

Styrmedel för självkörande fordon

VTI Working Paper 2019:3

Johanna Jussila Hammes

Transport Economics, VTI, Swedish National Road and Transport Research Institute

Abstract

Tekniken för självkörande fordon utvecklas snabbt, även om drömmen om helt självkörande fordon fortfarande är relativt osäker. I detta PM görs översikter över flera olika litteraturer. En är en översikt över de effekter som självkörande fordon kan förväntas ha på trängsel, restid, markanvändning och parkering, påverkan på urban sprawl, miljöeffekter och påverkan på energianvändning, trafiksäkerhet samt hälsoeffekter. Självkörande fordon kommer dessutom ha en stor påverkan på självkörande taxi och kollektivtrafiksystem, där flera bedömare anser att det sistnämnda bara kommer kunna existera i sin nuvarande form i tätbebyggda områden. Självkörande fordon kan vidare bidra med ökad och förbättrad mobilitet för grupper så som funktionshindrade, äldre och barn, de påverkar infrastrukturplaneringen, och avslutningsvis har de potential att revolutionera godstransportsystemet.

Utifrån en förståelse för hur självkörande fordon påverkar transportsystemet och det omgivande samhället görs sedan en översikt över den litteratur som studerar möjliga styrmedel för att internalisera de externa effekter som självkörande fordon orsakar. Litteraturen omfattar även styrmedel som ska stödja introduktionen av självkörande fordon, även om det inte är klart varför ett sådant stöd skulle behövas, samt vissa styrmedel, framförallt olika typer av vägavgifter, som skulle kunna användas för att internalisera effekter av ökad trängsel. Avslutningsvis relateras både de effekter som självkörande fordon har, och de styrmedel som undersökts till Trafikverkets mål och slutsatser dras gällande behov av framtida forskning.

Keywords

Självkörande fordon; Styrmedel; Effekter från självkörande fordon

JEL Codes

O38, R41, R42, R48



Styrmedel för självkörande fordon

Författare: Johanna Jussila Hammes, Fil. Dr.

Sammanfattning: Tekniken för självkörande fordon utvecklas snabbt, även om drömmen om helt självkörande fordon fortfarande är relativt osäker. I detta PM görs översikter över flera olika litteraturer. En är en översikt över de effekter som självkörande fordon kan förväntas ha på trängsel, restid, markanvändning och parkering, påverkan på urban sprawl, miljöeffekter och påverkan på energianvändning, trafiksäkerhet samt hälsoeffekter. Självkörande fordon kommer dessutom ha en stor påverkan på självkörande taxi och kollektivtrafiksystäm, där flera bedömare anser att det sistnämnda bara kommer kunna existera i sin nuvarande form i tätbebyggda områden. Självkörande fordon kan vidare bidra med ökad och förbättrad mobilitet för grupper så som funktionshindrade, äldre och barn, de påverkar infrastrukturplaneringen, och avslutningsvis har de potential att revolutionera godstransportsystemet.

Utifrån en förståelse för hur självkörande fordon påverkar transportsystemet och det omgivande samhället görs sedan en översikt över den litteratur som studerar möjliga styrmedel för att internalisera de externa effekter som självkörande fordon orsakar. Litteraturen omfattar även styrmedel som ska stödja introduktionen av självkörande fordon, även om det inte är klart varför ett sådant stöd skulle behövas, samt vissa styrmedel, framförallt olika typer av vägavgifter, som skulle kunna användas för att internalisera effekter av ökad trängsel. Avslutningsvis relateras både de effekter som självkörande fordon har, och de styrmedel som undersökts till Trafikverkets mål och slutsatser dras gällande behov av framtida forskning.

1. Introduktion

Tekniken för självkörande fordon utvecklas snabbt och även forskning om deras samhällsliga effekter börjar komma igång. Tekniken för självkörande fordon kategoriseras bl.a. av Society of Automotive Engineers International (SEA) (2018), som använder en sexgradig skala från noll till fem. Scenarier för möjlig framtida utveckling av självkörande personbilsflotta i Sverige presenteras i Kristoffersson m.fl. (2017) och för lastbilar i Kristoffersson och Pernestål Brenden (2018). En litteraturoversikt som presenterar möjliga konsekvenser för exempelvis resekostnader, fordonskilometer (fkm), fordonsflottans storlek, väntetid osv. presenteras i Pernestål och Kristoffersson (2019).

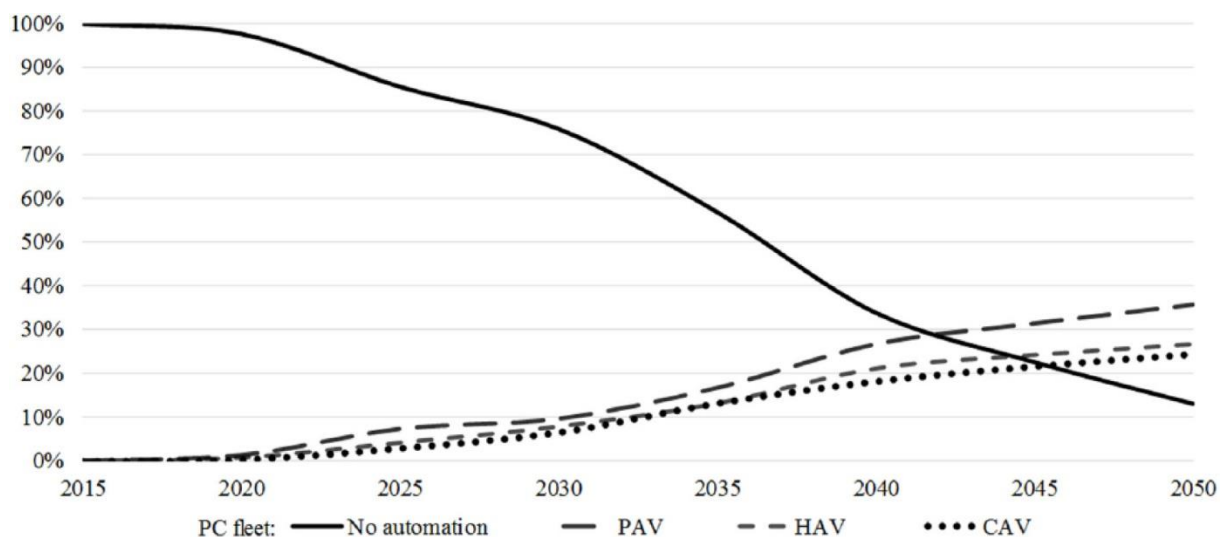
Vägtransporter i allmänhet och även självkörande fordon orsakar ett antal externa effekter som ska internaliseras för att transportutbudet och -efterfrågan ska befinna sig på en samhällsekonomiskt optimal nivå. Detta betyder att mängden transporter varken över- eller understiger det som är optimalt utifrån en samhällsekonomisk nivå. En ren marknadslösning leder sannolikt inte till ett optimum på grund av de externa effekterna. Dessa omfattar utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar, buller, påverkan på hälsa (brist på fysisk aktivitet, olyckor) samt trängsel som uppstår p.g.a. att vägar är en offentlig vara med öppen tillgång där en extra bilist inte tar hänsyn till den trängsel som de orsakar gentemot andra trafikanter.

För att skapa ett hållbart transportsystem och stävja klimatförändringar argumenterar Gössling m.fl. (2018) för att transporter med personbilar bör minska. Utifrån en nationalekonomisk synvinkel är detta en problematisk utsaga eftersom den optimala transportmängden avgörs av punkten där den samhällsliga marginalnyttan från transporter motsvarar de samhällsliga marginalkostnaderna, dvs av den nivå på transporter som maximerar nyttan givet kostnaderna. Huruvida denna punkt ligger högre eller lägre än dagens transportnivå är en komplicerad fråga att analysera – klart är dock att lägre marginalkostnader skulle öka efterfrågan och därmed åtminstone den privata nyttan. Som en aspekt som driver utvecklingen i en hållbar riktning nämner Gössling m.fl. (2018) den pågående elcykelrevolutionen i många städer – elcykelanvändning minskar transportsektorns externa effekter,

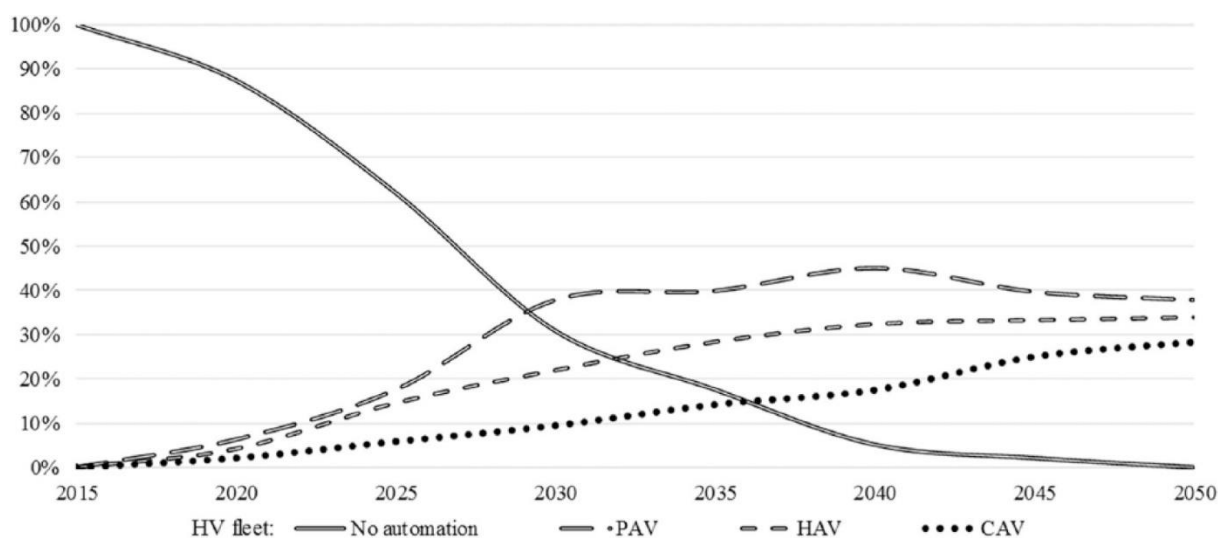
dock enbart ifall den ersätter privatbilism. Skulle gamla cyklister eller kollektivtrafikresenärer flytta över till elcyklar är det möjligt att transportsystemet blir mindre hållbart. Som en aspekt som motverkar rörelsen mot mer hållbara transporter nämner Gössling m.fl. risken för att automatiserade (självkörande) fordon ökar framförallt de äldre generationernas bilberoende, vilket även drivs på av biltillverkarna.

Automatiserade eller självkörande fordon har många beteckningar och det är inte heller helt entydigt vad som menas. Exempelvis argumenterar Bagloee m.fl. (2016) för att uppkoppling av fordonen till ett nätverk är en viktig del av ett fungerande system med självkörande fordon. Andra författare däremot anser detta inte vara helt nödvändigt. I detta PM används beteckningarna självkörande och autonoma fordon som synonyma. Huruvida dessa fordon är uppkopplade nämns särskilt i dessa fall.

Hartmann och Vortisch (2018) använder en nationell modell för fordonsflottan för att prognostisera hur självkörande personbilar och tunga fordon sprids i Tyskland fram till 2050. Prognosen för icke-automatiserade samt för tre olika typer av automatiserade personbilar visas i figur 1. Motsvarande för tunga fordon visas i figur 2. Hartmann och Vortisch noterar att det är sannolikt att spridningen av självkörande teknologin kommer att vara snabbare i den tunga fordonsflottan än i personbilsflottan, vilket syns tydligt i en jämförelse av figur 1 med figur 2.



Figur 1 Prognos för spridning av självkörande fordon i den tyska personbilsflottan fram till 2050. PAV (partly automated vehicles) har ACC, traffic jam assist, lane change assist. HAV (highly automated vehicles) har PAV-funktionerna + highway chauffeur (reactive). CAV (connected highly automated vehicles) har PAV-funktioner, cooperative ACC + highway chauffeur (proactive). Källa: Hartmann och Vortisch (2018), Figure 5.



Figur 2 Prognos för spridning av självkörande tunga fordon i den tyska fordonsflottan fram till 2050. PAV (partly automated vehicles) har ACC, traffic jam assist, lane change assist. HAV (highly automated vehicles) har PAV-funktionerna + highway chauffeur (reactive). CAV (connected highly automated vehicles) har PAV-funktioner, cooperative ACC + highway chauffeur (proactive). Källa: Hartmann och Vortisch (2018), Figure 6.

Detta PM är upplagt som följande: I nästa avsnitt diskuteras frågan om styrmedel samt Trafikverkets mål. I avsnitt 3 genomförs en litteraturöversikt över de effekter som självkörande fordon kan förväntas ha på olika samhällsliga och transportrelaterade aspekter. Det är nödvändigt att förstå vilka effekter som självkörande fordon kan förväntas ha för att kunna analysera de externa effekter som fordonen eventuellt orsakar och vad som bör och kan göras åt dessa. I avsnitt 4 diskuteras olika möjliga styrmedel och i avsnitt 5 ställs effekter och styrmedel mot Trafikverkets mål. Det sista avsnittet sammanfattar och drar slutsatser från analyserna.

2. Mål

Styrmedlens optimalitet kan undersökas från flera aspekter. En är frågan om optimala mål: när marginalkostnaden för exempelvis utsläppsminskning är lika hög som den marginella skadan är den externa effekten internaliserad. Att minska utsläppen ytterligare är då inte optimalt.

Ett annat sätt att studera styrmedel är att utgå ifrån befintliga mål utan att ifrågasätta huruvida dessa är optimala. I detta fall måste vi anta att man i ett tidigare skede har gjort en analys som den ovan och bestämt sig för optimala mål.

Det samhällsekonomiskt bästa sättet att nå ett mål är genom att använda kostnadseffektiva styrmedel.¹ Kostnadseffektivitet kan tolkas på två olika sätt: 1. De(t) sätt(et) som leder till att ett givet mål nås till lägsta kostnad är det kostnadseffektiva sättet att nå målet; 2. Givet en kostnad, hur mycket "miljö kvalitet" som kan fås som mest (Brännlund & Kriström, 2012; Konjunkturinstitutet, 2018).

I denna rapport utgår vi ifrån de mål som anges av Trafikverket (2018). Målbilden har tre breda dimensioner:

¹ Eftersom det inte är klart att de mål som Trafikverket satt är optimala utifrån en samhällsekonomisk synvinkel kommer diskussionen föras i termer av målluppfyllnad, inte i termer av internalisering av externa effekter. I allmänhet har det inte undersökts huruvida de svenska miljörelaterade målen är samhällsekonomiskt optimala (Nerhagen & Forsstedt, 2016; Hansson & Nerhagen, 2019; Forsstedt, 2018).

1. Transportsystemet är inkluderande och erbjuder god tillgänglighet för både medborgare och näringsliv oavsett var vi bor eller verkar i landet.
2. Transportsystemet är fossilfritt och dess miljöpåverkan så liten att naturen kan skapa ekosystemtjänster även i framtiden.
3. Ingen dödas eller skadas allvarligt i transportsystemet, varken i olyckor eller av luftföroreningar och buller.

En viktig faktor utöver styrmedel som påverkar huruvida målen kan nås med hjälp av självkörande fordon är människors attityder gentemot dessa fordon. Frågan studeras av Haboucha m.fl. (2017) som genomför en stated preference (SP) studie i Israel och USA. De identifierar fem attitydrelaterade faktorer som påverkar benägenheten att kunna överväga att använda självkörande fordon och/eller delade självkörande fordon. Dessa är 1. Positiva känslor gentemot självkörande fordon, som ökar sannolikheten att använda självkörande fordon, 2. Oro för miljöförstöringar, där de med större oro är mer benägna att använda delade självkörande fordon, 3. Intresse för teknologi, vilket ökar sannolikheten att använda självkörande fordon, 4. Attityden mot kollektivtrafik, där de som aldrig använder kollektivtrafik är mindre benägna att använda delade självkörande fordon och 5. Huruvida individen njuter av att köra bil – de individer som njuter av att köra själva är mindre benägna att använda självkörande fordon.

En stor del av individerna i Haboucha m.fl. studie – 44 procent i hela samplet, valde att resa med vanlig bil istället för att välja ett (privat/delat) självkörande fordon. De individer i samplet som alltid valde en vanlig bil över en självkörande var med större sannolikhet kvinnor (i Israel), äldre, samt hade lägre utbildningsnivå och inkomst än samplegenomsnittet. Andra faktorer som påverkade valet var pendlingstiden – individer med längre pendlingsavstånd var mer benägna att välja autonoma fordon, antingen privata eller delade. Ju oftare individen använde bilen mitt på dagen för att sköta ärenden, desto mer sannolikt valde de ett vanligt fordon. Individer som brukar använda sitt fordon för att transportera eller lagra varor i var mindre benägna att välja att använda delade självkörande fordon. Fler än ett barn i hushållet ökade sannolikheten att välja delad självkörande bil – varför effekten uppstår förklaras dock inte av Haboucha m.fl. (2017).

3. Översikt av existerande litteratur om effekter från självkörande fordon

Litteratursökningen gjordes med sökorden "policy instruments driverless vehicles", "policy driverless vehicles" samt "policy autonomous vehicles". Nedan grupperas litteraturen under rubriker utifrån den effekt som studerats. I likhet med Bahamonde-Birke m.fl. (2018) beaktas både "första ordningens" effekter som identifierats i litteraturen och som oftast tyder på en uteslutande positiv effekt från introduktionen av självkörande fordon, och en "andra ordningens" effekt som visar interaktioner mellan effekter samt systemeffekter.

Den monetariserade summan av alla kostnader som en användare måste stå för, exempelvis drivmedelskostnad, försäkring, biljettkostnad, resetid, väntetid osv (Bahamonde-Birke, et al., 2018; Wadud, et al., 2016) brukar kallas för generaliserade resekostnader. Mycket av de effekter som autonoma fordon förväntas ha beror på utvecklingen av den generaliserade resekostnaden, även om de även kan ha andra effekter. I detta avsnitt sammanfattas litteraturen.

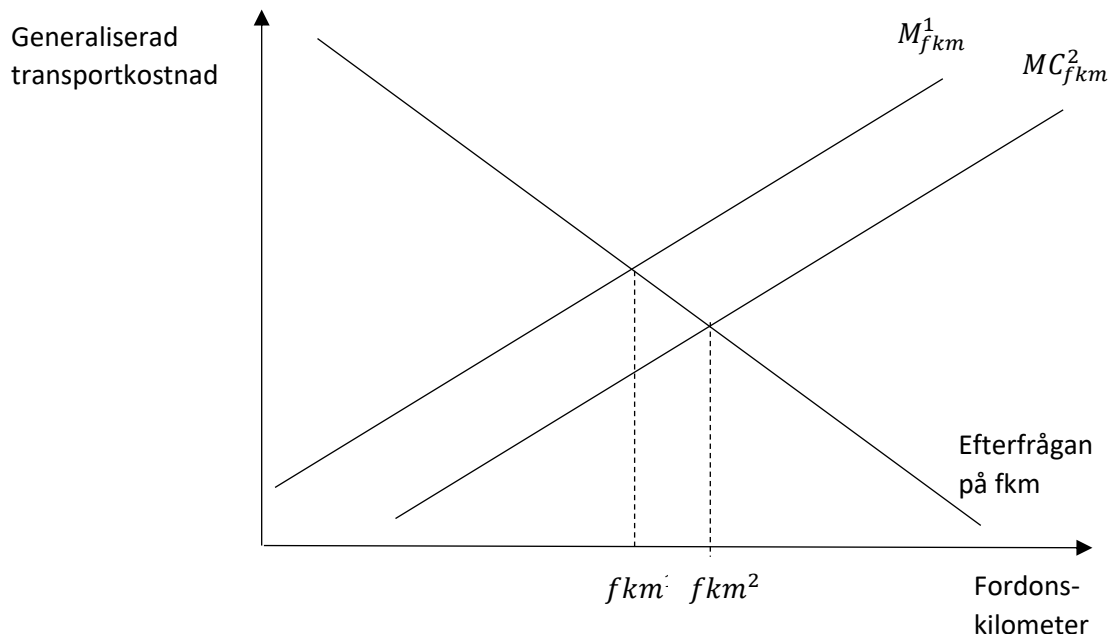
3.1. Trängsel

Många studier anser att självkörande fordon kommer att förbättra trafikflödet och öka vägkapaciteten. Dessa effekter härrör från olika typer av adaptiva hastighetshållare, förbättrade kontrollsystem i korsningar (Bahamonde-Birke, et al., 2018; Dresner & Stone, 2004), på grund av att trafikstockningar som skapas av trafikolyckor minskar samt eftersom självkörande fordon kan köra

med högre hastigheter och kortare avstånd sinsemellan på motorvägar (Bagloee, et al., 2016). Mindre trängsel leder till förkortad restid och ökad säkerhet om resetidens längd.

Motsatta resultat rapporteras dock också i litteraturen. Calvert m.fl. (2017) använder ett simuleringsexperiment för att visa att automatiserade fordon på låga SAE-nivåer (1 och 2) kommer initialt att ha en liten men negativ påverkan på trafikflödet och vägkapaciteten. Experimentet visar vidare att trafikflödet förbättras först från en andel av självkörande fordon som överstiger 70 procent.

Om självkörande fordon minskar den generaliserade kostanden av transporter minskar sannolikt även marginalkostnaden och efterfrågan på motoriserade transporter kommer att öka. Detta har flera effekter. För det första leder det till en minskning i kollektivtrafikefterfrågan (se avsnitt 3.8) med därav följande negativa effekter på trängsel (Bahamonde-Birke, et al., 2018). För det andra leder det av sig själv till högre trafikvolym på vägarna och därmed till ökad trängsel och ökade luftutsläpp, se figur 3 som visar hur en sänkning i transporters marginalkostnader kan leda till en ökad efterfrågan på fordonskilometer. Vidare kan autonoma fordon öka antalet resor om resor som idag vidtas gemensamt delas upp samt eftersom antalet "tomma" resor där fordonet omlokaliseras eller parkerar sig själv ökar. Chen m.fl. (2016) uppskattar att de "tomma" resorna genererar mellan 7,1 och 14,0 procent fler fordonskilometer. Skulle de tomma resorna leda till ökad trängsel, vilket skulle öka den generaliserade transportkostnaden och därmed minska transportefterfrågan, skulle dessa tomma resor egentligen leda till en sänkning i den samhälleliga välfärden. (Bahamonde-Birke, et al., 2018). Medan är det värt att notera att "cruising for parking" skulle försvinna och att även dagens taxibilar omlokaliseras sig så är det möjligt att det blir billigare för de självkörande fordonen att köra runt än att parkera. Detta skulle leda till en tredje variant, "cruising while waiting".²



Figur 3 Påverkan från en sänkning i den generaliserade transportkostnaden på transportefterfrågan. Om autonoma fordon leder till en minskning i transporters marginalkostnader från MC_{fkm}^1 till MC_{fkm}^2 , och givet en elastisk efterfrågefunktion, kommer antalet fordonskilometer öka. Detta kan bl.a. leda till ökad trängsel. Källa: VTI.

² Författaren tackar Ida Kristoffersson för att ha påpekat "cruising while waiting" -effekten.

Hur sannolikt leder självkörande fordon till ökad trängsel är därmed oklart. Exempelvis noterar Fagnant och Kockelman (2015) att om en fördubbling av fordonskilometer (fkm) med självkörande fordon minskar olyckor med 90 procent per fkm skulle det totala antalet olyckor, därav följande skador och restidsförslängning minska med 80 procent, vilket skulle frigöra vägkapacitet. Vidare noterar de att förutom ifall användningen av självkörande fordon har grovt underskattats i litteraturen (vilket är möjligt) så skulle den existerande vägkapaciteten räcka till för att täcka den nya och/eller inducerade efterfrågan.

Även en förväntan om minskad trängsel kan orsaka ökad trängsel. van den Berg och Verhoef (2016) visar att även om vägkapaciteten ökar med andelen självkörande fordon kan ett byte mot självkörande fordon leda till negativa externa effekter på grund av den trängsel som uppstår från förändrade beslut om avresetiden. Effekten kallas för "reverse peak spreading" eller Downs-Thomson paradox (Bahamonde-Birke, et al., 2018) som sker när bilister byter tillbaka till en tid mitt i rusningstiden eftersom trängsel under den tiden har minskat på grund av en kapacitetsökning.³ Bahamonde-Birke m.fl. (2018) argumenterar att effekten gäller även för en kapacitetsökning som härrör från självkörande fordon. Om de externa effekter som associeras med den modala förändringen från kollektivtrafik till bilar överstiger den ursprungliga kapacitetsökningen kan resetiden öka. Detta diskuteras i nästa avsnitt.

3.2. Restid

Autonoma fordon ändrar värdet av den tid som spenderas i ett fordon eftersom tiden under resan kan användas på ett sätt som minskar onyttan från resetiden (Bahamonde-Birke, et al., 2018), åtminstone i fordon på SAE-nivå 5. Hur stor effekten är på lägre SAE-nivåer är oklar. Exempelvis värderar tågresenärerna resetiden som en mer produktiv tid än bilförare (Wadud, et al., 2016).

Wadud (2017) beräknar den totala kostnaden för och nyttan från att äga en vanlig bil jämfört med ett helt självkörande fordon. De två största nyttorna härrör sig från en eventuell minskning i bränsleförbrukningen, och från tidsvärdet, varav det sistnämnda är överlägset viktigast (se även Fraedrich m.fl., 2018). Medan automatisering av privatägda fordon i basscenariot, där det antas att nyttan från restiden ökar med 40 procent, är lönsamt för den högsta kvintilen i inkomstfördelningen och möjligtvis för den genomsnittliga personen i fjärde kvintilen, ökar detta till att täcka även delar av den andra kvintilen när nyttan från restiden ökar till 80 procent. För kommersiella fordon (taxibilar, lastbilar av olika storlekar, med och utan släp) är automatisering enligt Waduds beräkningar alltid lönsamt p.g.a. minskade lönekostnader.⁴

En alternativ syn lyfts dock upp av Singleton (2019) som argumenterar att människorna osannolikt kommer att använda sin tid i den självkörande bilen på ett lika produktivt sätt som många forskare tror. Singleton gör dock inte någon egen tidsvärderingsstudie men argumenterar att istället för produktiv användning av restiden kommer nyttan från denna tid öka p.g.a. den subjektiva nyttoökningen som fås från minskad stress som uppstår från bilkörning, möjligheten att slappna av och mentalt förflytta sig mellan fritid och arbete. Hur stora dessa nyttor är borde dock studeras vidare.

³ Författaren tackar Ida Kristoffersson för att ha förtydligat effekten.

⁴ Lönekostnaderna blir inte noll även med autonoma fordon eftersom kostnaderna för omlastning tillkommer, oberoende av om detta automatiseras eller genomförs av belönad personal. Självkörande lastbilar tenderar därför att bli mer lönsamma på långa motorvägsträckor där omlastningskostnaden utgör en mindre andel av totalkostnaden. Även när det gäller självkörande taxi och kollektivtrafik kommer sannolikt investeringar behövas i form av övervakning och personal som kan kontaktas vid problem.

Förändringar i värderingen av restiden är viktiga ur styrmedelssynpunkt i den mån som många väginvesteringar är lönsamma tack vare tidsbesparingen (tidsvärdet). I den mån som tidsvärdet sjunker p.g.a. självkörande fordon kommer flera väginvesteringar att bli olönsamma. Skulle bara objekt med positiva nettonuvärdeskvoter byggas skulle detta minska investeringsvolymen i vägar.

3.3. Markanvändning och parkering

Interaktionen mellan transportsystemet och markanvändning samt den byggda miljön studeras av Fraedrich m.fl. (2018). De identifierar ett antal effekter på markanvändning från autonoma fordon. Den viktigaste lär vara påverkan på parkering eftersom självkörande fordon kan parkera sig själva eller bli kvar i transportsystemet medan de väntar på nästa passagerare. Detta kan ha en avsevärd påverkan på markanvändningen i innerstäderna. Om "cruising for parking" (Shoup, 2005) minskar, kan effekten vara positiv på miljön. Långa resor till parkeringsplatser utanför städerna eller "cruising while waiting" kan dock ha en motsatt effekt.

Fraedrich m.fl. (2018) noterar att parkering i tätbebyggda områden är dyrt. Därmed är det möjligt att kostnaden för att tillhandahålla parkeringsinfrastruktur överstiger resekostnaden till gratis parkeringsplatser längre bort. Alternativt är det möjligt att det är billigare för fordonet att fortsätta köra under en viss tid utan passagerare än att betala en dyr parkeringsavgift ("cruising while waiting"). Därmed kan man förvänta sig att parkeringsplatserna kommer att lokaliseras i mindre tätbebyggda områden där plats inte är en bristvara (Chapin, et al., 2016; Zakharenko, 2016). Utvecklingen av självkörande taxitjänster kan också förväntas minska efterfrågan på parkeringsplatser i stadscentra (Heinrichs, 2016). Förändringar i parkeringsefterfrågan har två effekter. Alessandrini m.fl. (2015) noterar att mark frigörs i städerna som skulle kunna användas för att öka trivselen i städerna exempelvis genom att frigöra utrymme för kollektivtrafikfält, bredare eller bättre gång- och cykelbanor, parker och gröna områden (Hass-Klau, 2014; Chapin, et al., 2016; Faisal, et al., 2019). Den andra effekten är dock ökad trängsel och bränsleförbrukning när fordonen kör tomma. Dessutom kommer parkeringsmarknaden i innerstäderna ändras från grunden med en oförmåga att ta betalt för parkeringsplatser.

Andra effekter på markanvändningen uppstår på grund av behovet av att förändra vägarna (företrädesregler och filbredden) och väginfrastruktur (vägskyltning osv), möjligheter till förändringar i markanvändning (ökad bebyggelsestäthet, parker osv) samt påverkan på urban sprawl (Fraedrich, et al., 2018). Urban sprawl diskuteras nedan.

Frågan om hur parkering för självkörande fordon ska organiseras studeras av Nourinejad m.fl. (2018). De visar att möjligheten att parkera bilarna i flera rader istället för bara två som är möjligt idag har stor potential att frigöra utrymme. Autonoma fordon minskar behovet av utrymme för parkeringsplatser i genomsnitt 62 procent, och som maximum 87 procent. Zhang m.fl. (2015) i sin tur visar att delade autonoma fordon kan minska efterfrågan på parkering med upp till 90 procent.

3.4. Påverkan på urban sprawl

Bansal and Kockelman (2018) gör en betalningsviljestudie i Texas för självkörande fordon på nivåer 2, 3 och 4 enligt SAE International (2018). Bland deras mer policyrelevanta upptäckter är respondenternas benägenhet att flytta om (delade) självkörande bilar blir tillgängliga. Den stora majoriteten, 81,5 procent, ämnar inte flytta, 7,4 procent av de svarande skulle flytta närmare stadscentrum medan 11,1 procent skulle flytta längre ut. Författarna anger inte om skillnaden mellan de som skulle flytta närmare och de som skulle flytta längre bort är statistiskt signifikant – siffrorna ger dock visst stöd för att introduktionen av självkörande fordon kan leda till urban sprawl. Meyer m.fl. (2017) visar med hjälp av den schweiziska nationella transportmodellen att den spatiala distributionen tyder på att autonoma fordon ökar urban sprawl.

Däremot noterar Bagloee m.fl. (2016) att det är möjligt att självkörande fordon får folk att flytta in i städerna istället och i slutändan stimulera tillväxten i stadscentra. Om automatiseringstekniken leder till att behovet av parkeringsplatser i närheten av bostaden, mitt i staden minskar, kan detta utrymme användas för annat. Exempelvis skattar Shoup (2005) att 31 procent av den totala arealen i amerikanska städer används för parkering. Smolnicki och Sohtys (2016) visar vilka attribut en "fotgängarvänlig" respektive en "bilförarvänlig" stad skulle ha – valet av exempelvis gatustruktur mellan inkluderande eller separerade gator för olika transportsätt kan ha en avsevärd påverkan på hur den urbana strukturen utvecklas. Denna utveckling kan påverkas av självkörande fordon. Millard-Ball (2018) noterar att eftersom självkörande bilar kommer att vara riskobenägna kommer fotgängare kunna uppföra sig ostraffade i trafiken. Detta kan underlätta skapandet av fotgängarvänliga urbana miljöer. Samtidigt kommer dock upptaget av självkörande fordon att hämmas på grund av denna strategiska nackdel som gör dem långsammare i urban trafik.

Faisal m.fl. (2019) drar slutsatsen att det i dagsläget är omöjligt att avgöra vilken av effekterna som kommer att dominera – det beror på transport- och stadsplaneringspolicier, lokala omständigheter samt spridningen av olika förarlösa mobilitetslösningar.

3.5. Miljöeffekter och energianvändning

Flera författare förväntar sig att de autonoma fordonen minskar de negativa miljöeffekterna från transporter, framförallt globala och lokala luftutsläpp. Effekten härrör från flera olika källor. Delvis förväntas de självkörande fordonen köra sig själva på ett energieffektivt sätt (Bahamonde-Birke, et al., 2018; Faisal, et al., 2019). Exempel på detta är körning på motorns mest effektiva operationsnivå samt minskat antal inbromsnings-accelerationscykler. Således uppskattar National Research Council (2010) att "eco-driving" har minskat drivmedelsförbrukningen med mellan 4 och 10 procent. Å andra sidan visar Mersky och Samaras (2016) att ett autonomt fordon som följer en algoritm som designats utan hänsyn till energieffektivitet kan minska ett fordons drivmedelseffektivitet med upp till 3 procent jämfört med standardtestcykel. Faisal m.fl. (2019) noterar att energikonsumtion och utsläpp inte är några direkta konsekvenser av automatisering utan påverkas snarare av förändringar i körsättet, fordonsdesign, energival, policier eller designen av transportsystemet vilka underlättas på ett indirekt sätt av automatisering. Enligt Waduds m.fl. (2016) bedömning beror nettoeffekten från automatisering på vilka faktorer som dominerar. De noterar bl.a. att många av de potentiella energireducerande förändringarna realiserar på nivåer som betyder partiell automatisering medan de största riskerna för ökning för energiförbrukning och/eller utsläpp uppstår vid full automatisering.

Automatisering kan minska trängsel genom att trafikflödet förbättras och att antalet olyckor minskar. Detta minskar drivmedelsförbrukningen från lätta och tunga fordon, enligt Waduds m.fl. (2016) estimerat med ca 2 procent idag och lite över 4 procent 2050. Den totala effekten kan dock lika väl vara negativ som positiv – Chen m.fl. (2017) visar att beroende på antaganden kan drivmedelskonsumtionen minska med 45 procent, eller öka med 30 procent. Enligt Chen m.fl. analys har automatisering en större potential att minska drivmedelsförbrukningen i urbana områden än på motorvägarna p.g.a. bl.a. av minskad trängsel och antal olyckor.

Vidare minskar "homogenisering" av transportflöden, exempelvis genom platooning, antalet accelerationer och inbromsningar. Platooning minskar luftmotståndet framförallt för fordonen i mitten av kön, vilket minskar drivmedelsförbrukningen (Wadud, et al., 2016). Platooning förväntas leda till lägre högsta hastigheter (minskad energiförbrukning) men högre effektiva hastigheter (kortare resetid) (Bagloee, et al., 2016). Detta minskar drivmedelskonsumtionen per fordonskilometer och således utsläppen. (Bahamonde-Birke, et al., 2018). Berry (Berry, 2010) uppskattar att en 20 procentig minskning i accelereringar och inbromsningar leder till en 5 procents

minskning i drivmedelskonsumtion. Avslutningsvis kan platooning också öka vägkapaciteten, vilket minskar trängseln och den drivmedelsförbrukning som uppstår p.g.a. detta samt minskar behovet av nybyggd infrastruktur.

Automatisering kan leda till mindre tvära bromsningar, vilket skulle minska slitage i fordonens bromsar (Fagnant & Kockelman, 2015). Automatisering kan också leda till mindre efterfrågan för hårda accelerationer när dessa snarare än tillfredsställa förarens upplevda behov av att snabbt komma upp i hastigheten blir snarare en källa till obehag (Wadud, et al., 2016). Därutöver kan den ökade säkerheten av självkörande bilar leda till att bilarna blir lättare. Detta skulle också bidra till minskad drivmedelsförbrukning (Bagloee, et al., 2016; Wadud, et al., 2016).

Om autonoma fordon delas i större utsträckning än konventionella fordon kan det leda till att ett fordon av ”rätt storlek” användes oftare. Medan de flesta privatägda bilarna har kapacitet för åtminstone fyra personer noterar Wadud m.fl. (2016) att det i USA körs i genomsnitt 1,67 personer åt gången – siffran lär sig inte vara mycket annorlunda i Sverige. Den potentiella drivmedelsbesparingen från valet av ett fordon av ”rätt” storlek kan vara stor, mellan 21 och 45 procent, även om det råder stor osäkerhet om dessa siffror och flera faktorer kan göra besparingarna i denna storleksklass onåbara (Wadud, et al., 2016).

Såsom konstaterades ovan kan introduktionen av självkörande fordon leda till en minskning i den generaliserade transportkostnaden, vilket i sin tur ökar efterfrågan på resor med autonoma taxi och privata fordon. Detta ökar trafikvolymen och trängsel (avsnitt 3.1), och även utsläppen när flera resor görs med bil. Vidare kan ökad trängsel leda till att en resa tar längre tid och öka stop-and-go situationer, vilket också ökar utsläppen per fordonskilometer (Bahamonde-Birke, et al., 2018). Ändrat fotgängarbete där man antar att ett autonomt fordon stannar när man korsar vägen kan även den öka antalet plötsliga hastighetsförändringar som autonoma fordon måste göra (Millard-Ball, 2018). De tomma resorna till parkeringsplatsen eller i jakt på nya kunder leder även de till ökade utsläpp.

Det är även möjligt att automatisering ökar hastigheterna på motorvägarna när mänskliga faktorer inte längre begränsar säkra hastigheter. Detta leder till ökat luftmotstånd och därmed till ökad drivmedelsförbrukning. Wadud m.fl. (2016) beräknar den förväntade hastighetsökningen för amerikanska förhållanden utifrån att marginalnyttan av tidsbesparingen ska motsvara marginalkostnaden av ökad drivmedelsförbrukning. Detta skulle betyda att lätta fordon skulle köra i 127 km/timme på de amerikanska motorvägarna, vilket motsvarar relativt väl den vanliga genomsnittshastigheten på 140 km/timme som nås på de tyska Autobahn. Energiintensiteten, dvs. energiförbrukning per fkm skulle då öka med 20–40 procent på motorvägarna, för mellan 33 och 55 procent av totalsumman av fordonskilometer. Energiintensitetsökningen för lätta fordon skulle då uppgå till 7–22 procent totalt.

Avslutningsvis är det möjligt att möjligheten att ägna tiden i fordonet åt annat än körning leder till efterfrågan på andra aktiviteter och tillägg i bilen. Dessutom är det möjligt att reseavstånden ökar med autonoma fordon vilket kan öka efterfrågan på ökad komfort. Båda dessa utvecklingar skulle leda till att fordonsvikten ökar. Skulle sådan efterfrågan öka fordonsvikten med 240 kg från en antagen basvikt på 1 452 kg, skulle drivmedelskonsumtionen öka med ca 11 procent till 2050 (Wadud, et al., 2016).

Simuleringsresultaten i Ross och Guhathakurta (2017) ger stöd åt att automatisering leder till ökad energiefterfrågan från transportsektorn, speciellt när självkörande fordon på SAE nivåer 4 och 5 dominerar transportsystemet. Bildelning kan minska energiefterfrågan något, men även då tyder

resultaten på en ökad energiefterfrågan. Skälen är att finna i högre hastigheter, inducerad transportefterfrågan och efterfrågan från nya användargrupper.

Det är möjligt att introduktionen av självkörande fordon minskar bilägandet. Frågan studeras av Zhang m.fl. (2018) med hjälp av en simuleringsmodell av Atlanta. De finner att mer än 18 procent av hushållen kan minska antalet fordon de äger medan de bibehåller sina existerande resmönster. Detta leder till en 9,5 procentig minskning i antalet privata fordon i den studerade regionen, men även till en ökning i tomkörning på 29,8 fordonsmiles per dag och reducerat fordon (ca 47,7 fkm/dygn).

En icke-transportrelaterad möjlighet med delade självkörande elektriska fordon påpekas av Iacobucci m.fl. (2019) som noterar att tillsammans med ett nätkopplat virtuellt kraftverk skulle fordonen kunna användas som lager för el. Enligt Iacobuccis m.fl. simuleringsresultat skulle systemkostnaden vara mycket lägre med delade än privatägda fordon. Delade autonoma elektriska fordon kan dessutom öka användningen av förnybar el i ett mikroelät.

3.6. Trafiksäkerhet

Trafiksäkerheten förväntas öka på grund av att den mänskliga riskfaktorn i trafiken elimineras (Bagloee, et al., 2016). Exempelvis beräknar Fagnant och Kockelman (2015) att en marknadsandel för självkörande fordon på 10 procent minskar vägolyckor med 50 procent, och att om marknadsandelen ökar till 90 procent så minskar olyckorna med 90 procent. Andra studier visar dock att om fordonen inte är helt automatiserade så kan olycksrisken egentligen öka eftersom förarna anpassar sitt beteende och inte klarar av att reagera tillräckligt snabbt ifall en olycka inträffar (Bahamonde-Birke, et al., 2018; Dixit, et al., 2016). Faisal m.fl. (2019) noterar att det än så länge saknas empiriska bevis för automatiseringens påverkan på trafiksäkerhet.

Vidare är det möjligt att bristen på mänsklig interaktion ökar sannolikheten för riskabla situationer (Bahamonde-Birke, et al., 2018). Exempelvis kan risktagande öka beroende på antaganden om de självkörande systemens antagna och faktiska kompetenser, mjukvaran i fordonet kan falla, fordonets artificiella intelligens kan visa sig vara begränsad, det är möjligt att fordonet exempelvis inte klarar av att navigera i en förändrad trafikmiljö osv. (Faisal, et al., 2019). Straub och Schaefer (2018) studerar frågan om samspelet mellan människor och självkörande fordon med hjälp av en case study i USA. De rekommenderar bland annat att efterlevnaden av trafikregler måste skärpas, så att de självkörande fordonen som har programmerats att följa reglerna men som inte kan de sociala koderna som människorna också följer, ska få det lättare. Frågan är dock huruvida det är människorna som ska anpassa sitt trafikbeteende till autonoma fordon eller tvärtom – det lär bli svårt att helt avskaffa avvikande beteenden, och då är det viktigt att självkörande fordon kan agera så att farosituationer undviks.

Cohen och Hopkins (2019) påpekar att självkörande fordon kan minska trafikolyckor där utländska turister är involverade. Skäl till överrepresentation av utländska turister bland trafikolyckor i många länder kan omfatta trötthet p.g.a. byte av tidzon och efter en lång flygresor samt ovanan vid trafikreglerna i olika länder (exempelvis vänstertrafik).

Minskade skadekostnader spilla över till andra delar av samhällssystemet. Således minskar de olycksrelaterade kostnaderna, bl.a. sjukvårdskostnaderna, legala kostnaderna, försäkrings- och administrativa kostnaderna, kostnader för räddningstjänsten, arbetstidsförlust samt skador till egendom (Faisal, et al., 2019).

3.7. Hälsoeffekter

Självkörande fordon verkar minska andelen av icke-motoriserade korta (under 4 km) resor. Introduktionen av självkörande fordon på SAE nivå 5 år 2035 skattas i Tyskland leda till en minskning i

andelen för de icke-motoriserade transportsätten med mellan 0,3 och 1,1 procent från ett basscenario med 33,8 procents modala andel, och i USA med mellan 0,4 och 1,2 procent från ett basscenario med 20,3 procents modala andel (Kröger, et al., 2018). Crayton och Mason Meier (2017) noterar att användning av motoriserade transporter minskar fysisk aktivitet, vilket leder bland annat till inaktivitet, övervikt och fetma. Dessa i sin tur kan leda till en ökning i icke-smittsamma sjukdomar som hjärt- och kärlsjukdomar, cancer, luftvägssjukdomar och diabetes. En minskning i dessa sjukdomar med en tredjedel ingår bland annat i Agenda 2030 Sustainable Development Goals (SDG:s).

Självkörande fordon kan möjligtvis minska vissa icke-smittsamma sjukdomar, exempelvis genom att minska den stress som bilkörning kan orsaka och de sjukdomar som följer från stress (Crayton & Mason Meier, 2017). Hur stor effekten är oklart.

3.8. Påverkan på taxi, bilpooler och kollektivtrafik

I det här avsnittet diskuteras autonoma taxitjänster, delad autonom taxi samt kollektivtrafik av ett mer traditionellt slag. Många av effekterna, framförallt minskningen i förarkostnaden, är liknande för alla tre transporttyper. De tre transporttyperna konkurrerar dock också med varandra.

De positiva effekterna på kollektivtrafiken och autonoma taxi är likadana. Således minskar kostnaderna när lönekostnaderna sjunker, fordonen körs på ett mer bränsleeffektivt sätt och på grund av prioriteringsteknologier som minskar stop-and-go. Dessutom är det möjligt att kollektivtrafiken kan köras på ett mer flexibelt och personifierat sätt. Därmed kan det bli möjligt att minska fordonsstorleken och öka frekvensen och nätverkets densitet. Detta skulle kunna möjliggöra bättre kombination av olika kollektivtrafikslag (tåg, bussar) som har fasta ruttor i områden med hög efterfrågan med flexibla mindre fordon för den sista kilometern (Bahamonde-Birke, et al., 2018).

Såsom noterades ovan kan introduktionen av de autonoma fordonen sänka den generaliserade- och marginalkostnaden för taxi och privata bilar, vilket skulle leda till en ökning i efterfrågan för dessa transportsätt. Bahamonde-Birke m.fl. (2018) diskuterar den påverkan minskade kostnader kan ha på kollektivtrafiken, exempelvis att funktionshindrade och barn som i dagsläget är stora kollektivtrafikresenärgrupper inte längre skulle vara bundna till kollektivtrafiken, vilket skulle leda till en efterfrågeminskning. Lägre efterfrågan skulle då leda till minskade intäkter och på lång sikt till sämre utbud, vilket i sin tur skulle vidare minska efterfrågan för kollektivtrafik. Den spatiala distributionen av resultaten från körningar med den schweiziska nationella transportmodellen (Meyer, et al., 2017) tyder på att självkörande fordon kan göra kollektivtrafiken överflödigt förutom i tätbebyggda urbana områden. Resultaten i Kröger m.fl. (2018) för Tyskland och USA tyder också på en minskning i efterfrågan för kollektivtrafiken i båda länder – med mellan 4,3 och 16,6 procent i Tyskland och med mellan 6,0 och 19,6 procent i USA.

Vidare kan autonoma fordon minska anledningarna till att subventionera kollektivtrafik. Ett viktigt skäl till att subventionera kollektivtrafik är den positiva effekt den har som ett transportsätt som är tillgänglig för många. Medan denna effekt inte försvinner med självkörande fordon kan dess påverkan minska när alternativen blir mer tillgängliga för flera (Bahamonde-Birke, et al., 2018).

Automatisering av kollektivtrafiken kan vidare leda till att stora bussar ersätts med mindre fordon som erbjuder en mer flexibel och individualiserad tjänst. Detta kan leda till sociala förluster i samma stil som den i avsnitt 3.1 diskuterade Downs-Thomson paradoxen som härrör från ökningen i kapacitetsutnyttjandet i nätverket. Mindre fordon med högre frekvens och mer flexibla körtider och ruttor, men som orsakar större externa effekter per passagerarkilometer, minskar den privata generaliserade transportkostnaden, vilket leder till förändringar i efterfrågan bort från större och mer effektiva fordon. Detta ökar de negativa externa effekterna (Bahamonde-Birke, et al., 2018).

En ytterligare effekt uppstår från förändringar i tidsvärdering. Tidsvärdet för kollektivtrafikanvändningen förväntas inte påverkas av automatisering. Däremot kommer tidsvärdet för privata transporter sjunka på grund av att restiden kan användas på mer meningsfulla sätt. Autonoma taxibilar i sin tur ökar nyttan från avskildhet jämfört med nuvarande taxitjänster. Således kan man förvänta sig att förändringen i tidsvärdet är ungefär lika för autonoma taxibilar och privatägda självkörande bilar (Bahamonde-Birke, et al., 2018).

Även turism kan påverkas. Skulle turisterna i större utsträckning än idag hyra självkörande fordon skulle detta påverka deras användning av kollektivtrafiken negativt. Skulle självkörande fordon ersätta traditionella turistbussar skulle även detta öka trängseln eftersom tio eller flera självkörande fordon behövs för att nå upp till kapaciteten i en turistbuss (Cohen & Hopkins, 2019).

Avslutningsvis kan en ytterligare påverkan på kollektivtrafik uppstå från upplevd säkerhet. Att dela ett fordon med främmande personer kan av vissa grupper (kvinnor, barn, äldre) upplevas som riskfyllt. Problemet kommer dock sannolikt inte lösas med hjälp av ombordspersonal. Istället är det möjligt att man kommer att kunna kontakta personal vid någon hjälpcentral eller annat dylikt.

Krueger m.fl. (2016) genomför en betalningsviljestudie och finner att tjänsteattributen som resekostnad, restid och väntetid avgör huruvida människorna är villiga att använda delade självkörande fordonstjänster, med eller utan dynamisk delning av fordon. Vidare finner de att unga människor är mest sannolika att använda delade självkörande fordonstjänster medan existerande bilförare kommer minst sannolikt byta till sådana tjänster.

Aarhaug och Olsen (2018) studerar behovet av regleringar när autonoma taxi förändrar förutsättningarna för taximarknaden radikalt när lönekostnaderna sjunker. Aarhaug och Olsen identifierar två alternativa utvecklingar: en där åtminstone en del av den autonoma bilparken ägs "gemensamt" antingen av en offentlig aktör eller privata bolag, och en där bilparken ägs privat. I det förra fallet består den reglering som behövs av lösningar som minskar nätverkseffekten. Möjliga lösningar omfattar auktioner av privata monopol, likande dagens bussmarknad, eller att aktörerna behöver licens för att agera på marknaden och att den maximala tillåtna marknadsandelen begränsas. Med individuellt ägarskap av självkörande fordon behövs däremot trängselskatter och miljöstandarder för fordonen (Aarhaug & Olsen, 2018).

Wadud m.fl. (2017) argumenterar att bildelning och efterfrågebaserad (on-demand) mobilitet blir mer attraktiva med autonoma fordon. De noterar att ett hinder för större användning av bilpooler idag är att det ofta inte finns tillräckligt många bilar tillgängliga, medan antalet nya potentiella användare inte är tillräckligt stort för att berättiga ett större antal fordon. Självkörande fordon på SAE nivå 4 och 5 skulle kunna minska denna effekt eftersom fordonen skulle kunna köra sig till användarna istället, vilket skulle minska den geografiska aspekten av bildelning. Det är också möjligt att taxitjänster och bilpooler flyter samman. Fagnant och Kockelman (2014) estimerar att delade självkörande fordon skulle kunna ersätta upp till 11 fordon inom ett bildelningssystem (exempelvis Car2Go, DriveNow osv) men på bekostnad av en ökning i fordonskilometer på ca 10 procent.

3.9. Ökad mobilitet för funktionshindrade, äldre och unga

En ofta citerad nytta från autonoma fordon är ökade möjligheter till mobilitet för nya användargrupper, exempelvis gamla, funktionshindrade, barn samt eventuellt personer som inte har något körkort. Kröger m.fl. (2016) skattar en ökning i fordonskilometer på mellan 2 och 9 procent i Tyskland och USA, vilket kan tyda på ökade möjligheter till ekonomiskt och socialt liv för dessa grupper. Harper m.fl. (2016) skattar ökningen i årliga fordonskilometer till 14 procent i USA. Kröger m.fl. (2018) skattar att fordonskilometer för nya användargrupper ökar med mellan 65 och 71 procent i Tyskland och med mellan 78 och 88 procent i USA. Det är vidare möjligt att vissa resor, som

idag görs på annat sätt (icke-motoriserade resor, kollektivtrafikresor), kan flytta över till privata bilar (Bahamonde-Birke, et al., 2018; Kröger, et al., 2018).

3.10. Synergier med alternativa drivmedel

Bagloee m.fl. (2016) noterar att det finns en naturlig synergi mellan flottor av delade självkörande fordon och elbilar. Därmed anser de att en flotta av självkörande fordon kan lösa de praktiska begränsningarna som elbilar har, däribland den begränsade räckvidden för batteridrivna bilar, tillgång till laddinfrastruktur samt laddtiden. Flottor av självkörande fordon minskar dessa bekymmer genom att styra köravstånd och laddaktiviteter baserade på aktuell resefterfrågan och etablerade laddstationer (Chen, et al., 2016). Exempelvis skulle fordonet kunna köra sig självt till en laddstation vilket minskar både investeringskostnaden för ny laddinfrastruktur och medför en tidsbesparing (Wadud, et al., 2016). Denna typ av styrning förutsätter dock att de självkörande fordonen ingår i en delad fordonsflotta och är av mindre relevans för privatägda självkörande fordon.

Många av de nya teknologierna är kapitalintensiva, exempelvis p.g.a. batteri- eller bränslecellskostnaden osv. Delade autonoma fordon skulle antagligen köras betydligt fler kilometer per år än privatägda konventionella fordon. När ett fordon används så mycket är det fördelaktigt om den har låga operationskostnader, inte går sönder lätt, är mer energieffektiv och använder billiga drivmedel som el och naturgas. Därmed ter sig självkörande el- eller bränslecellsbilar som bra kandidater för ändamål som har höga kapitalkostnader, och som är optimerade för hög effektivitet (Wadud, et al., 2016). Samtidigt skulle elektrifiering minska den fördel som eco-driving med autonoma fordon skulle leda till (Bagloee, et al., 2016).

Chen m.fl. (2016) visar också hur laddinfrastrukturen och batterikapaciteten påverkar storleken i den delade självkörande fordonsflottan som behövs för en viss tjänstenivå. Givet en räckvidd på 80 miles (ca 130 km) för ett delat självkörande elfordon och 240-volts AC laddinfrastruktur skulle ett fordon kunna ersätta 3,7 privatägda fordon. Med 480-volts DC snabbbladdinfrastruktur skulle ett delat självkörande elfordon kunna ersätta 5,4 privatägda fordon. Skulle räckvidden öka till 200 miles (ca 320 km) skulle ett delat självkörande elfordon kunna ersätta 5,5 respektive 6,8 privatägda fordon.

Avslutningsvis argumenterar Mazur m.fl. (2018) att nuvarande policyer, givet den förväntade tekniska utvecklingshastigheten och fordonsköparnas förväntningar inte räcker till för att nå de globala målen. Vidare är inte snabbare teknisk utveckling, starka finansiella instrument eller förändringar i fordonsköparnas förväntningar tillräckliga för måluppfyllelse. Istället argumenterar de att det största bytet mot alternativa drivmedel kan nås genom introduktionen av automatiserade fordon. Därmed skulle automatiserade fordon bli ett policyinstrument i sig.

3.11. Påverkan på infrastruktur

Introduktionen av självkörande fordon kan nödvändiggöra vissa investeringar i existerande väginfrastruktur. Faisal m.fl. (2019) listar eventuellt behov av att måla bättre vägmarkeringar, att se över alla skyltar så att de kan scannas av självkörande fordon, att trafiknyheter via radio och ITS meddelanden kan bli föråldrade beroende på huruvida de självkörande bilarna även är uppkopplade, bättre snöröjning där standarden på röjning vid vägmarkeringar och skyltar behöver höjas markant för att fungera för självkörande fordon samt att lokalisering av trafiksignaler måste identifieras och prioriteras ifall automatisering sker tillsammans med uppkoppling.⁵

Vidare noterar Faisal m.fl. (2019) att behovet av väginvesteringar kommer att minska när exempelvis platooning ökar vägkapaciteten, vilket minskar trängseln och resetiden och därmed ökar vägkapaciteten utan nyinvesteringar. Denna ökning kan uppgå till ett femfaldigande av kapacitet

⁵ Författaren tackar Ida Kristoffersson för förslag till tillägg i behoven.

(Fernandes & Nunes, 2012). Å andra sidan påpekar bl.a. Martínez-Díaz och Soriguera (2018) att autonoma fordon som planerats med säkerhet i tankarna egentligen saktar ner trafiken – den förlorade kapaciteten från användningen av exempelvis adaptiva hastighetshållare (adaptive cruise control systems) har skattats till cirka 600 fordon/timme/fil för en genomsnittlig motorväg (Ntousakis, et al., 2014). Skulle autonoma fordon minska vägkapaciteten behöver investeringarna ökas istället för att minskas.

3.12. Andra effekter

Bagloee m.fl. (2016) diskuterar även tre effekter från självkörande fordon som inte på ett enkelt sätt tillämpar sig för en nationalekonomisk analys. Dessa är maskinetik, cybersäkerhet (se även Sheehan m.fl. (2018), Rizvi m.fl. (2017)) samt lagar, licensiering och regleringar. Dessa frågor beaktas inte vidare i detta PM.

Självkörande fordon kan påverka sysselsättningen även i andra branscher än godstransporter och för taxi- och busschaufförer. Bilskollärare, trafikinspektörer, trafikpoliser och försäkringsförsäljare kan påverkas negativt (Crayton & Mason Meier, 2017; Faisal, et al., 2019). Skulle autonoma fordon minska storleken i fordonsparken kommer även arbeten inom bilindustrin och för bilreparationer bli färre. Samtidigt noterar Faisal m.fl. (2019) att vissa jobb kan bli fler. Detta gäller byggarbeten i samband med att man bygger bort parkeringsplatser och bygger nya parkeringsplatser, modifieringar till vägar och motorvägar samt IT-produkter och tjänster riktade mot de autonoma fordonen.

Relaterad till vissa anställningseffekter är effekter som självkörande fordon kan ha på turism (Cohen & Hopkins, 2019). Effekterna på turism varierar från transfertjänster på flygplatser till taxi, biluthyrare och sightseeingtjänster i urbana områden. Huruvida effekten på turism är enbart positiv är inte helt entydigt – mötet (eller bristen på det) mellan bl.a. taxichaufförer och turister kan påverka kvaliteten i turisternas upplevelse.

3.13. Godstransporter

Det mesta av vad som beskrivits ovan gäller även för godstransporter. För dessa transporter tillkommer dock en ytterligare (positiv) effekt liknande den autonoma taxin, nämligen den besparing som tillfaller åkerierna när fordonen kör sig själva och fordonsägaren sparar lönekostnaden för föraren. Även med självkörande lastbilar kommer dock personal fortfarande behövas för att lasta och lasta av fordonen. Det är dock rimligt att förvänta sig att transportarbetareförbundet och konkurrerande industrier, exempelvis företag som transporterar gods på järnvägen eller till sjöss motsätter sig utvecklingen (Fagnant & Kockelman, 2015). Samtidigt pågår ett generationsskifte inom lastbilstransportbranschen och det råder en förarbrist. Dessa effekter kan motverka motståndet mot automatisering.

Åkerierna får vidare nytta av självkörande lastbilar om dessa körs i platoons. Detta minskar luftmotståndet och resetiden (Fagnant & Kockelman, 2015) och kan öka vägkapaciteten (Faisal, et al., 2019). Exempelvis skattar Bullis (Bullis, 2011) att en 4 meters avstånd mellan lastbilarna skulle minska drivmedelskonsumtionen med 10–15 procent, och att platoons skulle underlätta adaptiv bromsning, vilket skulle kunna leda till ytterligare besparingar. Täta platoons kan dock orsaka problem för andra väganvändare som försöker köra in eller ut ur en motorväg. På grund av detta är det möjligt att platooning bara kan ske ifall ny eller modifierad infrastruktur byggs som är reserverad för platoons.

4. Styrmedel

I detta PM görs en översikt av de styrmedel som föreslagits i litteraturen. Allmänt kan noteras att styrmedel kan delas i tre olika typer: ekonomiska, administrativa och informativa styrmedel (Konjunkturinstitutet, 2017). Fokus här ligger på de ekonomiska styrmedlen, framförallt olika typer av skatter, subventioner och handelssystem, även om även förbud och informativa styrmedel diskuteras kort.

Faisal m.fl. (2019) gör en systematisk litteraturöversikt över policyer för autonoma fordon. De finner att studier av policy som regel adresserar en av sex frågor: a) hur konflikter kan undvikas mellan den nationella/federala regeringen och delstatsregeringar när lagar för autonoma fordon ska formuleras, b) vad jurisdiktionen för respektive den nationella/federala och delstatsregeringen bör vara, c) hur regeringar, industrier, forskare och andra professionella personer kan förhandla och komma överens om angående ansvar och integritet d) vilken organisation som bör standardisera eller certifiera teknologi, e) vilket fordon som borde ha företräde på vägen och f) vad som bör vara den nya prismetoden för att kontrollera fordonskilometer (fkm). Av dessa policyområden är det bara den sistnämnda som är av intresse för detta PM.

4.1. Ekonomiska styrmedel

4.1.1. Marknadsdesign

Marknadsdesign är inte direkt ett styrmedel. Hur marknaden fungerar har dock en stor påverkan på hur exempelvis möjligheten för autonoma taxi kommer att fungera. Frågan studeras bl.a. av Bösch, Ciari och Axhausen (2018) som genomför agent-baserade transportsimuleringar av regionen Zug i Schweiz. De finner bl.a. att ett monopol på den autonoma taximarknaden kan minska restiden, om än till en kostnad: en 4,1 procents minskning i restid ökar fordonskilometer med 16,0 procent. Andra marknadsdesigner, dvs. monopol i bildelning eller oligopol kunde inte minska restiden jämfört med ett scenario utan autonoma fordon men ledde ändå till en ökning i fordonskilometer.

4.1.2. Stöd till delat ägarskap av autonoma fordon

Masoud och Jayakrishnan (2017) föreslår införandet av ett program som stödjer delat ägarskap av självkörande fordon där hushållen formar kluster som delar ägarskapet och användningen av ett antal autonoma fordon. Enligt Masoud och Jayakrishnan skulle ett sådant program öka användningen av fordonen, vilket skulle minska kostnaden för att äga ett självkörande fordon. Det är dock svårt att se varför ett sådant program skulle fungera bättre än en konventionell bilpool. Problemet att få tillgång till fordonet när efterfrågan är som högst kvarstår, likaså frågan om hur fordonsunderhåll och städning ska organiseras. Därmed argumenterar Bösch, Becker m.fl. (2018) att en ansenlig andel av fordonen kan komma att förbli i privat ägo och användning p.g.a. låga variabla kostnader.

4.1.3. Parkeringsavgifter

Självkörande fordonens påverkan på parkering diskuterades i avsnitt 3.3. Dessa förändringar kommer att leda till att autonoma fordon att ha en negativ påverkan på städernas möjligheter att få in intäkter från och minska transportmängderna med hjälp av parkeringsavgifter. Anledningen är att parkering inte längre kopplas ihop med resans slutmål (Bahamonde-Birke, et al., 2018).

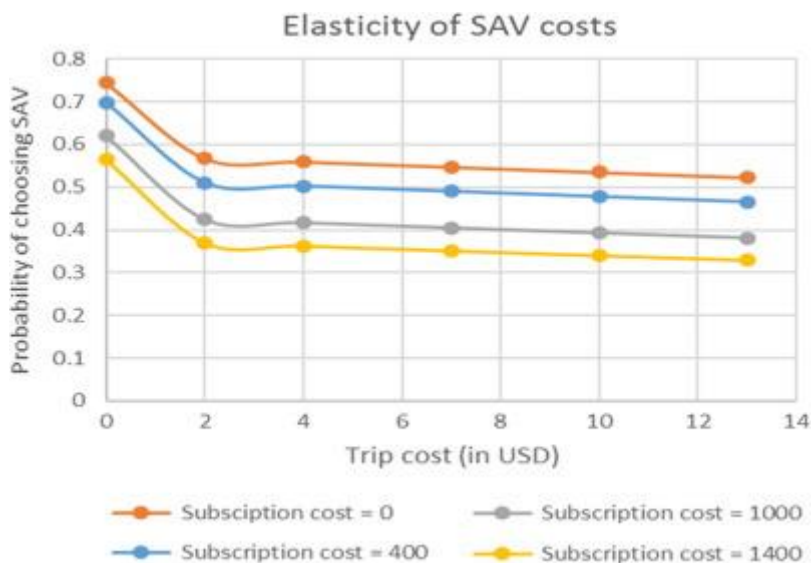
Samtidigt visar Haboucha m.fl. (2017) att ökade parkeringsavgifter kan uppmuntra människor att välja självkörande fordon. Dessutom uppmuntrar höga parkeringsavgifter individer att välja delade självkörande fordon över privata.

4.1.4. Subventioner till kollektivtrafiken

Subventionerad kollektivtrafik är en vanlig strategi för att minska privatbilsanvändning och öka mobiliteten. Eftersom självkörande privata fordon minskar den generaliserade transportkostnaden

kan prisskillnaden mellan privat- och kollektivtrafik minska, även om kollektivtrafiken också automatiserades. Detta skulle göra det både svårare och dyrare att öka subventionen till en nivå som kompenserar för kollektivtrafikens nackdelar, exempelvis byteskostnaden, tidsinflexibiliteten, bristen på avskildhet osv. Bahamonde-Birke m.fl. (2018) argumenterar därför att scenarier där självkörande fordon leder till mer intermodalitet är osannolika eftersom empiriska studier tyder på en stark negativ påverkan från byten och behovet av att följa tidtabeller. Bösch, Becker m.fl. (2018) konstaterar att kollektivtrafik i dess nuvarande form bara kommer att kunna vara ekonomiskt konkurrenskraftigt där efterfrågan kan slås ihop till större enheter, dvs i tätbebyggda urbana områden där kollektivtrafik kan produceras till en lägre kostnad än autonoma taxi och privata bilar. Där det inte är möjligt att slå ihop passagerare i en stor utsträckning blir det billigare med delade fordon. Däremot påpekar Bösch, Becker m.fl. att delade fordonsflottor inte nödvändigtvis är det mest effektiva alternativet i framtiden. Anledningen till detta är höga fasta kostnader och högre städkostnader.

Haboucha m.fl. (2017) studerar priskänsligheten av att välja delade självkörande fordon. I en SP studie genomförd i Israel och USA finner de att även om det vore helt gratis att använda delade autonoma fordon så skulle bara 75 procent av individerna välja detta transportsätt. Sambandet mellan abonnemangskostnad per år i USD, kostnad per resa och sannolikheten att välja använda delad självkörande fordon visas i figur 4.⁶ Det är värt att märka att en abonnemangskostnad på 1 400 USD/år kombinerad med en kostnad på 0 för enskilda resor (dvs, $TC = 1\,400$ USD, $MC = 0$) leder till samma sannolikhet för att välja en delad autonom fordon som en abonnemangskostnad på noll och en kostnad för enskilda resor på 2 USD/resa (dvs, $TC = 2 \times \text{antal resor}$ USD, där antalet resor inte kan överstiga 700 stycken per år om kostnaden ska hållas under 1 400 USD, $MC = 2$ USD).



Figur 4 Elasticitet av kostnad för delad självkörande bil (abonnemangskostnad och kostnad för enskilda resor). Källa: Haboucha m.fl. (2017).

Fagnant och Kockelman (2015) studerar ett centralt organiserat system för delade självkörande fordon. De antar en investeringskostnad på 70 000 USD och en rörlig kostnad på 0,50 USD/mile. Slutsatsen är att ett pris på 1 USD per mile för en självkörande taxi fortfarande producerar en vinst för operatören. Chen m.fl. (2016) skattar den kombinerade kostnaden av laddinfrastruktur för delade

⁶ Den genomsnittliga växelkursen år 2017 var 8,54 SEK/USD. Den högsta abonnemangskostnaden på 1 400 USD motsvarar då 11 953 kronor.

eldrivna självkörande fordon, kapital och underhållskostnad för fordonen, kostnaden för el, försäkring och registrering för en flotta av självkörande elektriska fordon till mellan 0,42 till 0,49 USD per ockuperad fordonskilometer (mellan 3,60 och 4,20 kronor per ockuperad fordonskilometer).⁷

4.1.5. Möjligheter till vägavgifter och trängselskatter

Självkörande fordon, framförallt de på SAE nivå 5 kommer att ha en stor påverkan på fordonskilometer. Kröger m.fl. (2018) undersöker hur kontext påverkar effekten genom att jämföra Tyskland med USA och finner att medan upptaget av fullt självkörande fordon i Tyskland år 2035 kan förväntas ligga mellan 10 och 38 procent beroende på scenario, kommer upptaget att ligga mellan 8 och 29 procent i USA. Högre upptag betyder dock inte att fordonskilometer också ökar mer i Tyskland – tvärtom ligger ökningen i Tyskland i spannet 2,4 till 8,6 procent medan ökningen i USA beräknas till mellan 3,4 och 8,6. Ökningen i fordonskilometer är högre än ökningen i antalet bilresor vilket indikerar längre resor.

Ökningen i fordonskilometer balanseras dock av att självkörande fordon kan öka vägkapaciteten såsom noterades i avsnitt 3.1. Vad nettoeffekten på trängsel blir, och när efterfrågeökningen överskrider den nivå när trängseln blir ett större problem än idag är dock oklart från den litteratur som lästs. Det är således inte klart att trängselskatter nödvändigtvis behövs, åtminstone inte i initialläget.

Basar och Cetin (2017) studerar möjligheterna för ett specifikt styrmedel, nämligen vägavgifter som säljs ut med auktioner. Anledningen till att styrmedlet förutsätter självkörande fordon är att bilförarna deltar i auktionen under bilfärden och, p.g.a. trafiksäkerhetsskäl kan bara göra detta om bilen kör sig själv. Basar och Cetin visar att det föreslagna descending price auction ökar intäkterna från vägavgiften avsevärt. Dessutom finner författarna att systemet verkar vara acceptabelt för de respondenter som de studerat i Virginia.

Bahamonde-Birke m.fl. (2018) noterar att det bästa sättet att internalisera de externa effekter som uppstår från de effekter som självkörande bilar har på transportsystemet är genom vägavgifter. Vägavgifter kan användas såväl av fiskala skäl, nämligen för att kompensera för bortfallet av parkeringsavgifter som av effektivitetsskäl. Dynamiska vägavgifter diskuteras i nästa avsnitt.

Ett enklare alternativ till dynamiska vägavgifter skulle kunna vara trängselskattzoner, exempelvis trängselskatten i Stockholm och Göteborg. En fråga som uppstår är dock de incitament som sådana zoner ger för att inte lämna zonen. Exempelvis kan ett fordon, istället för att lämna zonen för att parkera sig själv, fortsätta köra runt i zonen sökandes efter en parkeringsplats. Detta skulle leda till ökad tomkörning, trängsel och utsläpp.

4.1.6. Kilometerskatt och dynamiska vägtullar

Både forskningslitteraturen och andra bedömare verkar anse att det bästa sättet att i framtiden internalisera de externa effekter som uppstår från transportsektorn, både från person- och från godstransporter, är med hjälp av någon typ av kilometerskatt eller dynamiska vägavgifter (Bahamonde-Birke, et al., 2018; Klimatpolitiska rådet, 2019; Faisal, et al., 2019).

Implementeringen av dynamiska vägavgifter är dock svårt. Exempelvis skulle implementeringen av helt dynamisk prissättning kunna leda till stor volatilitet i avgiftsnivåerna, till och med för snabba för att människorna skulle klara av att reagera till dem (Bahamonde-Birke, et al., 2018). Därutöver finns det fortfarande tekniska frågor att besvara, kostnaden av systemet är oklart, dynamiska vägavgifter kan äventyra människors integritet osv.

⁷ Den genomsnittliga växelkursen år 2016 var 8,56 SEK/USD.

Resultaten i Bösch, Becker m.fl. (2018) ger viss indikation på kostnader för självkörande fordon jämfört med konventionella bilar, och därmed vilka skattenivåer som skulle kunna vara aktuella om syftet är att bibehålla dagens kostnad per fordonskilometer. Resultaten reproduceras i tabell 1. Det är tydligt från tabellen att medan kostnaden för personbilar ökar marginellt p.g.a. automatiseringen så har de minskade lönekostnaderna en drastisk påverkan på kostnaden för taxitjänster.

Tabell 1 Jämförelse av kostnad per passagerarkilometer, SEK/passagerarkilometer, mellan konventionella och autonoma självkörande fordon, för privata bilar och fordon som ingår i taxiflottor. Ursprungliga kostnader i CHF har konverterats till SEK utifrån en årsmedelväxelkurs på 8,88 SEK/CHF, 2018-års priser.

	Konventionella privata bilar	Autonoma privata bilar	Konventionell taxi	Autonoma taxi
OH och operationskostnader			0,74	0,71
Löner			21,40	0,00
Drivmedel	0,50	0,45	0,51	0,45
Rengöring	0,04	0,04	0,23	1,04
Parkering och trängselskatter	0,60	0,60	0,29	0,28
Skatter	0,10	0,10	0,02	0,02
Försäkring	0,39	0,20	0,07	0,04
Avskrivningar	1,80	2,16	0,54	0,65
Ränta	0,35	0,41	0,02	0,02
Underhåll och slitage	0,52	0,52	0,42	0,41
Summa	4,31	4,48	24,23	3,62

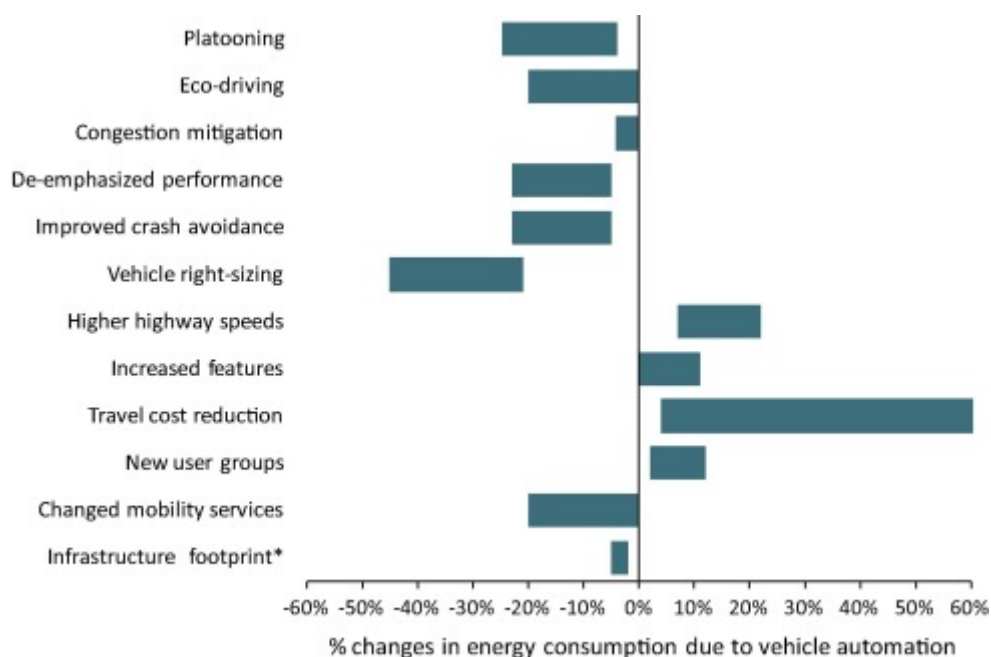
Källa: Bösch, Becker m.fl. (2018), Table 3.

Kilometerskatter har diskuterats åtminstone i Kalifornien, Oregon, Washington, Nederländerna, Norge, Tyskland och Finland. I Kalifornien har ett pilotprogram nyligen avslutats (California State Transportation Agency, 2017) där ett kilometerskattesystem testades i verkligheten med 5 000 deltagande fordon. Pilotprogrammet omfattade alla typer av fordon från personbilar till kommersiellt använda lastbilar, både från landsbygden och från förorterna/staden. Programmet ansågs som framgångsrikt, och 85 procent av de deltagande hade en fördelaktig åsikt om det. Deltagarna verkar ha ansett en kilometerskatt vara ett mer rättvist styrmedel drivmedelsbeskattningen.

I Finland har kilometerskatten diskuterats sedan en utredning 2013 föreslog både tekniska lösningar, lösningar till de integritetsproblem som uppstår p.g.a. kontinuerlig uppföljning av fordonen med GPS samt utformning (Ollila, et al., 2013). Enligt en nyss publicerad undersökning (Autotuoajat ja -teollisuus ry, Autoalan Keskusliitto ry, 2019) har cirka hälften av finländarna en positiv attityd gentemot att deras fordonskilometer registreras för att kunna användas till beskattning och försäkringsändamål. En dryg tredjedel skulle inte ge tillstånd till att följa dem. De mest positiva var de som kör minst, de mest negativa de som kör mest.

4.1.7. Energiskatter

Wadud m.fl. (2016, p. 12) sammanfattar estimerade förändringar i energianvändning från introduktionen av självkörande fordon, som reproduceras här som figur 5. Det råder stor osäkerhet om både de enskilda effekternas storlek och om den sammanlagda påverkan. Således är det möjligt att den totala energianvändningen minskar när fordon automatiseras. Det är dock också möjligt att energikonsumtionen ökar.



Figur 5. Sammanfattning av estimerade förändringar i operationell energianvändning p.g.a. automatisering av fordonen. Källa: Wadud m.fl. (2016).

Energianvändning i sig är ingenting negativt och det finns inga externa effekter som måste internaliseras per se. Negativa effekter som uppstår i produktionsledet, exempelvis om elektricitet produceras med hjälp av kolkraft, internaliseras bäst med direkta skatter riktade mot den externa effekten, eller med hjälp av ett handelssystem för utsläppsrätter (exempelvis EU:s handelssystem ETS). Produktions- och distributionskostnaderna reflekteras i elpriset.

Energiefterfrågan kan dock vara en bra skattebas om efterfrågan är oelastisk/ökande. Ökade elskatter slår dock inte bara mot transportsektorn utan mot all användning av el.

4.2. Existerande lagstiftning

Li m.fl. (2019) gör en översikt över lagstiftning som införts i ett antal länder, exempelvis krav på obligatorisk försäkring för självkörande fordon i Storbritannien. Faisal m.fl. (2019) noterar att de nödvändiga regleringarna för testning och användning av självkörande fordon, för cybersäkerhet och integritet, ansvar och försäkringar, etiska frågor samt underhåll och kalibrering av fordon håller på att tas fram i flera länder. Föregångsländer är bl.a. USA, Nederländerna, UK och Sverige. Dessa frågor diskuteras inte vidare i detta PM.

4.3. Förbud och andra administrativa styrmedel

Ett vanligt sätt att försöka minska externa effekter från diverse verksamheter är genom förbud. Bahamonde-Birke m.fl. (2018) noterar att ett sätt att försöka minska de negativa effekter som självkörande fordon kan ha inkluderar möjligheten till olika förbud och krav. Som exempel föreslår de ett krav på att åtminstone en person med ett giltigt körkort ska alltid vara med i fordonet. En sådan reglering ter sig restriktiv och skulle leda till att många av fördelarna med självkörande fordon inte skulle kunna realiseras.

Ett annat alternativ är ett förbud mot tomma resor eller att dessa begränsas till ett visst område för att kunna hitta en parkeringsplats. Nackdelen med en sådan restriktion är att förarlösa fordon då inte skulle kunna användas som autonoma taxi i lika stor utsträckning.

Vidare skulle det kunna vara möjligt att begränsa tillgången till områden med mycket trängsel för motoriserade privata transporter, eller att skapa ett stort antal kollektivtrafikkörfält eller att lagstifta

om ett minimiantal resenärer per fordon. Det kan dock upplevas som överrestriktivt att förbjuda bilanvändning i stora delar av en stad. Dessutom kan sådana regleringar vara svåra att följa upp.

Faisal m.fl. (2019) listar elva aktiviteter för generaliserad medium- till långsiktig planering som kommer att behöva genomföras. Dessa omfattar a) uppdatering av transportmodeller med nya antaganden, b) en prognos för de finansiella intäkterna, c) undersökningar av möjligheten att använda samma fil samtidigt för självkörande- och konventionella bilar, d) uppdatering av trafikskyltningen och markeringarna, e) minskning av filbredden, f) anpassning av hastighetsbegränsningar, trafikljusens placering och timing, g) eliminering eller reducering av antalet parkeringsplatser och ökning i antalet avlämnings/upphämtningszoner, h) omdisponering av gatuparkeringsplatser i stadscentra för andra alternativa framtida användningsområden, i) omdisponering av företräde i korsningar för människor och andra transportsätt, j) användning av gatuparkeringsplatser i förorterna även som laddstationer samt k) utvecklandet av nya prognosmodeller för uppehåll av gatubeläggningen ifall detta påverkas av självkörande fordon.

Möjligheten att reservera vissa filer bara för självkörande fordon studeras av Talebpour m.fl. (2017) med hjälp av en simuleringsstudie i Chicago. De fann att *optionen* att få använda en reserverad fil av självkörande fordon kunde minska trängseln, men att detta inte var möjligt om det var obligatoriskt för självkörande fordon att använda en reserverad fil, eller om självkörande fordon fick köra sig själva bara på den reserverade filen. Nyttan från att reservera en fil för självkörande fordon översteg kostnaden för den ökade trängseln för konventionella fordon när självkörande fordon nådde en 50-procents marknadsandel när motorvägen var tvåfilig (i vardera riktningen), och en 30-procents marknadsandel när motorvägen var fyrfilig.

4.4. Informativa styrmedel

Information om självkörande fordon kan öka användningen av dessa fordon. Således visar Haboucha m.fl. (2017), baserad på en SP-studie med data från Israel och USA, att om man genom informationskampanjer kan förbättra människors uppfattning om självkörande fordon kan sannolikheten för att en individ väljer en vanlig bil över en självkörande minska från 93 procent till 6 procent. Haboucha m.fl. noterar vidare att en ökning i positiva attityder mot självkörande fordon ökar sannolikheten att välja ett delat självkörande fordon mer än sannolikheten att välja ett privat självkörande fordon. Attityderna är dock också en funktion av socio-ekonomiska variabler och det är inte helt klart i vilken utsträckning som de kan påverkas.

På ett motsvarande sätt skulle ökad miljöhänsyn kunna leda till att individerna i större utsträckning valde delade självkörande fordon istället för privata självkörande eller vanliga bilar (Haboucha, et al., 2017). Det är dock oklart i vilken utsträckning det är möjligt att ändra individers miljöpreferenser med hjälp av informationskampanjer.

5. Styrmedel för måluppfyllelse

I detta avsnitt diskuteras skärningspunkten mellan Trafikverkets mål, vilka presenterades kort i avsnitt 2, de effekter som autonoma fordon kan förväntas ha, vilka diskuterades i avsnitt 3 samt styrmedel, inklusive de ekonomiska styrmedlen som diskuterades i avsnitt 4. I avsnittet lyfts fram Trafikverkets specificerade mål till 2030; för en djupare diskussion om målbilden hänvisas till Trafikverket (2018).

5.1. Tillgänglighet i hela landet

Målet specificeras som:

- Stärka näringslivets konkurrenskraft genom kapacitetsstarka och tillförlitliga transportlösningar. Möjliggöra ett effektivt samutnyttjande av trafikslagen. Transportbranschen tillämpar rättvisa villkor i sund konkurrens inom trafikslagen.
- På landsbygden har medborgarna grundläggande tillgänglighet till arbete/skola, offentlig och kommersiell service samt kultur/upplevelser. Näringslivet har tillgång till utbildad arbetskraft och marknader.
- Tillgängligheten i städer tillgodoses i första hand genom hållbara, samordnade och delade transportlösningar med hög tillförlitlighet, vilket också möjliggjort attraktivare stadsmiljöer.

Självkörande godstransporter lär stärka näringslivets konkurrenskraft i det mån som transporter blir billigare i ökande grad av automatisering, när förarkostnaderna minskar (3.8 och 3.13). Bortsett från introduktionen av självkörande fordon behövs inga styrmedel för att nå målet per se. Det är dock oklart hur det effektiva samutnyttjandet av trafikslagen kommer att utvecklas – minskar vägtransportkostnaden när förarkostnaden minskar blir vägtransporter mer attraktiva och järnvägs- och sjötransporters komparativa fördel minskar. Vidare diskuterades i avsnitt 3.8 påverkan från självkörande taxiflotter på arbetsvillkoren och regleringsbehov. Frågan är hur sannolikt det är att det uppstår ett monopol på godstransportmarknaden likt den som kan uppstå på taximarknaden. Litteraturen ger inget svar på denna fråga.

Frågan om tillgänglighet för medborgare på landsbygden diskuteras i nästa avsnitt, 5.2. Diskussionen i avsnittet omfattar även persontransporter i städerna.

5.2. Tillgänglighet för alla

Målet specificeras som:

- Personer med funktionsnedsättning har likvärdiga möjligheter som övriga grupper i samhället att resa, oavsett bostadsort och resmål.
- Alla medborgare, oavsett ålder, kön, bakgrund, eller ekonomi kan använda transportsystemet för sina grundläggande behov.

Introduktionen av självkörande fordon lär öka möjligheterna för personer med funktionsnedsättningar att ha likvärdiga möjligheter som övriga grupper i samhället att resa enligt den analys som visats i avsnitt 3.9. Bortsett från introduktionen av självkörande fordon behövs inga styrmedel för att nå målet per se. Huruvida det blir möjligt för de funktionsnedsatta att utnyttja möjligheten till ökad mobilitet som självkörande fordon erbjuder beror dock också på kostnaden. Det är i detta avseende som frågor om marknadsdesign för självkörande delade fordonsflottor blir aktuella – monopol på den autonoma taximarknaden må minska resetiden (Bösch, et al., 2018) men kan medföra högre priser per resa/fordonskilometer när monopolbolaget tar ut monopolvinster. Likaså kan frågan om attityder påverka möjligheterna, speciellt om de äldre är obenägna att använda den nya teknologin (Haboucha, et al., 2017; Autotuojat ja -teollisuus ry, Autoalan Keskusliitto ry, 2019). Ser man dock på de skattade kilometerkostnaderna (Fagnant & Kockelman, 2015; Chen, et al., 2016; Bösch, et al., 2018) lär priset inte vara något stort problem.

En liknande analys gäller för den andra punkten om alla medborgare, oavsett ålder, kön, bakgrund eller ekonomi. Det är dock viktigt att marknaden för självkörande fordon designas så att alla kan få tillgång till fordonen, exempelvis genom autonoma taxitjänster eller genom allmänt tillgängliga bilpooler.

En ytterligare aspekt av tillgänglighet är frågan om kollektivtrafikens framtid (avsnitt 3.8). Om självkörande bilar ersätter kollektivtrafik på landsbygden lär dock detta inte påverka tillgänglighet negativt, så länge det finns en autonom taxi tillgängligt. Däremot skulle ett sådant system öka

fordonskilometer avsevärt. På landsbygden där de externa effekterna från transporter är låga (se exempelvis resultaten från VTI:s regeringsuppdrag SAMKOST) spelar detta kanske inte så stor roll. Enligt litteraturen (Bösch, et al., 2018) kommer kollektivtrafik i dess nuvarande form överleva bara i större urbana områden.

5.3. Tillförlitlighet och enkelhet

Målet specificeras som:

- Kollektivtrafikresan upplevs som tillförlitlig, bekväm, enkel att planera, betala, använda och omplanera vid störningar, oavsett var man är i landet.

Litteraturen tyder på att kollektivtrafikförsörjningen kan bli problematisk när helt självkörande fordon kommer in på marknaden (avsnitt 3.8). Däremot är det möjligt att självkörande taxitjänster ökar transporters tillförlitlighet, bekvämlighet, underlättar reseplaneringen för enskilda, kommer med enkla betalösningar och är mindre störningskänsligt i det mån som dessa beror på själva fordonet. Däremot blir hela transportsystemet mer störningskänsligt om självkörande, uppkopplade fordon blir beroende av satellitnavigeringssystem, 5G-mobilnät, kommunikation mellan fordonen osv. Problem med endera delen av dessa kan leda till stora problem för hela mobilitetssystemet, desto större ju högre nivå de självkörande fordonen har nått på SAE-skalan. Dessa aspekter har inte ingått i den litteraturstudie som genomförts (frågan om cybersäkerhet lyfts dock upp i avsnitt 3.12).

5.4. Trygghet

Målet specificeras som:

- Otrygghet som begränsar tillgängligheten ska kontinuerligt minska.

Trygghet kan tolkas på flera olika sätt. I transportsystemet tolkar Trafikverket (2019) trygghet som situationer som att gå från busshållplatsen i mörker eller att befinna sig vid en större bytespunkt en sen kväll.

Utifrån denna tolkning av trygghet kan självkörande fordon öka trygghet i det mån som de exempelvis kan köra en person från dörr till dörr utan behov av att vänta på busshållplatser eller byta transportmedel vid knutpunkter. Detta hör ihop med att kollektivtrafiken blir mindre attraktiv. En diskussion som dock saknas är hur trygga människorna kommer att känna sig i ett samhälle där kontaktpunkterna människor emellan minskar.

En annan källa till otrygghet kan uppstå i delade fordon med flera till varandra okända passagerare men ingen förare. Det är lätt att tänka sig en situation där framförallt kvinnor, barn och rörelsehindrade personer skulle kunna känna sig otrygga p.g.a. medresenärers beteende, exempelvis uppenbart berusade eller drogade personer.

5.5. Klimatpåverkan

Målet specificeras som:

- Utsläppen av växthusgaser från inrikes transporter (exklusive flyg) ska vara minst 70 % lägre 2030 jämfört med 2010.

Det är oklart hur självkörande fordon kommer att påverka klimatmålet eftersom effekten påverkas av många motstridiga effekter som påverkar körsträckan samt på drivmedelsvalet. Skulle fordonsparken elektrifieras samtidigt med övergången till självkörande fordon skulle introduktionen av själva självkörande fordon inte påverka climateffekten eftersom elproduktionen faller under EU:s utsläppshandelssystem (EU ETS), vilket betyder att växthusgasutsläppen från elproduktion är begränsade och prissatta (Konjunkturinstitutet, 2018).

Skulle de självkörande fordonen även fortsättningsvis köras med flytande drivmedel kommer de att ha en klimatpåverkan, se avsnitt 3.5. Om självkörande fossilbränsle drivna fordon minskar trängseln (avsnitt 3.1), blir klimateffekten positiv – om de däremot ökar trängseln lär effekten bli det motsatta.

I det mån som minskat restidsvärde leder till en rekyleffekt och ökad bilkörning (avsnitt 3.2) kommer självkörande fordonen förvärra klimatpåverkan. Å andra sidan kan den minskade lönsamheten i infrastrukturinvesteringar leda till minskad klimatpåverkan givet att infrastrukturbyggande minskar. Då minskar utsläppen 1. I byggstadiet och 2. Ifall ökad trängsel minskar incitamenten att använda bilen och därmed leder till minskat bilkörning.

Självkörande fordon kan ha en negativ klimatpåverkan även p.g.a. tomkörning till parkeringsplatser eller omlokalisering (avsnitt 3.3), samt ifall de leder till ökat urban sprawl (avsnitt 3.4). Ökad efterfrågan på transporter från funktionshindrade, äldre och unga (avsnitt 3.9) leder även det till ökat transportarbete och ökade klimatutsläpp från fossildrivna (och i något mindre utsträckning biodrivmedelsdrivna) bilar.

Avslutningsvis påverkar godstransportbolagens drivmedelsval även klimatfrågan. Med elektrifierade självkörande lastbilar minskar marginalkostnaden för vägtransporter avsevärt, vilket lär öka vägtransporters andel av den totala transportmarknaden. Däremot skulle eldrivna självkörande fordon inte ha någon klimatpåverkan enligt ovan. Eftersom bortfallet av förarkostnaden förbättrar vägtransporters konkurrenskraft gentemot järnväg och sjöfart oberoende av drivmedelsval skulle dock utsläppen från godstransporter öka avsevärt om dessa även fortsättningsvis körs på bensin och diesel.

Beroende på drivmedelsval måste således beskattning av transporter ses över. Elbilar påverkar inte klimateffekten och därmed behövs inga ytterligare klimatstyrmedel utöver EU ETS. Framförallt för autonoma taxi och godstransporter som körs med fossila bränslen kan dock klimatpåverkan vara stor p.g.a. att dessa transportsätt blir så mycket mer attraktiva när förarkostnaden minskar. Att höja koldioxidskatten bara för yrkestrafik lär dock vara svårt, således bör andra möjliga på marginalen påverkande styrmedel studeras ifall elektrifiering inte slår igenom, vilka höjer kostnaden för dessa trafikslag.

5.6. Biologisk mångfald

Målet specificeras som:

- Den biologiska mångfalden har stärkts genom att: djur kan röra sig friare tvärs statliga vägar och järnvägar, färre stora däggdjur dödas i trafiken, artrika miljöer stärker den gröna infrastrukturen och utbredningen av invasiva arter har minskat.

Vilken påverkan de självkörande fordonen har på biologisk mångfald beror starkt på hur fordonen programmeras. Om de programmeras för att undvika kollisioner kan möjligheter för djur att korsa vägar öka. Detta skulle dock ha samma effekt som den i avsnitt 3.6 diskuterade möjligheten att självkörande fordon väjer för människor – detta skulle sakta ner trafiken och leda till exempelvis negativa restidseffekter, ökad trängsel samt ökade klimat- och luftutsläpp. Detta i sin tur saktar ner upptaget av självkörande fordon.

Påverkan på biologisk mångfald är inte en effekt som på ett enkelt sätt kan åtgärdas med ekonomiska styrmedel. Således kvarstår existerande arbete med tunnlar och broar för vilt. Däremot skulle de självkörande fordonens aversion mot kollisioner minska antalet stora däggdjur som dödas i trafiken.

5.7. Luftkvalitet

Målet specificeras som:

- Utsläppen från transportsektorn har minskat så att miljökvalitetsmålet Frisk luft för NO₂ i urban bakgrund och PM₁₀ i gaturum uppnås.

De självkörande fordonens påverkan på kväveoxidutsläpp liknar de effekter som de har på klimatet i fallet där fordonen även fortsättningsvis körs på fossila drivmedel, se avsnitt 5.5, och beror framförallt på hur de självkörande fordonen påverkar körsträckan i tätorter. Även elfordon orsakar dock luftutsläpp, framförallt från däck och dubbdäck. Effekten är samma som den som uppstår från konventionella bilar – styrmedel för luftutsläpp har diskuterats länge och utredningar om existerande och lämpliga styrmedel upprepas inte här.

5.8. Buller

Målet specificeras som:

- Antalet utsatta för trafikbuller över riktvärdena ska minska med 50 % jämfört med 2015 och ingen ska utsättas för buller på mer än 10 dB över riktvärdena.

Återigen beror de självkörande fordonens påverkan på valet av drivmedel samt hur antalet fordonskilometer, framförallt i tätorter utvecklas. Elbilar är tystare än förbränningsmotordrivna bilar, men vid tillräckligt höga hastigheter tar däckljudet överhand och även elfordon orsakar vägbuller. Effekten beror dock inte på huruvida fordonet är självkörande eller inte.

5.9. Trafiksäkerhet

Målet specificeras som:

- Minst 50 % färre dödas och minst 25 % färre skadas allvarligt i vägtransportsystemet jämfört med 2020.
- Minst 50 % färre dödas i bantrafik jämfört med 2020.

Hur de självkörande fordonen skulle påverka trafiksäkerheten diskuterades i avsnitt 3.6. Effekten är inte helt entydigt, framförallt inte för självkörande fordon på låga SAE-nivåer. I det mån som självkörande fordon i sig minskar trafikolyckor är introduktionen av fordonen i sig en åtgärd.

5.10. Aktivt resande

Målet specificeras som:

- Andelen färdsträcka med gång, cykel eller kollektivtrafik ska vara minst 25 % år 2025.

Givet att de självkörande fordonen minskar den generaliserade och marginella resekostnaden för biltransporter kommer motoriserade transporter att öka och målet om aktivt resande blir svårare att nå. Vilka effekter som detta har på människors hälsa diskuterades i avsnitt 3.7.

Styrmedel för att motverka övergången från icke-motoriserade till motoriserade resors omfattar marginalprissättning som gör bilresor dyrare. Dessa omfattar vägavgifter och trängselskatter samt kilometerskatten.

5.11. Sammanfattning

Självkörande fordonens påverkan på Trafikverkets mål samt förslag på eventuella policyer och/eller styrmedel sammanfattas i tabell 2.

Tabell 2. Sammanfattning av effekter från självkörande fordon på Trafikverkets mål.

Trafikverkets mål	Påverkan från självkörande fordon (+/-)	Styrmedelsbehov
Tillgänglighet i hela landet	+ minskar transportkostnaden - minskar järnvägens och sjöfartens komparativa fördel - påverkan på sysselsättning av förare + minskad förarbrist	<ul style="list-style-type: none"> • Eventuellt ökade subventioner för järnväg och sjöfart. • Arbetsvillkor för transportarbetare. • Reglering av marknadsmakt (monopol / oligopol i autonoma godstransporter).
Tillgänglighet för alla	+ ökade mobilitetsmöjligheter för funktionsnedsatta och alla medborgare oavsett ålder, kön, bakgrund eller ekonomi - underlaget för kollektivtrafik kan minska - ökade fkm	<ul style="list-style-type: none"> • Marknadsdesign för självkörande delade fordonsflottor, reglering av marknadsmakt (monopol / oligopol på den autonoma taximarknaden). • Eventuellt styrmedel för att minska fkm.
Tillförlitlighet och enkelhet	+ tillförlitlighet och bekvämlighet ökar, reseplaneringen blir lättare, enklare betallösningar, mindre störningskänsligt - hela transportsystemet blir mer störningskänsligt	<ul style="list-style-type: none"> • Cybersäkerhet. • Styrmedel för reseplanering, betallösningar.
Trygghet	+ dörr till dörr transporter kan öka tryggheten - Otrygghet i delade fordon	<ul style="list-style-type: none"> • Krav på trygghetsökande åtgärder i delade fordon.
Klimatpåverkan	+/- beror på drivmedelsvalet för självkörande fordon (el/fossila drivmedel)	<ul style="list-style-type: none"> • Om elbilar: inga nya styrmedel behövs. • Om fossildrivna: marginalprissättning så att marginell klimatskada = marginell utsläppsminskning-kostnad. • Eventuellt minskat behov av väginfrastrukturinvesteringar.
Biologisk mångfald	+ färre döda djur i trafiken när självkörande fordon väjer för dessa	---
Luftkvalitet	---	---
Buller	---	---
Trafiksäkerhet	+/- kan förbättra (framförallt på höga SAE-nivåer) eller försämra (på låga SAE-nivåer) trafiksäkerhet	<ul style="list-style-type: none"> • Låga SAE-nivåer: förbud ifall trafiksäkerheten försämras avsevärt. En bedömning mellan nytta och skada ska göras. • Höga SAE-nivåer: inga styrmedel behövs.
Aktivt resande	- motoriserade transporter ökar på bekostnad av icke-motoriserade	<ul style="list-style-type: none"> • Öka marginalkostnaden för motoriserade transporter. • Sedvanliga gång- och cykelbefrämjande åtgärder.

6. Slutsatser

Effekten från självkörande fordon på Trafikverkets (2018) mål är inte entydigt positivt. Den största påverkan lär uppstå ifall självkörande fordon minskar de generaliserade resekostnaderna, vilket kommer att leda till ökat motoriserat resande. Givet att de självkörande fordonen leder till färre trafikolyckor per fordonskilometer har de en positiv effekt på folkhälsan, men ökad modal andel av motoriserade transporter, på bekostnad av gång och cykel försämrar folkhälsan.

Miljöeffekterna från självkörande fordon beror i stor utsträckning, om än inte uteslutande, på andra faktorer, framförallt på huruvida helelektriska fordon ökar i andel i fordonsparken. Påverkan på kollektivtrafik såsom den ser ut idag ser ut att vara mycket negativt, utan att detta nödvändigtvis leder till minskad mobilitet när självkörande taxi tar över marknaden.

Självkörande fordon kommer även att ha effekter utanför Trafikverkets mål. Den största lär vara påverkan på sysselsättningen, framförallt på lågutbildade grupper och invandrare. Samtidigt ökar dock den svenska tillverkningsindustrins konkurrenskraft om transportkostnaderna sjunker.

En jämförelse av rubriker i avsnitt 3 med dem i avsnitt 4 hjälper att identifiera luckor i litteraturen. Den största lär vara påverkan av autonoma fordon på infrastrukturplaneringen. Utöver behovet av att fysiskt anpassa infrastrukturen för autonoma fordon (Faisal, et al., 2019) – när väl autonoma fordon på SAE nivå 5 uppnår en tillräcklig marknadspenetration – kommer förändrade tidsvärden påverka investeringarna. Tidsvärden är i dagsläget ofta den viktigaste positiva komponenten i en lönsamhetskalkyl. När tidsvärdet sjunker minskar antalet potentiella infrastrukturprojekt som är lönsamma.

Detta är dock inte något samhällsekonomiskt problem som måste åtgärdas. Självkörande fordon, framförallt de på nivå 5, minskar i utgångsläget trängseln, restiden och därmed behovet av nya (väg) investeringar. Rekyleffekten samt övrig trafik tillväxt fyller över tid det utrymmet som härmed har skapats.

En annan fråga som måste studeras vidare är vilken påverkan som självkörande fordon, framförallt på nivå 5 har på parkeringsefterfrågan. Hur optimeras parkeringen när tomkörning till parkeringsplatser utanför städer orsakar externa effekter men frigör mark? En optimal prissättning som väger för- och nackdelarna mot varandra måste hittas. Dessutom uppstår frågan om de finansiella effekterna för kommunerna som förlorar en inkomstkälla i parkeringsavgifterna och -böterna.

Referenser

Aarhaug, J. & Olsen, S., 2018. Implications of ride-sourcing and self-driving vehicles on the need for regulation in unscheduled passenger transport. *Research in Transportation Economics*, Volym 69, pp. 573-582.

Alessandrini, A. o.a., 2015. Automated Vehicles and the Rethinking of Mobility and Cities. *Transportation Research Procedia*, Volym 5, pp. 145-160.

Autotuoajat ja -teollisuus ry, Autoalan Keskusliitto ry, 2019. *Suomalaisten autoilu 2019*, u.o.: Autotuoajat ja -teollisuus ry, Autoalan Keskusliitto ry.

Bagloee, S. A., Tavana, M., Asadi, M. & Oliver, T., 2016. Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. *Journal of Modern Transportation*, 24(4), pp. 284-303.

- Bahamonde-Birke, F. J., Kickhöfer, B., Heinrichs, D. & Kuhnimhof, T., 2018. A systemic view on autonomous vehicles. *disP - The Planning Review*, 54(3), pp. 12-25.
- Bansal, P. & Kockelman, K. M., 2018. Are we ready to embrace connected and self-driving vehicles? A case study of Texas. *Transportation*, Volym 45, pp. 641-675.
- Basar, G. & Cetin, M., 2017. Auction-based tolling systems in a connected and automated vehicles environment: Public opinion and implications for toll revenue and capacity utilization. *Transportation Research Part C*, Volym 81, pp. 268-285.
- Berry, I., 2010. *The effects of driving style and vehicle performance on the real-world fuel consumption of U.S. light-duty vehicles*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Brännlund, R. & Kriström, B., 2012. *Miljöekonomi. 2:a red. u.o.:Studentlitteratur*.
- Bullis, K., 2011. *How vehicle automation will cut fuel consumption*, u.o.: MIT Technology Review.
- Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H. & Axhausen, K. W., 2018. Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy*, Volym 64, pp. 76-91.
- Bösch, P. M., Ciari, F. & Axhausen, K. W., 2018. Transport policy optimization with autonomous vehicles. *Transportation Research Record*, pp. 1-10.
- Calvert, S. C., Schakel, W. J. & van Lint, J. W., 2017. Will automated vehicles negatively impact traffic flow. *Journal of Advanced Transportation*.
- Chapin, T. o.a., 2016. *Envisioning Florida's future: transportation and land use in an automated vehicle world*, Tallahassee: Florida Department of Transportation.
- Chen, T. D., Kockelman, K. M. & Hanna, J. P., 2016. Operations of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: Implications of vehicle & charging infrastructure decisions. *Transportation Research Part A*, Volym 94, pp. 243-254.
- Chen, Y., Gonder, J., Young, S. & Wood, E., 2017. Quantifying autonomous vehicles national fuel consumption impacts: A data-rich approach. *Transportation Research Part A*.
- Cohen, S. A. & Hopkins, D., 2019. Autonomous vehicles and the future of urban tourism. *Annals of Tourism Research*, Volym 74, pp. 33-42.
- Crayton, T. J. & Mason Meier, B., 2017. Autonomous vehicles: Developing a public health research agenda to frame the future of transportation policy. *Journal of Transport & Health*, Volym 6, pp. 245-252.
- Dixit, V. V., Chand, S. & Nair, D. J., 2016. Autonomous vehicles. Disengagements, accidents and reaction times. *PLoS ONE*, 11(12).
- Dresner, K. & Stone, P., 2004. Multiagent Traffic Management: A Reservation-Based Intersection Control Mechanism. *The Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, p. 530-537.
- Fagnant, D. J. & Kockelman, K., 2015. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A*, Volym 77, pp. 167-181.
- Fagnant, D. J. & Kockelman, K. M., 2014. The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C*, Volym 40, pp. 1-13.

- Fagnant, D. J. & Kockelman, K. M., 2015. *Dynamic ride-sharing and optimal fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles*. Washington, DC, Paper presented at the 94th annual meeting of the Transportation Research Board.
- Faisal, A., Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M. & Currie, G., 2019. Understanding autonomous vehicles: A systematic literature review on capability, impact, planning and policy. *The Journal of Transport and Land Use*, 12(1), pp. 45-72.
- Fernandes, P. & Nunes, U., 2012. Platooning with IVC enabled autonomous vehicles: Strategies to mitigate communication delays, improve safety and traffic flow. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(1), pp. 91-106.
- Forsstedt, S., 2018. *Tänka efter före*, Stockholm: Expertgruppen för studier i offentlig ekonomi.
- Fraedrich, E., Heinrichs, D., Bahamonde-Birke, F. J. & Cyganski, R., 2018. Autonomous driving, the built environment and policy implications. *Transportation Research Part A*.
- Gössling, S. o.a., 2018. Editorial: Desirable transport futures. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61(B), pp. 301-309.
- Haboucha, C. J., Ishaq, R. & Shiftan, Y., 2017. User preferences regarding autonomous vehicles. *Transportation Research Part C*, Volym 78, pp. 37-49.
- Hansson, L. & Nerhagen, L., 2019. Regulatory measurements in i policy coordinated practices: the case of promoting renewable energy and cleaner transport in Sweden. *Sustainability*.
- Harper, C. D., Hendrickson, C. T., Mangones, S. & Samaras, C., 2016. Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions. *Transportation Research Part C*, Volym 72, pp. 1-9.
- Hartmann, M. & Vortisch, P., 2018. A German passenger car and heavy vehicle stock model: Towards an autonomous vehicle fleet. *Transportation Research Record*, 2672(46), pp. 55-63.
- Hass-Klau, C., 2014. *The Pedestrian and the City*. New York and London: Routledge.
- Heinrichs, D., 2016. Autonomous Driving and Urban Land Use. i: M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner, red. *Autonomous Driving. Technical, Legal and Social Aspects*. Heidelberg: Springer Open, pp. 213-231.
- Iacobucci, R., McLellan, B. & Tezuka, T., 2019. Cost and carbon emissions of shared autonomous electric vehicles in a Virtual Power Pland and Microgrid with renewable energy. *Energy Procedia*, Volym 156, pp. 401-405.
- Klimatpolitiska rådet, 2019. *Klimatpolitiska rådets rapport 2019*, Stockholm: Klimatpolitiska rådet.
- Konjunkturinstitutet, 2017. *Miljö, ekonomi och politik 2017*, Stockholm: Konjunkturinstitutet.
- Konjunkturinstitutet, 2018. *Miljö, ekonomi och politik 2018*, Stockholm: Konjunkturinstitutet.
- Kristoffersson, I. & Pernestål Brenden, A., 2018. *Scenarios for the development of self-driving vechiles in freight transport*. Vienna, Austria, u.n.
- Kristoffersson, I., Pernestål Brenden, A. & Mattsson, L.-G., 2017. *Framtidsscenarioer för självkörande fordon på väg. Samhällseffekter 2030 med utblick mot 2050*, Lnköping: VTI notat 18-2017.

- Krueger, R., Rashidi, T. H. & Rose, J. M., 2016. Preferences for shared autonomous vehicles. *Transportation Research Part C*, Volym 69, pp. 343-355.
- Kröger, L., Kuhnimhof, T. & Trommer, S., 2016. *Modelling the Impact of Automated Driving. Private AV Scenarios for Germany and the US*. Barcelona, European Transport Conference 2016.
- Kröger, L., Kuhnimhof, T. & Trommer, S., 2018. Does context matter? A comparative study modelling autonomous vehicle impact on travel behaviour for Germany and the USA. *Transportation Research Part A*.
- Li, S., Sui, P.-C., Xiao, J. & Chahine, R., 2019. Policy formulation for highly automated vehicles: Emerging importance, research frontiers and insights. *Transportation Research Part A*.
- Martínez-Díaz, M. & Soriguera, F., 2018. Autonomous vehicles: theoretical and practical challenges. *Transportation Research Procedia*, Volym 33, pp. 275-282.
- Masoud, N. & Jayakrishnan, R., 2017. Autonomous or driver-less vehicles: Implementation strategies and operational concerns. *Transportation Research Part E*, Volym 108, pp. 179-194.
- Mazur, C., Offer, G. J., Contestabile, M. & Brandon, N. B., 2018. Comparing the effects of vehicle automation, policy-making and changed user preferences on the uptake of electric cars and emissions from transport. *Sustainability*, 10(676).
- Mersky, A. C. & Samaras, C., 2016. Fuel economy testing of autonomous vehicles. *Transportation Research Part C*, Volym 65, pp. 31-48.
- Meyer, J., Becker, H., Bösch, P. M. & Axhausen, K. W., 2017. Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities?. *Research in Transportation Economics*, Volym 62, pp. 80-91.
- Millard-Ball, A., 2018. Pedestrians, autonomous vehicles, and cities. *Journal of Planning Education and Research*, 38(1), pp. 6-12.
- National Research Council, 2010. *Hidden costs of energy: unpriced consequences of energy production and use*, Washington, DC: National Academies Press.
- Nerhagen, L. & Forsstedt, S., 2016. *Regulating transport. The possible role of regulatory impact assessment in Swedish transport planning*, Stockholm: Paper to be presented at the ITF/OECD round table in Stockholm, 6-7 October 2016.
- Nourinejad, M., Bahrami, S. & Roorda, M. J., 2018. Designing parking facilities for autonomous vehicles. *Transportation Research Part B*, Volym 109, pp. 110-127.
- Ntousakis, I. A., Nikolos, I. K. & Papageorgiou, M., 2014. On microscopic modelling of adaptive cruise control systems. *Transportation Research Procedia*, Volym 6, pp. 111-127.
- Ollila, J., Murto, R. & Suvanto, T., 2013. *Oikeudenmukaista ja älykästä liikennettä. Työryhmän loppuraportti*, Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 37/2013.
- Pernestål, A. & Kristoffersson, I., 2019. Effects of driverless vehicles - Comparing simulations to get a broader picture. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 19(1), pp. 1-7.
- Rizvi, S. o.a., 2017. A threat to vehicular cyber security and the urgency for correction. *Procedia Computer Science*, Volym 114, pp. 100-105.
- Ross, C. & Guhathagurta, S., 2017. Autonomous vehicles and energy impacts: A scenario analysis. *Energy Procedia*, Volym 143, pp. 47-52.

- Sheehan, B., Murphy, F., Mullins, M. & Ryan, C., 2018. Connected and autonomous vehicles: A cyber-risk classification framework. *Transportation Research Part A*.
- Shoup, D., 2005. *High cost of free parking*. Chicago: Planners Press.
- Singleton, P. A., 2019. Discussing the "positive utilities" of autonomous vehicles: will travellers really use their time productively?. *Transport Reviews*, 39(1), pp. 50-65.
- Smolnicki, P. M. & Soltys, J., 2016. Driverless mobility: The impact on metropolitan spatial structures. *Procedia Engineering*, Volym 161, pp. 2184-2190.
- Society of Automotive Engineers International, 2018. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*, u.o.: SAE International J3016_201806.
- Straub, E. R. & Schaefer, K. E., 2018. It takes two to Tango: Automated vehicles and human beings do the dance of driving - Four social considerations for policy. *Transportation Research Part A*.
- Talebpour, A., Mahmassani, H. S. & Elfar, A., 2017. Investigating the effects of reserved lanes for autonomous vehicles on congestion and travel time reliability. *Transportation Research Record*, Volym 2622, pp. 1-12.
- Trafikverket, 2018. *Tillgänglighet i ett hållbart samhälle - Målbild 2030*, Borlänge: Trafikverket 2018:235.
- Trafikverket, 2019. *Digitaliseringens bidrag till Målbild 2030 - tillgänglighet i ett hållbart samhälle*, Borlänge: Trafikverket PM (utkast).
- Wadud, Z., 2017. Fully automated vehicles: A cost of ownership analysis to inform early adoption. *Transportation Research Part A*, Volym 101, pp. 163-176.
- Wadud, Z., MacKenzie, D. & Leiby, P., 2016. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transportation Research Part A*, Volym 86, pp. 1-18.
- van den Berg, V. A. & Verhoef, E. T., 2016. Autonomous cars and dynamic bottleneck congestion. The effects on capacity, value of time and preference heterogeneity. *Transportation Research Part B*, Volym 94, pp. 43-60.
- Zakharenko, R., 2016. Self-Driving Cars Will Change Cities. *Regional Science and Urban Economics*, Volym 61, pp. 26-37.
- Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J. & Zhang, G., 2015. Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach. *Sustainable Cities and Society*, Volym 19, pp. 34-45.
- Zhang, W., Guhathakurta, S. & Khalil, E. B., 2018. The impact of private autonomous vehicles on vehicle ownership and unoccupied VMT generation. *Transportation Research Part C*, Volym 90, pp. 156-165.