg är internaliserade genom att flyget ingår i handeln med utsläppsrätter (EU-ETS). Från och med 2014 publicerar Trafikanalys två beräkningar en med antagandet att flygets utsläpp under väg internaliseras och en där utsläpp under väg inte antas vara internaliserade. Den senare motiveras av att det finns skäl att redovisa kostnaden för koldioxidutsläpp under väg så länge det är osäkert om vi når uppsatta klimatmål med de klimatåtgärder som vidtas. Emissioner av koldioxid 2019 har beräknats enligt ASEK 6.1, dvs. satt till 1,14 kronor per kg 2020 är värderingen av koldioxid satt till 3,50 kronor per kg i 2020 års prisnivå som för övriga trafikslag. Övriga emissioner från flyg förutom höghöjdseffekten, baseras 2019 och 2020 på en värdering på arbete inom ramen för Samkost 3.

Höghöjdseffekten för luftfarten 2019 och 2020 räknas upp lika mycket men kostnaden är högre 2020 än 2019 eftersom en högre koldioxidvärdering användes då, precis som för övriga trafikslag. De uppräkningsfaktorerna som används i Trafikanalys rapportering skiljer sig från vad som anges i ASEK 7.0 som rekommenderar faktorn 1,4 respektive 1,9 för inrikes respektive utrikes resor.

¹⁰² Nilsson & Johansson, 2014.

VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 48 700 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP Sverige AB

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7

T: +46 10-722 50 00
Org nr: 556057-4880
wsp.com

