

---

# RAPPORT

---

12 601 904

## **Analys- och modellverktyg i en framtid med mer uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon, Utr 2018/39**

Tor Skoglund, Henrik Edwards, Marcus Posada, Linda Ramstedt och Anton Holgersson



RAPPORT

2019-02-14

SWECO SOCIETY AB

Trafikanalys

## Sammanfattning

Föreliggande rapport avser en genomgång av hur Trafikverkets prognos och samhällsekonomiska kalkylsystem behöver utvecklas för att fungera i en framtid med en stor andel uppkopplade, självkörande fordonssystem i transportsystemet. Primärt gäller studien vägfordon men det finns naturligtvis stora möjligheter till automatisering inom andra transportslag som järnväg, sjöfart och flygtrafik. Mycket finns redan i drift inom sjöfart och flyg. Uppdraget är baserat på ett regeringsuppdrag till Trafikanalys att

*Redovisa vilka analys- och modellverktyg som behövs framöver för att analysera och prognosticera utvecklingen av dessa fordon, farkoster och system men också vilka nya krav som ställs på modeller och planeringsverktyg.<sup>1</sup>*

Stora effekter förväntas på persontransportsidan med mycket större möjligheter, lägre kostnader och enkel access till användning av egna eller delade transporter som beställs på nätet av företag som tillhandahåller flottor av självkörande fordon. Med självkörande fordon krävs inte körkort. För de som ändå investerar i egna självkörande fordon kan fordon t ex användas av flera familjemedlemmar för olika ärenden vid olika tidpunkter mellan olika platser. Fordonet kan köra själv mellan olika uppdrag i familjen.

Centralt i personprognosmodellerna är i princip att antalet färdstätt utökas vilket dels måste hanteras rent tekniskt, men också kräver nya observationer av beteenden för att beskriva omfattningen under olika förutsättningar.

Mycket arbete har lagts ner på att studera hur kapaciteten i transportsystemet skulle påverkas. Det finns faktorer som reducerar kapaciteten och faktorer som ökar den. Exempel på reducerande faktorer är säkerhetsaspekter och regelefterlevnad. Ökande faktorer är till exempel snabbare reaktioner vid trafiksignaler och mer följsam körning.

En förväntad effekt är att trafikarbetet ökar på grund av den ökade tillgängligheten och nya transportmöjligheter. Det är naturligtvis ett problem därför att trängseln ökar.

Efter en övergångsperiod när självkörande fordon kommer in i systemet och successivt blir allt fler kommer styrsystemen att utvecklas så att de allt bättre kan utnyttja den potential som finns. Det förutsätter att man kan verifiera att fordonen är uppkopplade och kommunicerar effektivt med varandra och med ledningscentralen. Potentiellt kan kapaciteten då ökas genom att säkerhetsavstånden reduceras för att höja kapaciteten – man litar på att fordonssystemens reaktionstid är kort nog. Vidare kan kapaciteten höjas väsentligt om vi med effektiva algoritmer kan tillse att fordonen samverkar vid flaskhalsar. Det gäller vid körfältsbyten/vävningar vid påfarter, avfarter och vid avsmalningar från multipla körfält till färre.

De förändringar som en framtid med en stor andel uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon ger upphov till i Trafikverkets nuvarande modelluppsättning kan delas in i två kategorier: förändringar i indatabehov och förändringar i modellstrukturerna.

<sup>1</sup> Länk till regeringsuppdraget:  
<https://www.trafa.se/globalassets/styrdokument/regeringsuppdrag/2018/uppdrag-att-analyseraframtidens-utmaningar-inom-transportsystemet.pdf>

En utveckling mot samverkande och automatiserade fordon kommer att ge upphov till beteendeförändringar, kostnadsförändringar och utsläppsförändringar som ställer krav på både uppdateringar av den data som finns tillgänglig idag, likväl som insamling av helt ny data. Värden som kommer att behöva estimeras och uppdateras är till exempel tidsvärden, reskostnader för persontrafik och transportkostnader för godstransporter. Det kommer att behövas data avseende helt nya beteenden och möjligheter, såsom privatbilism för personer som inte innehar körkort.

Modellerna som används av Trafikverket för persontrafik och godstransporter idag, Sampers och Samgods, kommer att behöva anpassas till nya resenärsbeteenden och logistiklösningar. Troligt är att fler färdmedel kommer att behöva inkluderas i färdmedelsvalsstegen i modellerna. En fråga är hur potentiella retur-/parkerings-/mellankund-transporter för uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon, privatägda eller tillgängliga genom en tjänst, ska modelleras. Det skulle kunna vara så att man estimerar vilka andelar av resor med automatiserade fordon som återvänder till basen (=hemmet) för nästa resa, och vilka andelar som väljer en parkering på lämplig närbelägen P-plats. För resor med delade automatiserade fordon kan det bli lämpligt att modellera hur de omdisponeras för att genomföra nästa uppdrag. Det är sannolikt en besvärligare uppgift än de båda ovanstående eftersom det i princip handlar om att lägga upp rutten i tid och rum som är rimliga.

En fråga som är problematisk att hantera med dagens modeller är perception (Olstam, 2019). Vad kan en mänsklig förare kontra ett automatiserat fordon uppfatta? Tidiga självkörande fordon kanske får sämre perception än mänskliga förare. Mer avancerade, uppkopplade och samverkande, fordon kommer potentiellt ha högre perception. Det går delvis att ta hänsyn till idag, men endast genom tilläggsmoduler och script i mikrosimuleringar.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	<b>Beteckningar</b>	<b>3</b>
1.1.1	Akronymer	5
1.2	<b>Genomförande</b>	<b>6</b>
1.3	<b>Avgränsningar</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Framtidsvision</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Osäkerheter</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Sårbarhet</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Trafikverkets nuvarande analys- och modellverktyg</b>	<b>19</b>
5.1	<b>Sampers</b>	<b>19</b>
5.2	<b>Samgods</b>	<b>20</b>
5.3	<b>Samhällsekonomiska kalkylverktyg</b>	<b>20</b>
5.4	<b>Mikro- och mesomodeller</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Kommande indatabehov</b>	<b>22</b>
6.1	<b>Tidsvärden</b>	<b>22</b>
6.2	<b>Reskostnader för persontrafik</b>	<b>23</b>
6.3	<b>Transportkostnader för godstransporter</b>	<b>23</b>
6.4	<b>Transportutbud och -tillgång för personresor</b>	<b>24</b>
6.5	<b>Kapacitet i trafiknätverket</b>	<b>25</b>
6.6	<b>Kapacitet i trafiknätverket: mikrosimuleringsstudier</b>	<b>25</b>
6.6.1	Analys – Trafikflöden och självkörande fordon, Drive Me försökssträcka (Trafikverket, 2018)	26
6.6.2	Research on the Impacts of Connected and Autonomous Vehicles on Traffic flow (Atkins, 2016)	27
6.6.3	Nya effektsamband till följd av utvecklingen av semi-automatiserade fordon (Lind m.fl., 2016)	29
6.6.4	Micro-simulation for automated vehicles (Sukennik, 2018)	30
6.7	<b>Samhällsekonomiska kalkyler</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Kommande modellförändringsbehov</b>	<b>32</b>
7.1	<b>Persontransporter</b>	<b>32</b>
7.1.1	Sampers	32
7.1.2	Aktivitetsbaserade modeller	35
7.2	<b>Godstransporter</b>	<b>35</b>
7.3	<b>Samhällsekonomiska kalkyler</b>	<b>37</b>
7.3.1	Samkalk	39
7.3.2	EVA	41
7.4	<b>Forskningsbehov kring effektsamband</b>	<b>41</b>

---

<b>8</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>42</b>
	<b>Referenser</b>	<b>43</b>
<b>9</b>	<b>Bilaga: Exempel på ruttgenereringsmodell för service- och distributionstransporter</b>	<b>46</b>
9.1	Konstruktion av ambitiös modell för den lätta yrkestrafiken	46
9.2	Calgarymodellen för distributions- och servicetransporter (delmodell 1)	46



## 1 Inledning

När man blickar framåt inom området uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon ser man ett antal möjligheter för utveckling på kort till medellång sikt avseende såväl teknik som lagstiftning och beteendeförändringar. Närstående framtidsscenario inkluderar:

- 1. Highway pilot.** Automatisk körning på utvalda vägar med en begränsad interaktion mellan olika trafikantgrupper, exempelvis motorvägar, motortrafikleder och 2+1-vägar.
- 2. Automatisk parkering.** Redan idag finns bilar som på egen hand kan manövrera in i en parkeringsplats identifierad av föraren. Den funktionen kommer sannolikt att införas i större skala, och med mer avancerad teknik kan fordonet möjligen på egen hand hitta en parkeringsplats att parkera i, till exempel inuti ett P-hus.
- 3. Last/first mile.** Med last/first mile avses uppgiften att utföra anslutningsresor mellan hubbar i transportnätverken och slutdestinationer respektive startpunkter. Huvudsakligen avser det personresor i mer glest bebyggda områden där avstånden är förhållandevis stora till attraktiva kollektivtrafikmöjligheter, men det finns även exempel på urbana så kallade matarsystem. Lösningarna kan vara allt från "enkla" hyrcykelsystem till mer avancerade system med självkörande, mindre bussar i slingor.
- 4. Automatisk kolonnkörning.** Automatiserad körning av lastbilar i konvoj med korta mellanrum för att spara på såväl förarkostnader som bränsle p g a minskat luftmotstånd är något som transportindustrin ser en stor potential i. En fråga att studera vidare är eventuella risker vid omkörning av lastbilskonvojer.
- 5. Automatiska kollektivtrafiksystem.** Redan idag finns automatiska spårbundna kollektivtrafiksystem, och tester pågår med självkörande bussar i verklig trafik. Det kan göras i kända trafikmiljöer som utrustas med sensorer, lidar ("laserradar"), kameror och kommunikationsutrustning som stöd för fordonsframförandet.

Mer visionära framtidsutsikter avseende helt automatiserade, uppkopplade, och samverkande transporter då fordonet inte ställer krav på mänsklig inblandning för framförandet inkluderar:

- Privatresor med egna eller gemensamma fordon mellan godtyckliga punkter utan krav på behörig förare i fordonet
- Privatresor med fordon som också agerar distributionsfordon när de inte används till persontransport
- Automatiserad och anropsstyrd kollektivtrafik
- Helt automatiserade logistik- och distributionskedjor
- Ett trafiksystem där trafiksignaler är överflödiga utom för oskyddade trafikanter, då alla fordon är automatiserade och optimalt samordnade

Den mer visionära bilden med fullt automatiserade, uppkopplade och samverkande fordon, farkoster och system är det dock få som tror kommer att inträffa inom en snar framtid. Skiftet till ett högt automatiserat transportsystem kommer inte ske ögonblickligen

utan i steg över tid. Under denna övergångstid måste trafikmodeller beakta andelen av de i systemets ingående delar som automatiserats och hur dessa andelsförändringar kan påverka till exempel hastighetsbegränsningar, avstånd mellan bilar, framkomlighet, kapacitet, och så vidare.

För att modellerna som är i bruk idag för analys, planering, och styrning av trafiksystemet ska kunna hantera en framtid med en betydande andel automatiserade, uppkopplade och samverkande fordon är det i huvudsak effektsamband och val av transportlösningar som behöver uppdateras. Exempel på sådana förändringar, för person- och godstransporter samt infrastruktur, är:

#### **Persontransporter**

1. kapacitetsaspekter med säkerhetsavstånd med mera
2. jämnare, energisnålare körförlopp med mindre köbildning, p g a inbördes samverkan mellan fordon och mellan fordon och infrastruktur
3. restidspåverkan
4. tillgänglighet kollektivtrafik (anslutningstider, väntetider, bytestider, restider)
5. reskostnader för olika alternativ
6. miljöeffekter för olika alternativ
7. förändrat parkeringsbeteende

#### **Godstransporter**

1. transportkostnader för olika alternativ där logistikuppläggen kan förändras radikalt, särskilt för vägtransporter om förarrestriktioner avseende tillåtna körtider m m blir ovidkommande
2. transporttider för olika alternativ
3. miljöeffekter för olika alternativ
4. avvägning vägtransporter kontra järnväg/sjöfart
5. kapacitetsaspekter (som för persontrafik)

#### **Infrastruktur**

1. inverkan på infrastruktur (smalare körfält => kraftigare spårbildning, slitage)
2. krav på mer laddstationer, elvägar med mera
3. krav på kommunikationsutrustning och sensorer i större uträkning än idag
4. förändring, alternativt avskaffande, av signalsystem och skyltning

Det finns stora behov av datainsamling för att estimeras automatiseringens effekter på storheterna av intresse. Datainsamlingen bör kunna underlättas, i förhållande till dagens situation, i takt med att fler fordon blir uppkopplade. Efter anonymisering bör det finnas mycket data för att estimeras restider, ruttval, flöden, med mera. Även i sammanhang med en relativt liten andel helt, eller delvis, automatiserade och uppkopplade fordon torde det potentiellt finnas möjlighet att med hjälp av anonymiserade data estimeras effekter.

Vi förväntar oss att modellerna behöver uppdateras med avseende på



**Effektsamband** enligt punktlisorna ovan.

**Förändrade kostnader** för befintliga och nya sätt att lösa transportuppgifterna. Kolonnkörning med lastbilar förväntas reducera transportörens kostnader och minska den specifika miljöbelastningen. Potentiellt kan det dock attrahera transportefterfrågan som tidigare gick på järnväg vilket kan leda till ökad miljöbelastning. Helt automatisk körning innebär att krav på körkort inte längre är aktuellt. Det öppnar upp för en ökad användning av personbilar även för ungdomar och vuxna utan körkort. För exempelvis familjer med ungdomar som ska delta i fritidsaktiviteter på olika håll öppnar det ju upp möjligheter för säkra, enkelriktade transporter utan många tur-och-retur-baserade hämta-lämna-transporter utförda av föräldrar.

**I efterfrågemodeller** kan det bli aktuellt att införa fler färdssätt för att bättre avspegla det utbud av transportmöjligheter som erbjuds. Åtminstone under en övergångsperiod kommer det att finnas möjlighet att äga (leasa) och köra en egen bil, eller att anropa ett tillgängligt automatiskt fordon. Då finns anledning att anta att det blir aktuellt att modellera detta som två färdssätt med avseende på tillgänglighet och kostnader (inte minst för parkering). Kollektivtrafiken förväntas kunna förbättras/effektiviseras betydligt med fler anropsstyrda linjer. Det möjliggör en ökad tillgänglighet i många i situationer med en relativt låg efterfrågan. Kollektivtrafiken kan under sådana omständigheter utföras med mindre fordonstyper. Beroende på behoven av ombord-personal för biljettvisering, information och service, kan personalkostnaderna i kollektivtrafiken kraftigt minskas med automatiserade fordon.

Resterande del av denna rapport är upplagd som följer. I kapitel 2 Framtidsvision diskuteras en framtid med en betydande andel uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon. I kapitel 3 diskuteras osäkerheter kopplade till införandet av automatiska, uppkopplade och samverkande fordon i trafikmiljön. Kapitel 4 diskuterar sårbarhet kopplat till uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon. I kapitel 5 presenteras på en övergripande nivå den uppsättning prognos-, analys- och kalkylverktyg Trafikverket har till sitt förfogande i dagsläget. I kapitel 6 respektive 7 presenteras de behov av nya indata och modellförändringar som vi ser sannolikt kommer att krävas.

## 1.1 Beteckningar

Det amerikanska standardiseringsorganet SAE International, tidigare Society of Automotive Engineers, publicerar den idag mest refererade kategoriseringen av automatisering av framförande av landgående fordon, SAE J3016\_201806 (SAE International, 2018), illustrerad i Figur 1.1. Det är också den kategoriseringen vi kommer att använda oss av i den här rapporten, i de fall det är relevant att beskriva olika nivåer av automation. Observera att SAE klassificeringen endast beskriver automation, varken uppkoppling eller samverkan ingår i definitionerna. För en svensk översättning av SAE klassificeringen se delbetänkandet från Utredningen om självkörande fordon på väg (SOU, 2016:28).

Noteras kan även att SAE klassificeringen inte tar hänsyn till inhomogeniteter i "förar"-beteende mellan fordon på samma nivå. Vidare beaktar inte SAE klassificeringen inte vilka miljöer fordonet klarar av att vara självkörande (så kallad *operational design domain*, ODD) mer än att skillnaden mellan nivå 4 och 5 är att nivå 5 ska klara alla typer av ODD, medan nivå 4 täcker in såväl fall där ODD är mycket begränsad till att nästan gälla alla trafikmiljöer, trafiksituationer och kontexter. Detta gör att SAE klassificeringen inte alltid är praktiskt användbar ur en modelleringssynpunkt, utan andra klassificeringar kan behövas, som de konceptuella förarlogikerna som används i CoEXist-projektet (Johansson, 2018).

Fordon på SAE nivå 0 saknar automation, även om de kan ha system som hjälper föraren, såsom kollisionvarningssystem och farthållare. På nivå SAE 1–2 finns partiell automation och fordonet kan assistera föraren genom att styra och bromsa/accelerera. Föraren måste dock alltid ha full kontroll. Fordon på nivå 3 har villkorlig automation och kan framföras utan intervention från föraren under vissa förutsättningar. På nivåerna 4–5 uppnås full automation, och fordonet kan framföras helt utan intervention från föraren, med skillnaden att fordon på nivå 4 kan ha vissa begränsningar i vilka typer av trafik de klarar av. På nivå 5 kan fordonet hantera alla trafiksituationer och miljöer som en mänsklig förare klarar av.

Det finns ett antal begrepp som används, ofta utan närmare definition, om fordon som i någon kapacitet kan framföras utan att en förare ingriper. Exempel är *autonoma*, *automatiserade* och *självkörande*. I linje med rekommendationer från SAE och diskussionen som förs i Trafikverket (2018b) väljer vi här att undvika ordet *autonoma*, till fördel för *automatiserade*. Där det är lämpligt och underlättar förståelsen använder vi även beteckningen *självkörande*. Vi noterar även att alla tre varianterna återfinns i ITS-terminologin överenskommen av Trafikverket och dess nordiska motsvarigheter (Trafikverket, Statens vegvesen, Liikennevirasto, 2018).



## SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION

	SAE LEVEL 0	SAE LEVEL 1	SAE LEVEL 2	SAE LEVEL 3	SAE LEVEL 4	SAE LEVEL 5
What does the human in the driver's seat have to do?	You <b>are</b> driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You <b>are not</b> driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver’s seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
What do these features do?	These are driver support features			These are automated driving features		
	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> <li>• automatic emergency braking</li> <li>• blind spot warning</li> <li>• lane departure warning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lane centering OR</li> <li>• adaptive cruise control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lane centering AND</li> <li>• adaptive cruise control at the same time</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• traffic jam chauffeur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• local driverless taxi</li> <li>• pedals/steering wheel may or may not be installed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions</li> </ul>

Figur 1.1 Visualisering av standard som definierar de sex nivåerna av automatisering avseende framförande av landgående fordon. Källa (SAE International, 2018).

*Uppkopplade fordon* (oavsett grad av automatisering) är anslutna till internet, andra fordon (så kallad *vehicle-to-vehicle* kommunikation, V2V), till infrastruktur (*vehicle-to-infrastructure* kommunikation, V2I/I2V) eller till något annat (*vehicle-to-everything*, V2X).

*Samverkande fordon* (oavsett grad av automatisering) är per definition uppkopplade, men i det här begreppet ingår även att föraren eller fordonet agerar på informationen som tillhandahålls av de övriga fordonen eller infrastrukturen. För ett exempel på en tillämpning, se Grumert (2018).

Nedan återfinns förkortningar och ofta använda begrepp i texter och rapporter inom området automatiska, uppkopplade och samverkande fordon. Förklaringarna är på engelska, det ger vanligen en naturlig koppling till varje ords första bokstav i de fullt utskrivna företeelserna.

### 1.1.1 Akronymmer

AB	activity based
ADS	automated driving system
AV	automated vehicle

CAV	connected and automated vehicle
CV	connected vehicle
DA	drive alone
DAPP	Dynamic Adaptive Pathways Planning
DOE	Department of Energy
DOT	Department of transportation
DSRC	dedicated short-range communications
DTA	dynamic traffic assignment
FHWA	Federal Highway Administration
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards
GHG	greenhouse gas
GPS	global positioning system
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
lidar	light detection and ranging
MaaS	Mobility-as-a-Service
MPO	metropolitan planning organization
NCSL	National Conference of State Legislatures
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
OEM	original equipment manufacturer
PMT	passenger mile traveled
PNR	park-and-ride
RDM	robust decision making
SAV	shared autonomous vehicle
SOV	single-occupant vehicle
SR	shared ride
TAZ	traffic analysis zone
TNC	transportation network company
UE	user equilibrium
U.S. DOT	U.S. Department of Transportation
V2I	vehicle-to-infrastructure
V2V	vehicle-to-vehicle
V2X	vehicle-to-everything
VMT	vehicle mile traveled
VOT	value of travel time
ZOV	zero-occupant vehicle

## 1.2 Genomförande

Rapporten är sammanställd av en projektgrupp hos Sweco AB bestående av docent Henrik Edwards (tekn.dr.), Tor Skoglund (tekn.dr.), Marcus Posada (tekn.lic.), Linda Ramstedt (tekn.dr.) och Anton Holgersson (civ.ing.). Arbetet är utfört under november 2018 till mars 2019. Projektets fokus och avgränsningar har utgått från ett

regeringsuppdrag till Trafikanalys<sup>2</sup> och kommunikation mellan projektgruppen och Trafikanalys.

Det scenario, den analys och de förslag som presenteras i föreliggande rapport är baserade på projektgruppens erfarenhet och kunskap, relevant vetenskaplig litteratur, svenska och internationella myndighetsrapporter samt intervjuer genomförda med tjänstemän på Trafikverket (Eriksson, Sachse, Sahlgren, & Hill, 2019).

### 1.3 Avgränsningar

Detta projekts syfte är att belysa utvecklingsområden och ge en överblick över hur Trafikverkets modeller kan/behöver vidareutvecklas inför en framtid med uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon. Däremot ingår det ej att lämna förslag på lösningar eller specifika modellförändringar.

Det finns många legala aspekter att hantera i takt med den tekniska utvecklingen. När är resenären/föraren ansvarig för ett (partiellt) automatiserat fordon, när är det istället leverantören av fordonet/systemet som är ansvarig, vad gäller avseende anonymiserad datainsamling, med mera. Dessa aspekter ligger utanför den här rapportens ramar.

Effekter på till exempel jämställdhet, folkhälsa och rättvis resursfördelning som eventuellt orsakas av en automatisering av fordonsflottan studeras inte inom ramen för den här rapporten. Se Trafikanalys (2017) och Milakis m.fl. (2017) för de aspekterna.

Tyngdpunkten i arbetet ligger på vägtrafiken, varför sjöfart och flyg i stort lämnas utanför rapporten. Teknikutvecklingen mot utökad uppkoppling och automatisering kommer att innebära förändringar och svårigheter även för dessa trafikslag, såsom certifiering och standardisering, men det tas ej upp här.

Standardisering är givetvis en central fråga för både vägtrafik och spårbunden trafik, som måste hanteras på ett effektivt sätt av EU och resten av världen inklusive alla nationella myndigheter. För arbetet med att beskriva inverkan på modellerna avgränsar vi bort dessa frågor.

Vad gäller modellutveckling skulle dagens modeller vinna på att "komma ikapp", så att redan påtalade brister i modellerna åtgärdades (Eriksson, Sachse, Sahlgren, & Hill, 2019). Dessa brister tas ej upp här.

---

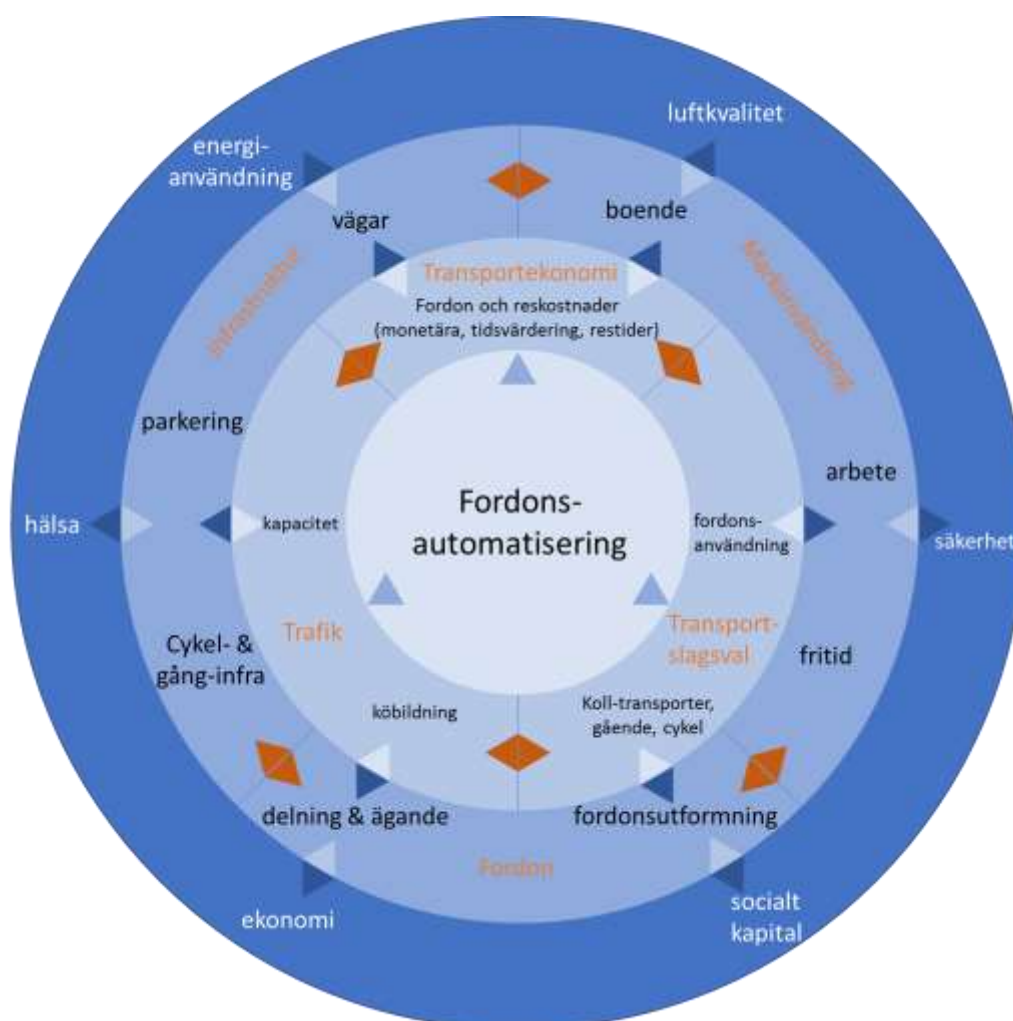
<sup>2</sup> Länk till regeringsuppdraget:

<https://www.trafa.se/globalassets/styrdokument/regeringsuppdrag/2018/uppdrag-att-analyseraframtidens-utmaningar-inom-transportssystemet.pdf>

## 2 Framtidsvision

Innovationer och automatisering av arbetsuppgifter har i alla tider påverkat hur människor och samhällen förändras. Ofta ligger förändringarna bortom enbart de omedelbara och direkta effekterna (Rogers, 2003). Transportsystemets viktiga och centrala uppgift i samhällen gör att förändringar i transportsystemet tangerar en stor mängd aktiviteter, förhållanden och områden. Milakis et al (2017) diskuterar vilka policy- och samhällseffekter som automatiska fordon kan komma att ge upphov till, baserat på en omfattande litteraturstudie. Effekterna delas in upp i tre nivåer: första ordningens effekter (transportekonomi, köbildning, fordonsanvändning), andra ordningens effekter (markanvändning, infrastruktur), och tredje ordningens effekter (energianvändning, luftkvalitet, social rättvisa). En konceptuell skiss över de tre effektnivåerna och hur de knyter an till varandra visas i

Figur 2.1.



Figur 2.1 Relationer mellan fordonsautomatisering, transportsystem och samhälle (anpassad efter Milakis et al. (2017)).

De flesta av första ordningens effekter (den inre cirkeln i Figur 2.1) förväntas vara positiva ur ett samhällsligt perspektiv enligt Milakis m fl (2017). Ett exempel är en kraftig ökning av kapacitet både i korsningar och på motorvägar. Hur stor kapacitetsökningen blir beror givetvis på andelen automatiska och samverkande fordon i fordonsflottan. För att uppnå motorvägskapacitetsförbättringar över 10% behöver andelen automatiska och samverkande fordon vara över 40%. Vid en helt automatisk och samverkande fordonsflotta kan vägskapaciteten i teorin dubblas (Milakis m fl, 2017, s. 18). En högre andel automatiska och samverkande fordon anses också kunna leda till minskad köbildning och sänka restider. Delvis kan de här effekterna motverkas av en ökad efterfrågan till följd av att teknikutvecklingen gör bilismen tillgänglig för grupper i samhället som idag inte kör i lika hög utsträckning, då varken körkort, eller ens kapacitet att framföra ett fordon, kommer att krävas. Framtida analys- och prognosmodeller behöver därför kunna hantera förändrade värden för kapaciteter, efterfrågan och restider. Även

tidsvärden, komfort och därför transportslagsval kan komma att påverkas av teknikutvecklingen.

Mer långtgående effekter av andra och tredje ordningen är osäkrare, och beror i allmänhet på samhällets ekonomiska utveckling och i synnerhet på vilka affärsmodeller för bilinnehav som blir stora. Till exempel skulle en framtid där privat ägande av bil ersättas med delade automatiska fordon innebära en mindre total fordonsflotta, medan ett scenario där automatiska fordon ersätter kollektivtrafik både innebär en större fordonsflotta och fler fordon i trafiken. Automatiseringens effekter på bilinnehav är en framtida forskningsinriktning som Milakis m.fl. (2017) pekar på som väldigt viktig för att kunna estimeras teknikutvecklingens långsiktiga effekter. En utveckling då fordon är kapabla att parkera sig själva skulle troligtvis innebära ett skifte i markanvändning, då parkeringsytor i större utsträckning kan förläggas till städernas periferier. Andra osäkra aspekter är energianvändande och luftföroreningar. I ett framtida scenario med en stor marknadsandel batteridrivna elektriska fordon kan energiåtgången minska avsevärt, men det är osäkert i vilken utsträckning en ökad efterfrågan till följd av automatisering motverkar den minskningen (Milakis m.fl., 2017, s. 6). Enligt uppgift från Recharge<sup>3</sup> ligger elbilars verkliga energiförbrukning år 2018 i intervallet 14 – 21 kWh per 100 km. En modern dieselbil med motsvarande prestanda förbrukar c:a 5 liter dieselolja per 100 km vilket motsvarar en energiförbrukning på  $5 * 9.8 = 49$  kWh. Laddhybridens verkliga förbrukning ligger enligt Recharge i intervallet 4.0 – 6.8 l/100 km, och i det övre intervallet innebär det en energiförbrukning på  $6.8 * 8.9 = 60.5$  kWh. Bensinbilar med motsvarande prestanda har normalt en högre förbrukning. EU:s utsläppsmål för nya personbilar låg 2015 på 130 g/CO<sub>2</sub> per km vilket motsvarar 5.6 L bensin/100 km eller 50 kWh per 100 km. Det bör alltså vara fullt möjligt att energibehovet för en ren elfordonsflotta i framtiden kan reduceras med 60 – 80 %. Ett förbehåll gäller tillverkningen av de batterier som krävs för elbilar, som med dagens teknik är mycket energikrävande.

Hur stora synergieffekterna blir när det gäller reduktioner av växthusgasutsläpp blir som följd av en i större utsträckning elektrisk, automatisk och samverkande fordonsflotta är fortfarande osäkert.

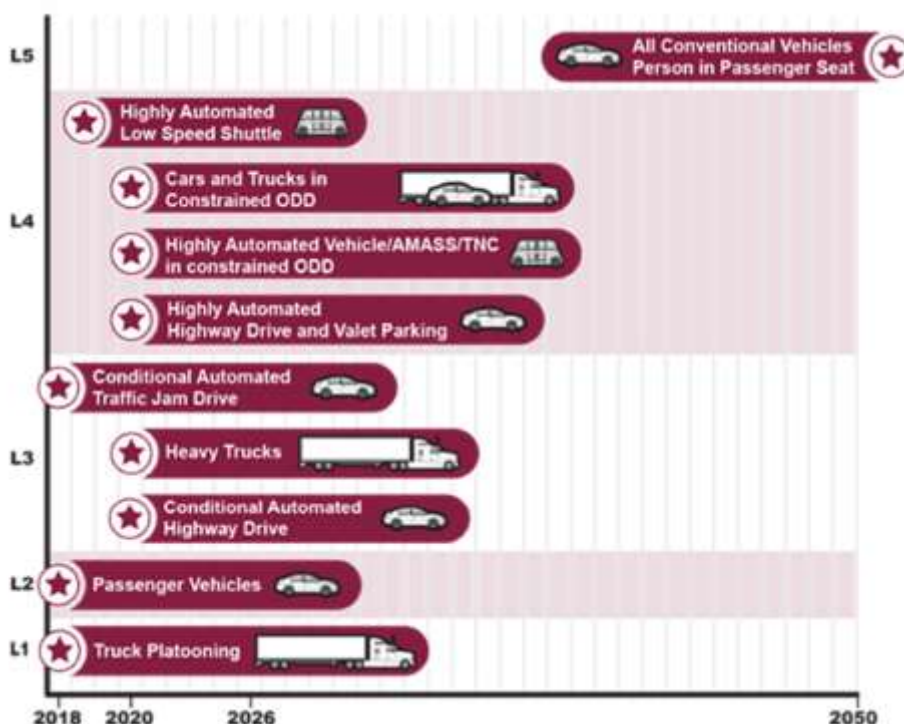
Många av de av förändringsområden som Milakis m.fl. (2017) pekat på kan hanteras inom ramen för dagens modellstrukturer. Det är dock oklart i vilken utsträckning tidsvärden, utsläpp, färdmedelsval, med mera, kräver kalibrering för att resultaten ska fortsätta vara relevanta. Tidsperspektiven för hur snabbt dessa effekter sker på ett systempåverkande sätt är inte heller tydliggjort. Det är därför relevant att utreda om framtida modellering av transportsystem ska ta större höjd för förändringstemi.

En omfattande dokumentation med beskrivningar av en framtid med en allt större andel uppkopplade, automatiska fordon har tagits fram i USA av NCHRP (National Cooperative Highway Research Program), se åtta referenser daterade 2018 till detta

<sup>3</sup> <https://www.mestmotor.se/recharge/artiklar/nyheter/20170320/sa-mycket-drar-elbilarna-och-laddhybriderna-i-verkligheten/>



arbete utfört i USA. Författarna är dels Johanna Zmud med flera, dels Tammy Trimble med flera. Som ett led i det arbetet har en uppskattning av den förväntade introduktionen av automatiserade fordon tagits fram, se Trimble m.fl. (2018e). Även andra tidslinjer för den kommande fordonsutvecklingen har tagits fram av olika aktörer, såväl akademiker som fordonstillverkare, med varierande grad av optimism. Generellt är det svårt att förutse när olika steg i en utveckling mot en framtid med en fullt uppkopplad, samverkande och automatiserad fordonsflotta kommer att ske, men några slutsatser kan ändå dras.



Figur 2.2 Förväntad introduktion av automatiserade uppkopplade fordon enligt Trimble m.fl. (2018e).

Det är troligt att utvecklingen kommer att vara icke-linjär, med vissa förändringar som sker i närtid, men där en helt automatisk och samverkande fordonsflotta ligger långt fram. Steg som kommer att ske i närtid är kolonnkörning för lastbilar, automatiska bussar i linjetrafik och en snabb utökning av personbilars kapacitet till förarassistans och villkorlig automation. Det kommer sannolikt att förekomma en successivt ökande andel fordon i bilparken över tid, från dagens fåtal bilar i utvecklings- och testmiljöer till att bli allt fler. Vidare kommer de att finnas i olika versioner med olika grader av förarassistans/automatisering. Olika steg i den utvecklingen ställer olika krav på förändringar i dagens prognos- och analysverktyg. Tidsperspektiven för hur snabbt utvecklingen ger upphov till effekter på ett systempåverkande sätt är inte heller tydliggjort. Vissa anser ett automatiserade fordon skulle kunna få stor betydelse redan om 10–20 år (exempelvis

Reforminstitutet (Fölster, 2019)), medan andra (med betydande insikter) bedömer att de kan utgöra merparten av fordonsflottan om 50 år (Krafft, 2019).

Vissa förändringar av trafiksystemet har redan börjat ske. Ett sådant exempel är Barkarbystaden i Järfälla kommun, där ett pilotprojekt med automatiska minibussar, vardera med plats för tolv personer, pågår. Det är första gången automatiska bussar går i reguljär linjetrafik i Europa. Lägre fram (2025) ser kommunen en utveckling där Barkarbystadens kollektivtrafik helt består av mindre automatiserade anropsstyrda fordon som matar resenärer till tunnelbanan (Järfälla kommun, 2018). Ett annat exempel, med godstransporter, är den försöksverksamhet som Einride har sökt tillstånd för i Jönköping, för automatiserade, elektrifierade och fjärrstyrda lastbilar (Einride, 2019). Samma företag utvecklar även lastbilar som klarar av att köra på skogsvägar, vilket utvidgar den automatiserade teknikens tillämpningar för gods bortom kolonnkörning på motorvägar.

Kollektivtrafiken kommer att påverkas av utvecklingen mot ett mer uppkopplat, samverkande och automatiserat trafiksystem. Hur kollektivtrafiksystemet kommer att te sig i en sådan utveckling är dock oklart. Ett ersättande av busslinjer med mindre, automatiserade, anropsstyrda fordon ökar kollektivtrafikens service-nivå och flexibilitet samtidigt som kostnaderna för operatören kan sänkas när förarkostnaderna tas ur ekvationen. Det skulle innebära att efterfrågan på linjebunden kollektivtrafik sjunker när delade automatiserade fordon tar marknadsandelar. Stomlinjer med hög kapacitet kommer dock fortfarande behövas, även om anropsstyrd områdestrafik kan komplettera (ITF, 2014; TRB, 2017). Affärsmodeller med delade automatiserade fordon eller anropsstyrd kollektivtrafik riskerar även att flytta över resenärer från gång och cykel på kortare sträckor. Det är dock fortfarande oklart hur resenärerna värderar hälsoaspekterna knutna till gång och cykel kontra komforten i automatiserade fordon.

Anropsstyrd kollektivtrafik med delade automatiserade fordon för med sig samma servicenivåsänkande aspekter som ordinarie kollektivtrafik – fordonet delas med andra resenärer. Delade fordons restid kommer att förlängas med varje ytterligare på- och avstigning, speciellt om resenärerna är äldre, har funktionsnedsättningar eller är barn. Personalbehovet innebär att tjänster som sjukresor, färdtjänst och skolresor inte kommer att kunna ersättas av automatiserade fordon, såvida fordonen inte har personal ombord, vilket negerar den största ekonomiska fördelen för operatören.

En fordonsflotta med uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon skapar nya, eller förändrar existerande, tekniska problem, och möjligheter, när det gäller trafikstyrning. Framförallt gäller det optimal ruttplanering och schemaläggning (routing and scheduling) samt tillträdeskontroll (admission controll) (Lam, Leung, & Chu, 2016). Relevant i sammanhanget är även att styra fordonsflottan så att den anpassar sig till den ordinarie, ofta tidtabellsbundna, kollektivtrafiken (se Posada (2018)).

Såväl Trivector (2016) som Gruel och Stanford (2016) påpekar behovet av att det allmänna agerar proaktivt för att styra kollektivtrafikens utveckling mot ett tidigt tillvaratagande av den tekniska utvecklingens fördelar. Ett steg i den riktningen är lagen om försöksverksamhet för självkörande fordon på allmän väg som trädde i kraft den 1 juli 2017. Tre av de fem tillstånden för försöksverksamhet som lämnats till dags dato (mars

12(51)

RAPPORT  
2019-02-14  
RAPPORT

2019) gäller kollektivtrafik och delade fordon. Om inte kollektivtrafiken går före, kan framtiden innebära att automatiserade fordon framförallt ses som en utveckling av privatbilismen, med de potentiellt stora negativa samhällsliga effekterna det skulle medföra.

Allt detta rymms i princip inom ett antal samspelande trender enligt Trafikverket (Johansson, 2018), nämligen,

- Automatisering
- Elektrifiering
- Delningsekonomi
- Uppkopplade system

Synergistiska effekter kan finnas mellan de olika fenomenen som kan komma att stärka automatiseringens positiva effekter. Trivektor (2016) menar att ökad bildelning (ett fenomen många kopplar till kommande automatisering av fordonsflottan) leder till ökad elektrifiering av den samlade fordonsflottan då elbilar har högre investeringskostnader och lägre marginalkostnader jämfört med förbränningsmotorutrustade bilar. Det finns dock faktorer (teknikutveckling och skalekonomi) som talar för minskade investeringskostnader i framtiden, framförallt på batterisidan. Milakis m.fl. (2017) påpekar också potentialen i synergistiska effekter, men konstaterar att ytterligare forskning behövs för att kunna skatta deras storlek. Sådan forskning är viktig för att kunna skatta både de kort- och långsiktiga effekterna av automatisering på energibehov och utsläpp.

De senaste årtiondena har trafikprognosmodeller i stort byggt på implicita och explicita antaganden om att trafiksystemet, med utbud, efterfrågan och fordonsslag, förändras endast marginellt från år till år. Ett nuläge har beskrivits genom antingen observerade eller fiktiva val, och framtiden har beskrivits som nutiden plus en tillväxtfaktor. Historiska data har gjort det möjligt att kalibrera och validera dessa modeller. Det har länge varit rimliga antaganden, då fordonsslagen har varit desamma, liksom infrastrukturen och våra beteenden och val i trafiken (i grova drag). En fråga vi ställer oss inför en framtid med allt fler uppkopplade, samverkande och automatiska fordon är huruvida de här antagandena fortfarande är giltiga.

I vilken utsträckning är dagens modeller användbara för att beskriva framtidens trafiksystem? Behöver nya indata tas fram? Behöver modellernas struktur förändras, eller behöver helt nya modeller tas fram? Med utgångspunkt i Trafikverkets nuvarande modeller, beskrivna i kapitel 5, och den vision om en framtid med uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon som presenterats här, diskuteras de här frågeställningarna i kapitel 6-7.

Zmud m.fl. (2018a) för fram att en struktur för prognoser av samverkande automatiska fordon innehåller fem delar:

- Data,
- Planeringskontext,

- Modellering,
- Tidslinje för automatiska fordon,
- Kommunikation av osäkerheter.

De stora osäkerheterna, gällande framförallt data och utvecklingens tempo, och hur de påverkar planeringskontexten, modelleringen och kommunikationen av modellernas resultat diskuteras vidare i kapitel 3.

### 3 Osäkerheter

Dataunderlag för att kunna prognosticera en framtid med en större andel samverkande och automatiserade fordon är svårt, då det av naturliga skäl saknas observationer.

Från det amerikanska forskningsprogrammet NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) framförs att:

*Quantitative methods for managing deep uncertainty include robust decision making, info-gap, and dynamic adaptive pathways. Rather than ask, "What will happen?" these methods ask, "What should we do today to most effectively manage the range of events that might happen?"*

Författarna till rapporterna i NCHRP-projektet betonar vikten av att hantera osäkerheter på ett systematiskt sätt. Utvecklingen går snabbt och det kommer att uppstå såväl direkta som indirekta effekter när uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon blir en del av trafikmiljön. Erfarenhetsmässigt vet man att det kommer att uppstå både indirekta och oavsedda konsekvenser vid snabba förändringar. Ansvariga politiker och myndigheter måste därför anamma procedurer och metoder för att hantera såväl positiva som negativa utfall. Vi ser framför oss 3–4 decennier, eller mer, med en mix av manuellt framförda fordon och mer eller mindre uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon i trafikmiljön. Denna period kommer att bli utmanande med många legala, integritets-hotande och trafiksäkerhetsrelaterade frågor att lösa.

Behovet av att på ett systematiskt sätt hantera osäkerheterna är en aspekt av det pågående, och kommande, modellutvecklingsarbetet som Johan Olstam på VTI (Olstam, 2019) belyser som extra viktigt. Det kan behövas ett känslighetsanalyspaket i Sampers som beror på mixen av självkörande fordon. Det kopplar tillbaka till det Scenario-arbete som gjordes av Anna Pernestål Brenden, Ida Kristoffersson och Lars-Göran Mattsson (2017).

Behovet av metodik för detta avspeglas även i Trafikverkets syn på behoven (Johansson, 2018) där man efterlyser

- Prognoser,
- Globala scenarier,
- Back casting.

Detta diskuteras mycket i Trafikverket (2018) som verktyg för att göra samhälls-ekonomiska bedömningar av transportinfrastruktur och måluppfyllelse i ett vidare perspektiv. I analyser gjorda tillsammans med andra myndigheter förekommer mycket diskussioner kring vilka mål och hänsynstaganden som bör beaktas i analysarbetet avseende framtida åtgärder och investeringar relaterade till infrastruktur. Är det exempelvis rimligt att presentera prognoser/scenarier som gör att framtida klimatmål för transportsektorn överskrids?

Riskenivåer och tabell med risker presentera i Trimble m fl (2018f, s. 6). Några möjliga metoder som bedöms vara användbara för beslutsfattande under genuin osäkerhet är:

- Robust beslutsfattande
- Informationsgap
- Dynamiska adaptiva utvecklingsvägar

De beskrivs i korthet nedan.

**Robust beslutsfattande (*Robust decision making*):** Metoder och verktyg för att stödja beslutsfattare i situationer med genuin osäkerhet. Målet är att fokusera på identifiering och utformning av nya/alternativa beslut som på ett säkert sätt leder mot önskade mål. Tre nyckelkoncept används: multipla framtidsscenarioer, robusthetskriterier och en iterativ sårbarhets- och reaktions-option istället för ett prognosticera-agera förlopp. Robusthetskriteriet innebär i princip att man avstår från vissa förväntade optimerande strategier i utbyte mot en mindre risk för negativa utfall. Sårbarhets- och reaktionsoptionen omfattar identifiering av de osäkerheter som betyder mest för olika möjliga beslut, samt en beskrivning av troliga framtidsuppfattningar som är konsistenta med respektive beslut. Intressenter och beslutsfattare förväntas därmed bli mer insatta i förväntade konsekvenser av olika beslut/scenarioer.

**Informationsgap (*Information gap*):** Tre modeller används i en sekvens för hantering av beslut under osäkerhet.

1. Modell för scenariot. Vissa parametrar är okända. Estimat görs av parametrar man vet är helt felaktiga. Analyser görs av modellens resultat med dessa förutsättningar för att bedöma hur känslig modellen är för felaktiga parametervärden.
2. Robusthets- och möjlighets-modell: Givet en osäkerhetsmodell och minimikrav på utfallet analyseras hur säkra man kan vara på att nå upp till minimikraven. För motsatsen estimeras hur stor osäkerheten måste vara för att en genombrottsmöjlighet ska finnas.
3. För beslut optimeras antingen robustheten eller möjligheterna (minst osäkerhet för att nå ett genombrott i det senare fallet)

**Dynamiska, adaptiva utvecklingsvägar (*Dynamic adaptive pathways*):** Kombination av

- Övergående scenarier som representerar ett stort urval av osäkerheter och utvecklingar över tid.
- Olika hanteringsmöjligheter för sårbarhetsrisker och möjligheter
- Adaptiva utvecklingsvägar som beskriver lovande aktiviteter
- Övervakningssystem med eventuella, stödjande aktiviteter

Ovanstående illustreras Figur 3.1. Inom ramen för metodiken nämns backcasting för att från ett önskat framtida scenario härleda en sekvens av beslut som leder till målet.



Figur 3.1 Dynamic Adaptive Policy Pathways approach. Källa: Wikipedia.

## 4 Sårbarhet

Förväntningar på ökad säkerhet för högt automatiserade fordon grundar sig generellt på det faktum att några av människans vanliga brister, såsom övertro till egna förmågor, svårighet att upprätthålla uppmärksamhet över tid, drogbruk, etc, undviks vid automatisering. Att många av dagens säkerhetsproblem skulle hanteras med ökad automatisering kan dock även leda till nya typer av säkerhetsrisker.

Sårbarheter som leder till ändrat beteende eller nya sorters störningar med andra geografiska spridningar eller tidsperspektiv än idag kan komma att påverka de modeller vi idag använder.

Kunskapsluckorna är stora och för att "cyber-säkra" uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon krävs såväl satsningar mellan fordonstillverkare, inom transportinfrastruktur som hos slutanvändarna (Parkinson, Ward, Wilson, & Miller, 2017).

Exempel på, i litteraturen (jmf Parkinson m fl (2017) och Petit och Shladover (2015)) nämnda, attackvektorer hos fordon med okända konsekvenser är:

- Störda GNSS-signaler/system (t.ex. störda eller falska signaler till kartsystem)
- Manipulation av fordonsinterna sensorer (t.ex. störda eller falska signaler från däck, gyro och motordelar)
- Manipulation av sensorer för fysiska omgivningen (t.ex. LiDAR, radar, kameror)
- Manipulation av styrdatorer i fordonen (allt från stereon till styrning och motor)
- Mjukvarustörningar (illvilliga "uppdateringar"/mjukvaruförändringar, medvetna manipuleringar för ökad prestanda, etc )

Några av dessa problem gäller till viss del även dagens fordon. Dock är en mänsklig föräres anpassningsbarhet till oväntade händelser större än vad datorsystems är idag. Den anpassningsförmågan/mänskliga faktorn kan beskrivas som en motståndskraft mot systemstörningar som kan bli fallet med automatiserade system.

Exempel på i litteraturen nämnda attackvektorer relaterade till människor och samhälle:

- Datastöld (vilken och hur mycket personlig data som kommer genereras är inte känt).
- Individens beteende vid upptäckt av pågående/skenbar cyberattack eller vid överlämning av ansvar till förare.
- Störning av vägskyltar och instruktioner, digitala såväl som analoga
- Denial of Service-attacker (DoS) som omöjliggör nyttjande av hela eller delar av system och fordon.
- "Brevbomber" där fordon lastas med sprängämnen



Att automatisering är en potentiellt systemkritisk risk visade till exempel Vivek m fl (2019) i en beräkning, baserad på tidigare studie (Vivek S. , Yanni, Yunker, & Silverberg, 2017), där slutsatsen visade på att det skulle räcka med att tio procent av fordonen ska störas ut för att halva Manhattan skulle stå still. I ett sådant scenario är Manhattan fragmenterat och utan framkomlighet för blåljusmyndigheter. Tio procent motsvarar den marknadsandel som vart och ett av de fyra vanligaste bilmärkena i New York har idag.

## 5 Trafikverkets nuvarande analys- och modellverktyg

Trafikverket har till sitt förfogande en uppsättning prognos-, analys- och kalkylverktyg. De används för trafikprognoser, effektberäkningar, planering och projektering, underlag för fakturering, trafikstyrning, med mera. Av särskilt intresse för den föreliggande rapporten är tre modell- och analysverktyg:

- Sampers – en trafikslagsövergripande persontransportmodell
- Samgods – en trafikslagsövergripande godstransportmodell
- CBA-verktyg – framförallt EVA, en samhällsekonomisk kalkylmodell för analys av väginvesteringar, Bansek, en samhällsekonomisk kalkylmodell för analys av järnvägsinvesteringar, och Samkalk, en i Sampers integrerad modul för samhällsekonomiska kalkyler

Nedan ges kortfattade presentationer av de tre verktygen, samt övriga modell- och analysverktyg som kommer att behöva anpassas till en framtid med en större andel automatiska, uppkopplade och samverkande fordon, främst trafiksimuleringsmodeller på mikro- och mesonivå.

### 5.1 Sampers

Sampers används för analyser och prognoser för persontransporter. Sampers ger prognoser på nationell såväl som regional nivå. Modellsystemet utgår från antaganden om framtida markanvändning, infrastruktur, kollektivtrafiktaxor, vägtullar, med mera, och producerar prognoser över persontransporter med bil, buss, tåg, flyg, cykel och gång. Det är också möjligt att göra prognoser med så kallad backcasting, där man undersöker vilka förändringar som behöver utföras för att få en viss utveckling, till exempel för att nå klimatpolitiska mål.

Trafikverket tar fram så kallade basprognoser som används under arbetet med de nationella infrastrukturplanerna med hjälp av Sampers. Prognoserna sträcker sig 15–25 år framåt i tiden och uppdateras i stor omfattning vart fjärde år. Däremellan görs mindre uppdateringar.

Sampers har tre huvudsakliga moduler: *resefterfrågan*, *utbud och ruttval* samt *effektberäkning och samhällsekonomi*.

Sampers efterfrågemodul bygger bl a på data både från resvaneundersökningar och studier där människor fått göra fiktiva val (så kallade stated preference studier). De senare kan även ge information om hur människor ställer sig till alternativ som ännu inte existerar, vilket givetvis är intressant ur den här rapportens synvinkel. Sampers beräknar hur många personresor som sker mellan olika start- och målpunkter (drygt 10 000 områden i hela landet), och hur de resorna fördelas på olika färdmedel. På kortare resor väljer resenärerna i modellen mellan gång, cykel, kollektivtrafik och bil som antingen förare eller passagerare. På längre resor står valet mellan flyg, bil, buss och tåg. Det kan observeras att det i den nuvarande modellstrukturen inte går att modellera multimodala

resor (såvida man inte talar om kollektivtrafik i städer med såväl spårbunden- som vägtrafik). Sådana beräkningar får göras utanför Sampers.

Ruttvalsberäkningar (nätutläggning), utförs i Sampers med den kommersiella programvaran Emme. Det är en makromodell, där resenärsflöden, snarare än enskilda resenärer, beskrivs. Emme används för både bilresor och kollektivtrafik. För mer detaljerad information angående Sampers, se Trafikverket (2018a).

## 5.2 Samgods

Samgods är ett trafikslagsövergripande nationellt modellsystem som, likt Sampers, används för att göra analyser och prognoser, men för godstrafik istället för persontrafik. För tillfället modelleras godstrafiken i Samgods på nationell nivå, men en ambition finns att framöver även kunna modellera godstrafik på regional nivå, vilket då i princip avser vägtrafik. Modellen utgår från dagens läge gällande infrastruktur och transportmönster och matas med antaganden och information gällande framtida förutsättningar (infrastrukturinvesteringar, transportkostnader, med mera). Det betyder att modellen kan användas både för nulägesbeskrivningar av godstrafiken, och för att ta fram prognoser för framtida trafik. Resultaten från Samgods kan användas som underlag till samhällsekonomiska kalkyler som i sin tur är beslutsunderlag i samband med bedömningar av olika åtgärder. Samgods är ett verktyg som kan användas för att kvantifiera effekterna inför, eller av, politiska beslut. Trafikverket äger och förvaltar Samgods och ansvarar för vidareutveckling av verktyget. För mer information se till exempel Trafikverket (2018c).

## 5.3 Samhällsekonomiska kalkylverktyg

Trafikverket har ett antal samhällsekonomiska kalkylmodeller. Här berörs EVA, en modell för analys av väginvesteringar, Bansek, en modell för analys av järnvägsinvesteringar, och Samkalk, en modul för samhällsekonomiska kalkyler (nyttor i form av tids-, kostnads-, miljö- och trafiksäkerhets-effekter värderas i monetära termer) integrerad i Sampers.

Effekter vid väganalyser (EVA) används för att beräkna lönsamhet för enskilda objekt i vägtransportsystemet. Lönsamheten avgörs genom en jämförelse mellan ett basscenario utan den studerade åtgärden, och ett scenario där åtgärden ingår. Effekter som ingår är till exempel restidsförändringar, trafiksäkerhet och emissioner.

Bansek är ett verktyg som används för kalkyler på järnvägsinvesteringar som påverkar gods- och persontrafik. Likt EVA kan Bansek användas för jämförelser mellan två scenarion. Dock kan endast åtgärder studeras som påverkar restider och avstånd, inte stora förändringar av trafikupplägget. Mer långtgående åtgärder studeras i Samkalk, med Bansek för kompletterande beräkningar.

Sampers delmodul Samkalk tar fram monetära värden på åtgärders konsekvenser. Effekterna av ett förändrat personresande till följd av en utförd åtgärd (infrastruktur-, regel- eller policy-förändringar) i form av skillnader i restider, reskostnader, utsläpp,

trafikolyckor och slitage med mera, värderas. Värderingen används sedan för att kunna avgöra huruvida den tänkta åtgärden är samhällsekonomiskt lönsam eller inte.

#### **5.4 Mikro- och mesomodeller**

Trafikmodeller på mikro- och mesonivå beskriver trafiksystemet i högre detaljeringsgrad än makromodeller som Sampers. Mikro- och mesomodeller används av Trafikverket bland annat för att kunna analysera förekomsten av trängsel på ett mer korrekt sätt än vad som är möjligt i Sampers och Samkalk.

---

22(51)

RAPPORT  
2019-02-14  
RAPPORT

## 6 Kommande indatabehov

I genomförda intervjuer med Trafikverket (Eriksson, Sachse, Sahlgren, & Hill, 2019) pekas på det faktum att för befintliga modeller används indata från resvaneundersökningar och tidsvärdestudier med mera för att estimeras samband som beskriver vilka resor som görs och varför. Det gäller främst för personresemodellen Sampers och den associerade samhällsekonomiska Samkalkmodellen. Av naturliga skäl finns inte sådana data för framtida situationer med en stor andel självkörande fordon. I dagsläget pågår inget omfattande arbete med att förbereda modellsystemen för sådana nya förhållanden.

Samgodsmodellen är idag (januari 2019) en normativ modell som baseras på att transportlösningarna styrs via kostnadsminimeringsprincipen med hänsyn till kapacitetsbegränsningar för godstransporter på järnväg. Ett arbete pågår med att estimeras en logistikmodell baserad på observationer från varuflödesundersökningar. Det kommer naturligtvis att medföra motsvarande svårigheter som för persontrafikmodellerna att beskriva den ännu okända framtiden.

I de följande delkapitlen beskrivs viktiga indata som behöver revideras och kompletteras i en framtid med en stor andel automatiserade fordon.

### 6.1 Tidsvärden

Essentiella indata till Trafikverkets prognos- och samhällsekonomiska modeller är tidsvärden för resenärerna. Dagens tidsvärden ligger för privatresor kring 50–100 kr/timme och för tjänsteresor är storleksordningen 300–400 kr/timme, se Trafikverkets ASEK-rapporter (Trafikverket, 2018). Det innebär att färd sätt med korta restider föredras framför de med längre, ceteris paribus, och att beräknade effekter av förändringar i transportsystemet som påtagligt förkortar restider värderas högt. En anledning till att de är så pass höga är att restiden i allmänhet inte anses kunna användas till annat än själva resan. Undantag från detta är exempelvis resor med fjärrtåg där tidsvärdet är lägre än för bilresor. Den primära orsaken är att tiden och omgivningen under en tågresa medger möjligheter till exempelvis arbete och underhållning under restiden. Sådana aktivitetsmöjligheter under resan innebär att den motsvarar en mindre resuppostring, det vill säga en lägre värdering av restiden. På motsvarande sätt är ett rimligt antagande i en framtid med automatiserade fordon (på SAE-nivåer 3–5) att restiden av samma skäl kommer att värderas lägre i sådana fordon. Om det dessutom finns en högre grad av enskildhet än på fjärrtåg, kan tidsvärdet minska ytterligare. Värt att notera är dock att antalet vetenskapliga studier på automatiseringens effekter på restidsvärden hittills är begränsat – och deras resultat tvetydiga. En tysk studie visar tvärtom att få resenärer ser möjligheten att arbeta som en väsentlig fördel för automatiserade (SAE nivå 3+) fordon (Cyganski, Fraedrich, & Lenz, 2015). Även en annan SP-studie, denna från Nederländerna, fann att resenärer snarare sätter högre tidsvärden på restid med automatiserade (SAE nivå 5) än med manuella fordon (Yap, Correia, & van Arem, 2016). Samma forskningsgrupp fann två år senare att tidsvärdena istället sjönk, i linje med vårt antagande (Milakis, Snelder, van Arem, van Wee, & Correia, 2017). Kontentan av forskningsläget är att det råder stor osäkerhet bland respondenterna kring hur de kommer att uppleva framtida resor med

automatiserade fordon. I takt med den tekniska utvecklingen och att allmänhetens exponering mot automatiserade fordon ökar kommer tidsvärden kunna estimeras med större säkerhet.

## 6.2 Reskostnader för persontrafik

Kostnaderna för att använda olika färdmedel är naturligtvis viktiga för de transportval som görs. I en metastudie genomförd av Pernestål Brenden och Kristoffersson (2018) anges en kostnadsuppskattningar i intervallet 2–4 kr/km för delade automatiserade fordon, beroende på servicedesign och fordonsägande. Skulle det landa i den nedre delen av intervallet är det i nivå med det arbetsreseavdrag på 1,85 kr/km som medges för bil (om tidsvinsten jämfört med kollektivtrafik uppgår till minst 60 minuter för en enkelresa). I den övre delen av intervallet motsvarar det km-kostnaden för privatleasing av en mindre personbil som körs 1500 mil/år. Med kostnader på den nivån blir det sannolikt av intresse för många fler att välja bil som färd sätt, men i form av automatiserade fordon. Utöver kostnader på en överkomlig nivå erbjuds två stora fördelar:

1. Fordonet behöver inte parkeras av föraren/ägaren utan fortsätter till nästa transportuppdrag eller parkerar sig själv.
2. Det finns inga krav på körkort för att resa med ett automatiserat fordon, vilket kraftigt expanderar antalet möjliga användare (barn, ungdomar, personer med funktionsnedsättning, äldre, icke-körkortsinnehavare, etc).

## 6.3 Transportkostnader för godstransporter

Hur transporter av gods görs bestäms i stor utsträckning av kostnaderna för olika transportlösningar. I en situation med uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon för godstransporter kan en stor del av förarkostnaderna för lastbilstransporter reduceras, eller helt elimineras. Det skulle dels kunna vara i form av kolonnkörning där en förare exempelvis övervakar konvojen från första fordonet, medan alternativa övervakare kan vila i bakomliggande fordon i konvojen. När maximalt tillåten förartid slår till byter man helt enkelt övervakare i lastbil nummer ett och transporten kan fortsätta. Kombinerat detta med helt automatiserade fordon (motsvarande SAE-nivå 4–5) behövs inte ens en övervakare. Beträffande regler avseende körtider gäller att de inte beaktas i dagens Samgodsmo- dell. Det betyder att ska man möjliggöra en analys av körtidsbegränsningars effekter krävs först att de införs i framtida modeller. Först med en inkluderad hantering av dessa i modellen kan nyttan av att medelst automatisering reducera deras inverkan värderas.

Det tillkommer naturligtvis kostnader för mer avancerade fordon och system, men vi föreställer oss att kostnaderna blir lägre än idag vilket gör att vägtransporter blir än mer konkurrenskraftiga.

Viktiga kostnader för godstransporter är lastning och lossning. Med uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon ute i verklig trafik torde det vara möjligt att även automatisera dessa kostsamma delar i transportkedjorna. Det har ju länge existerat

automatiserade lagersystem. Dock är det ju inte samma stordriftsfördelar med utrustning för lastning och lossning som det är för fordonen med 100 000-tals tillverkade fordon per år från de större tillverkarna.

Befintlig Samgods-modell omfattar inte rutter för insamling respektive distribution av gods, men i en framtid med en utvecklad godsmodell och automatiserade fordon med överkomliga kostnader kan det eventuellt vara av intresse att inkludera dem i modellen för att bättre representera hur transporter utförs. I Trafikverkets utvecklingsplan beaktas det eventuella behovet av att i framtiden kunna inkludera distributionstransporter i Samgods, se Trafikverket (2018). Betydelsen av kostnadsutvecklingen på logistiksidan inom exempelvis e-handelssektorn blir sannolikt viktig för framtiden enligt Johansson (2018), som exemplifierar med fall från Kina (Alibaba).

#### 6.4 Transportutbud och -tillgång för personresor

Avgörande för hur vilka transportsätt som väljs beror förutom tidsvärden och kostnader även på vilket utbud som finns i form av infrastruktur, kollektivtrafik och biltillgång (i form av egen bil, bil i familjen, bilpool, tjänstebil, med mera). I en framtid med samverkande automatiserade fordon skulle sannolikt både biltillgången, och därmed också bilanvändningen, kunna öka. Än så länge saknas dock tydliga prognoser för biltillgången. Mycket beror också på vilka affärsmodeller som blir populära för automatiserade fordon. Ett privatägt fordon skulle kunna göra tjänst både för en arbetsresa, och efter egen retur till startpunkten, kunna användas för övriga familjemedlemmars behov under arbetsdagen (dessutom krävs ingen p-plats i anslutning till arbetsplatsen). En aspekt som lyfts fram angående utbudet är att samverkande automatiserade fordon som accepterar att komplettera kollektivtrafiken, det vill säga att erbjuda kollektivtrafikresenärer att resa med, tillåts använda kollektivtrafikfiler.

På motsvarande sätt skulle delade fordon kunna användas som komplement till dagens kollektivtrafik som fungerar bäst som masstransportmedel i relationer med stora resenärsvolymer. I områden med glesare kollektivtrafik kan delade fordon fungera som matartrafik till stråk där det sammantaget finns underlag för en god kollektivtrafik. Se Fölster (2019) som funderat i dessa banor.

En simuleringsstudie över Stockholm, utförd vid KTH (Burghout, Rigole, & Andreasson, 2015), visar att i ett scenario där hela Stockholms privata bilflotta byts ut mot delade automatiserade fordon behövs endast 5% av dagens fordon och parkeringsplatser. Antalet fordonskilometer minskade med 11 %. Resenärerna antogs kunna acceptera att dela fordon, att få en maximalt förlängd restid med 30% och en väntetid innan fordonet anländer till startpunkten på upp till 10 minuter. Endast resor inom ett 40x40 km studieområde inkluderades. Det kan noteras att om den automatiserade fordonsflottan inte antogs delad, ökade både restider och fordonskilometer, vilket stämmer överens med resultat från andra studier.

## 6.5 Kapacitet i trafiknätverket

Det finns idag många rapporter om vilken kapacitet vi kommer att få i framtida trafiknätverk, och hur mycket de kommer att utnyttjas (se exempelvis Lind m.fl. (2016) och Pernestål Brenden och Kristoffersson (2018)). En rimlig hypotes är att det totala antalet fordon kommer att minska jämfört med idag, men att användningen av dem kommer att öka, bl a i form av ensamkörande fordon på väg till nästa uppdrag eller till parkering. En betydande del av ökningen kommer sannolikt att utgöras av delade fordon och *transportation network companies* (TNC:s, ungefär som Uber idag, fast självkörande). Sammantaget förväntas det leda till ökade trafikmängder och en ökad trängsel, allt annat lika. Vi har därför i de följande avsnitten sammanställt relevant litteratur på området kapacitet och självkörande fordon med hjälp av mikrosimuleringsmodeller som VISSIM från PTV och TransModeler från Caliper. Om vi antar att vi känner vilka beteenden som är inprogrammerade i samverkande automatiserade från olika tillverkare, så är det i princip möjligt att ta fram de kapacitets samband som behövs för användning i prognosmodeller och för samhällsekonomiska kalkyler.

I princip finns det en potential för ökad kapacitet med självkörande automatiserade fordon vilket redovisas i nedanstående rapporter. Utvecklingen kan växla in på ett spår där ökad kapacitet kommer att utnyttjas fullt ut och mer därtill för ökade transportvolymmer.

För indata till trafikmodeller avseende effekter i konfliktpunkter borde det vara möjligt att estimeras samband av olika slag med hjälp av mikrosimulering. Genom att kombinera befintlig kunskap om hur människor kör med vilka regler som programmerats i självkörande fordon bör det gå att ta fram effekter av olika slag med mikrosimulering.

En annan kapacitetsaspekt är att körfältsbredder och vägrensytor förväntas kunna hållas nere, då uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon förväntas hålla både kortare avstånd mellan fordonen och ha bättre precision i sin (sido-)positionering. Detta, tillsammans med ett minskat parkeringsbehov i städerna centrum, frigör mark, antingen till utökad kapacitet för bilar, eller för mer plats åt gång- och cykelinfrastruktur samt åt kollektivtrafik. Naturligtvis skulle markutrymmet kunna användas till bostäder/kommersiella fastigheter. Kollektivtrafikens kapacitet kan ytterligare ökas genom kolonnkörning i kollektivtrafikfält. (Trafikanalys, 2017)

## 6.6 Kapacitet i trafiknätverket: mikrosimuleringsstudier

Det finns ett flertal studier som utvärderat effekterna av uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon på trafikflödet på mikronivå. Mikrosimuleringar är ett sätt ta fram estimeringar av kapacitetseffekterna av ett införande av uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon, innan det finns empiri att utgå från (Olstam, 2019).

Nedan följer sammanfattningar av ett mindre urval av studier med fokus på förväntade effekter på kapacitet och hur modellering har använts eller kan användas för att bedöma effekterna. Kapaciteten kan dels öka på grund av en ökad fordonstäthet i befintlig infrastruktur, dels genom att infrastrukturen nyttjas effektivare genom införandet av fler



körfält som möjliggörs av att fordonen framförs med en högre precision. Beskrivningen är kortfattad och för mer information hänvisas till referenserna.

Självkörande fordon kan på längre sikt medföra kortare tidsluckor mellan fordon, färre incidenter och mer harmoniserat beteende mellan fordonen. Detta skulle ge möjligheter att öka kapaciteten på vägar och korsningar avsevärt. På kort sikt kan effekterna däremot bli de motsatta genom att automatiserade fordon initialt kommer att vara försiktiga och inte heller klara körfältsbyten i tät trafik. (Trafikverket, 2018)

Det råder stor osäkerhet kring möjliga inställningar hos autonoma och uppkopplade fordon vad gäller minsta tidslucka och högsta hastighet. Chen m.fl. (2016) antar att minimitidsluckan kan minska till 0.5 sek för automatiserade fordon som samverkar. Detsamma antas av Friedrich (2016), men då med en något längre lucka bakom ett manuellt fordon: 0.9. I en rapport åt brittiska Department of Transport antar Atkins (2016) att föraren själv kan ställa in tidsluckor från offensivt till försiktigt (0.5 till 2.1 sek). Googles automatiserade bil kommunicerar inte med andra bilar och målet är främst säkerhet och komfort. Den behöver därför mer utrymme än andra bilar, typiskt 2–3 sekunder, vilket är mer än en sekund längre än vad mänskliga förare kräver. Om detta blir den typiska automatiserade bilen kommer köerna i rusningstrafiken att tillta (Lind, Davidsson, Strömgren, & Svensson, 2016).

#### 6.6.1 **Analys – Trafikflöden och självkörande fordon, Drive Me försökssträcka (Trafikverket, 2018)**

Trafiksystemets totala kapacitet definieras, även med samverkande automatiserade fordon, av kapaciteten i systemets svagaste punkter, flaskhalsarna. Vanliga flaskhalsar i trafiksystem är högt belastade korsningar, växlingssträckor, påfarter och reduktion av antal körfält. Kapacitetsökningar uppströms en flaskhals ökar inte trafiksystemets kapacitet. Ett motorvägsystems kapacitet bestäms alltså inte av länkkapacitet utan av olika flaskhalsar. Omkring flaskhalsar skapas ett stort antal körfältsbyten som minskar kapaciteten. Körfältsbyte är en kommunikation mellan flera förare/foron som är beroende av bland annat trafikförhållanden men också av lokal tradition. Det är svårt att modellera/beskriva allt detta och framförallt svårt att validera/kalibrera modeller (Trafikverket, 2018). Det finns studier med HMI (Human-Machine Interface) där en verklig förare kör i en simulerad miljö med självkörande fordon. Trafikbeteende från dessa studier har potential att användas för att förbättra trafikmodeller där det finns kombinationer mellan uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon och dagens fordonsflotta.

Summering av rapporten:

- Självkörande fordons effekter på kapacitet, restider, punktlighet och robusthet är beroende på utformningen av självkörande fordon, dvs de funktioner och algoritmer som styr hur de kommer att bete sig i olika trafiksituationer.

- Effekterna på kapaciteten beror också på andelen självkörande fordon. Större andel ger större möjligheter att påverka kapaciteten positivt genom t.ex. mer synkroniserat beteende.
- Initialt kommer självkörande fordon sannolikt att innebära reducerad kapacitet p g a kraven på försiktighet och höga säkerhetsmarginaler.
- Förbättrad kapacitet på enskilda väglänkar på grund av kortare tidsintervall mellan fordon ökar inte det totala motorvägsnätets kapacitet, men det kan förbättra kapaciteten i ett vägnät med trafiksignaler.
- Förbättrad kapacitet i motorvägsnätet kräver kommunikation mellan självkörande fordon och/eller avancerade trafikledningscentraler med komplicerade beslutsalgoritmer för optimering av flöden och effektiva körfältsbyten. Avancerade trafikledningscentraler ligger långt fram i tiden.
- Nyckelfrågan är inte att packa fordon med korta tidsavstånd på sträcka utan att organisera trafik effektivt främst på växlingssträckor och påfarter.
- Ökade säkerhetsfunktioner i självkörande fordonen, såsom adaptiv farthållare, nödbroms och körfältshållningsfunktioner ger åtminstone vid högre andel självkörande fordon positiva effekter på robustheten och därmed kapaciteten p g a minskat antal incidenter. Andra säkerhetsfunktioner som ger en mer försiktig och långsam körning kommer huvudsakligen att minska kapaciteten och öka restiderna.
- Viktigt att poängtera är att en stor del av trafiksäkerhetsvinsten med självkörande fordon kan hämtas hem genom avancerade förarstödssystem. Den ökade nyttan av självkörande bilar i sig blir därför mindre.

### 6.6.2 Research on the Impacts of Connected and Autonomous Vehicles on Traffic flow (Atkins, 2016)

I Atkins (2016) används mikrosimuleringsverktyget VISSIM för att utvärdera effekterna av:

- Olika car-following beteenden
- Olika acceptabla nivåer för körfältsbyte och tidsluckor
- Olika profiler för acceleration och retardation
- Uppkoppling för att representera informationsutbyte
- Olika penetrationsnivåer av uppkopplade och automatiserade fordon i fordonsflottan.

Olika testnätverk utvärderades för att undersöka skillnader i medelfördröjning, medelrestid och varians av restid. Värt att notera är att resultatet till stor del styrs av de förutsättningar som är indata i modellen.

På motorvägar visade resultatet från simuleringsstudien bland annat att varken 25% eller 50% penetration av samverkande och automatiserade fordon ger särskilt stor minskning av medelfördröjning jämfört med dagens fordonsflotta. Anledningen till detta anses vara att en liten andel av försiktiga samverkande och automatiserade fordon (mer försiktiga än basfordonsflottan) inducerar ytterligare fördröjning och att beteendet hos de mer

28(51)

RAPPORT  
2019-02-14  
RAPPORT

aggressiva automatiserade fordonen är begränsat av det överväldigande antalet icke-automatiserade fordon (det vill säga de kan normalt inte följa efter med kortare tidsluckor i förekommande situationer). Låga penetrationsnivåer ökade medelfördröjningen totalt i nätverket eftersom de till stor del begränsas av den befintliga fordonsflottan.

Tre olika korsningstyper utvärderades under rusningstid (väjningsplikt, delvis signalreglerad och helt signalreglerad) med fokus på skillnad i medelfördröjning. De mest signifikanta förbättringarna var i korsningar med väjningsplikt då minskning av fördröjningen var så mycket som 35% för 100% prestationsnivå. I studien ansågs att dessa korsningstyper sannolikt är de där störst förbättringar kan uppnås eftersom en större andel av fordonen kan ha högre hastigheter och densitet.

Ju högre grad av signalreglering i korsningen (antal faser etc), desto mindre blev minskningen av medelfördröjning för högre penetrationsnivåer. En av anledningarna bedöms vara att trafiksignalerna i modellen inte optimerats för framtida trafikförhållanden. Ytterligare en anledning är den generella för tidsstyrda signaler, nämligen att det förekommer outnyttjade gröntider i systemet som ökar medelfördröjningen.

Stadsområden med låg hastighet och många korsningar kan dra högst nytta av lågteknologisk förarassistans. I denna studie har detta karakteriserats av bättre kontroll över hastigheten, som assisterar med avståndshållning mellan fordon, vilket minskar onödiga accelerationer och retardationer. Resultat från stadsmodellen visade initiala minskningar av fördröjningar på mer än 12% med 25% marknadspenetration, och cirka 30% med en helt automatiserad fordonsflotta.

De viktigaste slutsatserna från Atkins (2016) beskrivs nedan. Slutsatserna måste läsas i ljuset av de underliggande antagandena om marknadspenetration för automatiserade fordon, och framförallt modellens förutsättningar och egenskaper.

- I litteraturen betonas vikten av användarval. Rimliga antaganden, åtminstone initialt, är att den automatiserade flottan programmeras (eller ställs in manuellt) med långa tidsluckor och säkerhetsavstånd vilket kan leda till försämrad kapacitet i exempelvis korsningar och på motorväg. Med hänsyn till olika förarens preferenser av exempelvis komfort och säkerhet så är det troligt att åtminstone en del av de nya fordonen är mer försiktiga än i dagsläget.
- Väsentliga fördelar i kapacitet och fördröjning uppnås troligtvis inte förrän vid höga nivåer av uppkopplade, samverkande och självkörande fordon.
- Fördelarna är större i högt belastade nätverk vilket är förväntat eftersom ett annat körbeteende tillåter högre densitet av trafik.
- Stadsområden med låg hastighet och många korsningar kan dra högst nytta vid låga andelar och förmåga hos automatiserade fordon.

### 6.6.3 Nya effektsamband till följd av utvecklingen av semi-automatiserade fordon (Lind m.fl., 2016)

I Lind m.fl. (2016) analyseras nya effektsamband till följd av utvecklingen av semi-automatiserade fordon. Tre huvudscenarier analyserades: ett trendscenariot, ett kapacitetsscenario och ett komfortscenariot.

I trendscenariot antas bilarna successivt få fler automatiska funktioner. Bilar antas ha tillgång till distanshållning, nödbroms, varning för oskyddade trafikanter, körfältshållare, hastighetsanpassare, kommunikationsmöjligheter tillsammans med möjligheten att vara självkörande i mindre komplicerade trafikmiljöer.

Kapacitetsscenariot motsvarar en utvecklingslinje som går mot att försöka utnyttja automatiserade bilar för att öka effektiviteten i trafiksystemet och minska de kapacitetsproblem som uppstår vid flaskhalsar. Målet i detta scenario är att få de självstyrande bilarna att fungera bra i rusningstrafik, och att utnyttja möjligheten att koppla samman dessa för att få ökad kapacitet.

I komfortscenariot är målet att låta bilen själv köra i så stor utsträckning som möjligt. För att nå dit förväntas passagerarna vara villiga att acceptera längre restider, vilket leder till en starkare drivkraft att utveckla marknaden med självkörande bilar. Olägenheterna med ökade fördröjningar i rusningstrafik antas därvid mer än kompenseras genom att tiden inte anses bortkastad utan kan användas på ett produktivt sätt. För att kunna utnyttja den uppkopplade bilen till fullo krävs en ökad inriktning på säkerhet och komfort, vilket antas betyda försiktigare inställningar av önskad hastighet, accelerationer, tidsluckor och benägenhet till körfältsbyte.

Analyserna av de regionala effekterna av självkörande fordon på restider och trafikarbete fram till år 2030 med blandad trafik kan sammanfattas på följande sätt:

- Trendscenariot ger positiva effekter på framkomligheten genom användning av adaptiv farthållare i manuellt styrda och självstyrande fordon, som minskar tidsluckorna till framförvarande fordon vid kökörning.
- Kapacitetsscenariot ger inte så stor ökning av framkomligheten jämfört med trendscenariot som väntat, främst beroende på att kapaciteten i trafikplatserna i motorvägsmiljö inte ökar nämnvärt.
- Komfortscenariot ger effektivitetsförsämringar som är i samma storleksordning som förbättringarna i trendscenariot.
- Den totala effekten på restiderna i kapacitetsscenariot motsvarar effekten av en stor infrastruktursatsning som t ex Förbifart Stockholm.
- Effekterna på trafikarbetet är liten vilket främst beror på att restidernas återkoppling till trafikefterfrågan inte modellerats.
- Körmönstren förändras med mindre körning i kö vilket minskar bränsleförbrukningen.

#### 6.6.4 Micro-simulation for automated vehicles (Sukennik, 2018)

Det europeiska forskningsprojektet CoEXist har bland annat resulterat i en guide för hur automatiserade fordon kan simuleras i mikrosimuleringsverktyget Vissim från PTV (Sukennik, 2018).

I senaste uppdateringen av Vissim (Vissim 11, se PTV Group (2018)), har förenklningar gjorts för att modellera och uppskatta effekter av autonoma och uppkopplade fordon. I förarbetende går det att skilja på antalet objekt som uppkopplade och samverkande automatiserade fordon kan kommunicera med. Antalet objekt hänvisar till såväl antalet fordon som övriga objekt såsom trafiksignal, stoppskyltar, väjningsplikter m.m. Det går även att specifikt ange antalet fordon som automatiserade fordon kan kommunicera med (sätts värdet till 1 motsvarar detta endast självkörande men inte samverkande fordon).

I den senaste versionen finns även tre fördefinierade körbeteenden för olika typer av autonoma fordon: *AV Cautious* motsvarar fordon som håller ett absolut bromsavstånd, *AV Normal* liknar en mänsklig förare men utan den stokastiska spridningen, och *AV Aggressive* använder kortare tidsluckor till framförvarande fordon.

Känslighetsanalyser kan nyttjas för att utvärdera olika kombinationer av dessa förarbetenden för att säkerställa huruvida rekommenderade åtgärder även är lämpliga i framtida trafiksituationer.

### 6.7 Samhällsekonomiska kalkyler

Med tidsvärden, restider, kostnader och effekter i konfliktpunkter har vi mycket av den information som behövs för värdering av samhällsekonomiska effekter associerade med olika trafik- och transportsystem. Utöver detta tillkommer att estimeras mängden av externa effekter i form av emissioner, klimateffekter och olyckor som uppstår i ett system med självkörande fordon. I förväntningarna ingår att de självkörande bilarna väsentligen är eldrivna vilket inte ger några emissioner från fordonen under körning, men däremot kan det uppstå vid elproduktionen för det fall att den orsakar utsläpp av de emissioner som normalt beaktas:

- Kväveoxider
- VOC
- Partiklar
- Svaveloxid
- Koldioxid

Det blir då en definitionsfråga huruvida dessa eventuella emissioner från elproduktion ska associeras med transporterna eller inte.

Trafikverket är enligt utvecklingsplanen, sektion 7.2.8 intresserat av projekt som avser effekter av en stor andel elbilar i trafik, uppkopplade eller ej (Trafikverket, 2018). Fokus ligger där främst på huruvida behovet av regelbunden laddning kommer att påverkas av lugnare körning för att maximera räckvidden.

Externa effekter i form av olyckor försvinner inte, men självkörande fordon förväntas leda till säkrare trafik och transporter än vad vi har idag. Här får tiden utvisa vilka risknivåer som blir resultatet. Sannolikt, och förhoppningsvis, blir det aktuellt att skriva ner antalet olyckor, döda, svårt skadade och skadade per miljon fordonskilometer. Ett antal studier visar att system för förarassistans och partiell automation (SAE nivå 1–3) konstraintivt kan innebära försämrade trafiksäkerhet då förarna förlitar sig på fordonssystemet, och får förlängda reaktionstider när något oförutsett inträffar som inte kan hanteras av systemet. För en översyn, se Milakis m.fl. (2017).

I normalfall ingår inte bullervärderingar i samhällsekonomiska kalkyler för åtgärder avseende, och investeringar i, transportsystemet. Dock kan man där det befinns lämpligt inkludera bulleranalyser i de samhällsekonomiska bedömningarna (SEB:arna) som omfattar kompletterande kvalitativa och kvantitativa bedömningar till standardkalkylerna. Även i det sammanhanget är förväntade eldrivna självkörande fordon speciella därför att de är tysta, i princip hörs endast buller från däcken vilket vanligen inte blir besvärande förrän hastighetsgränserna i tätort överskrids. Regler är i vardande som ska tvinga elbilstillverkare att generera varnings-/motorljud från fordonen av något slag för att uppmärksamma omgivningen på deras existens.

## 7 Kommande modellförändringsbehov

Här presenteras de modellförändringar som kan bli aktuella i en framtid med en stor andel uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon. Kapitlet är uppdelat i 7.1 persontransporter, 7.2 godstransporter, och 7.3 samhällsekonomiska kalkylverktyg.

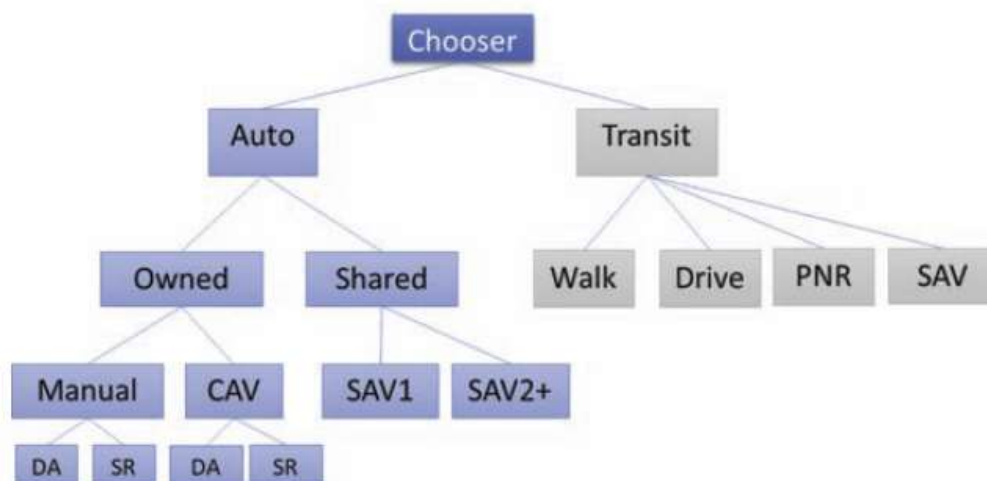
### 7.1 Persontransporter

Persontransporter modelleras av Trafikverket framförallt i modellsystemet Sampers. Förändringar i det systemet diskuteras nedan, följt av en kort presentation av aktuell forskning kring aktivitetsbaserade modeller.

#### 7.1.1 Sampers

Merparten av det som skrivs om resebaserade modeller (trip-based models) i Zmud m fl (2018b) har bäring på den svenska persontransportmodellen Sampers. I den befintliga modellen är bilinnehav och biltillgång väsentliga variabler för att beskriva vilka färd sätt som är tillgängliga för hushållen. I hushåll med tillgång till bil används den i stor utsträckning för många olika ärenden som arbetsresor, tjänsteresor, inköpsresor med mera. För andra är det vanligen kollektivtrafik och gång/cykel som är de dominerande färd sätten.

Med alternativet att nyttja automatiserade fordon till överkomliga kostnader blir färdmedelsvalet bilresa en möjlighet för allt fler resenärer, dels beroende på kostnadsnivåerna, dels på att körkortskrav sannolikt inte kommer att krävas för att färdas i ett automatiskt fordon. Istället för att ha personbil som ett färdmedel där man antingen är förare eller passagerare kan det se ut som i Figur 7.1 med en stor mängd möjligheter beroende på socioekonomiska förutsättningar och transportmöjligheter i form av konventionella eller automatiserade fordon, och i form av eget fordon eller en transporttjänst av något slag. Exempel finns redan idag i form av tjänsten Waymo One i USA (som introducerats av Alphabet via dotterbolaget Google) som erbjuder anropsstyrd transport med en flotta av självkörande fordon (Waymo, 2019).



Figur 7.1 Exempel på modell för val av färdssätt med såväl eget manuellt fordon som eget respektive delat automatiserat fordon (access mode till transit (kollektivtrafik) är gång, bil, park-and-ride och delade automatiserade fordon).

På motsvarande sätt som i dagens Sampers-modell är bilinnehav och biltillgång centrala faktorer som avgör vilka transportalternativ som står till buds, ex vis enligt illustrationen i Figur 7.1. Emellertid måste konceptet utvidgas till att omfatta de nya möjligheter som kommer att erbjudas när dagens krav på körkort kan reduceras till krav på att kunna beställa en automatisk transport, samt att kunna ange önskade resmål till fordonet. Sådana krav skulle exempelvis kunna tillåta att barn över en viss minimiålder kan använda ett automatiskt fordon på egen hand.

En aspekt som Zmud m.fl. (2018b) fäster stor vikt vid, för egenägda fordon, är möjligheten att ett och samma automatiserade fordon används för flera transporter av medlemmar i en och samma familj utan förarkrav, eller att fordonet parkerar sig själv där parkeringskostnaderna är rimliga. Förutsättningarna kan leda till att en mängd fordon själva, utan passagerare, transporterar sig mellan destinationer. Fordonet kan exempelvis efter en utförd arbetsresa för en familjemedlem återgå till hemmet för att utföra en skoltransport, en inköpsresa eller en andra arbetsresa. En annan förväntad effekt är att fordonet parkerar sig själv där låga parkeringskostnader erbjuds, vilket kan vara ganska långt från arbetsplatser i stadskärnor. Orsaken är att parkeringskostnader i centrala lägen förväntas bli alltför höga, åtminstone för regelbunden användning som parkeringsplats under arbetstid.

Detta väcker frågan om hur potentiella retur-/parkerings-/mellankund-transporter för uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon, privatägda eller tillgängliga genom en tjänst, ska modelleras. Det skulle kunna vara så att man estimerar vilka andelar av resor med automatiserade fordon som återvänder till basen (=hemmet) för nästa resa, och vilka andelar som väljer en parkering på lämplig närbelägen P-plats. För



resor med delade automatiserade fordon kan det bli lämpligt att modellera hur de omdisponeras för att genomföra nästa uppdrag. Det är sannolikt en besvärligare uppgift än de båda ovanstående eftersom det i princip handlar om att lägga upp ruttor i tid och rum som är rimliga.

Sammantaget förväntas dessa effekter leda till att bilresandet ökar, och antalet fordonskilometer. Däremot kan den gemensamma användningen av fordonskapitalet genom multipelanvändning av egenägda fordon och av transporttjänstföretag som tillgodoser transportbehoven till marknadspris, göra att fordonsparken minskar i antal.

Mer trafik med lätta fordon kommer att öka trängseln allt annat lika. Till att börja med förväntas en ökande andel uppkopplade, automatiserade fordon leda till att kapaciteten i vägnätet ökar. I konfliktpunkter förväntas att fler fordon passerar när så medges, under gröntid i signalreglerade korsningar och genom bättre bedömningar av tillgänglig tid för passering i cirkulationsplatser och korsningar med väjnings-/stopplikt. På länkar i vägnätet förväntas att fordon med ett anpassat, "mjukare", körsätt kommer att framföras med mindre hastighetsvariationer och färre incidenter. Sammantaget kommer det att öka trafikflödet.

Man ser framför sig att den traditionella metoden med statistiska jämviktsmodeller av den typ som används i Sampers (Emme med användarjämvikt) för nätverksutläggning kommer att ersättas av dynamiska nätverksmodeller med tidsuppdelade efterfrågematriser och en detaljerad hantering av faktisk kapacitet, köbildning och bakåtblockerings av länkar. Det är oklart enligt vilka princip ruttvalsmodellerna i så fall bör styra trafiken. Kommer det att vara användarjämvikt, systemoptimal jämvikt eller något annat? Enligt intervjuer med Trafikverket (Eriksson, Sachse, Sahlgren, & Hill, 2019) torde principen vara samma som idag, det vill säga användarjämvikt.

Ytterligare aspekter att beakta i ruttvalsmodellerna är eventuella möjligheter för (privatägda eller delade) automatiserade fordon att byta mode och bli små bussar som tillåts köra i kollektivkörfält i utbyte mot att de upplåter sittplatser till kollektivtrafikresenärer. Vidare ser man framför sig att delade fordon kan fungera som någon form av anropsstyrd kollektivtrafik som kan utgöra matartransporter till mer storskalig kollektivtrafik som större bussar, pendeltåg, tåg och tunnelbana, särskilt i områden där det inte är lönsamt att upprätthålla en konventionell kollektivtrafik med tillräcklig turtäthet. Det ställer krav på en anpassning av kollektivtrafikmodellerna så att de på lämpligt sätt kan hantera sådan kombinationstrafik.

Visionen är att det ska leda till en realistisk bild av trafiksituationerna, med bra algoritmer i fordon och trafiksystem som medger bästa möjliga utnyttjande av befintlig kapacitet, och modeller som bättre beskriver val av färdssätt med korrekt information om restider och -kostnader för alternativen. Det kan behövas om farhågor avseende en kraftig ökning av trafikarbetet (antalet fkm) blir resultatet av inducerad trafik<sup>4</sup> som möjligheterna med samverkande och automatiserade fordon erbjuder (enligt vissa farhågor i NCHRP-

<sup>4</sup> Ökad vägkapacitet skapar ny **trafik**. Detta fenomen kallas **inducerad trafik** och är sedan länge känt och erkänt av internationell forskning. Fenomenet handlar om sambandet mellan utbud och efterfrågan.

rapporterna<sup>5</sup>). Vid sådan användning av fordonen uppstår frågan hur sådana rutter ska konstrueras i modellsystemet. En möjlig lösning på detta skulle vara att använda idéerna från den modell som byggts för service- och godsdistributionstrafik i Canada. Se avsnitt 7.2 och Bilaga 9 för mer detaljer om detta.

Trafikverket har börjat arbetet med att bygga dynamiska nätverksmodeller i Stockholm inom ramen för IHOP-projektet (för konventionella fordon). Det främsta syftet med arbetet är att ta fram en modell för biltrafik för att korrekt hantera köer med bakåtblocker, interaktion mellan fordon i korsningar, vävningssträckor etcetera så att jämförbara och konsistenta samhällsekonomiska kalkyler kan göras. En beskrivning av resultaten ges i Almroth m.fl. (2014). Denna modell förefaller överensstämma väl med visionerna om en mer realistisk modell som förs fram i NCHRP-rapporterna, även om det primära syftet är ett annat. Beräkningstider för modellen avseende Stockholm är idag ungefär ett dygn. Vi har en del framför oss för att nå visionerna i NCHRP-rapporterna där tusentals uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon ska kommunicera med varandra och med en övergripande styrmodell av detta slag för att optimera trafiksystemets beteende.

### 7.1.2 Aktivitetsbaserade modeller

Liksom på andra håll i världen arbetar man i Sverige med utvecklingsprojekt för aktivitetsbaserade modeller. Visionen går ut på att bygga syntetiska befolkningar, och för dessa skapas sedan aktiviteter under dygnet som då och då kräver transporter. Den sammanlagda tiden för transporter och andra aktiviteter måste naturligtvis rymmas i befintliga tidsbudgetar.

För nätverksutläggning av de efterfrågematriser som konstrueras från aktivitetsbaserade modeller är det naturliga valet att nyttja dynamiska nätutläggningsmetoder av den typ som används inom IHOP-projektet (se föregående avsnitt 7.1.1). I de visioner som presenteras av Zmud m.fl. (2018b) föreställer man sig att detta görs på en mycket avancerad nivå jämfört med idag, med frekventa statusuppdateringar i systemet mellan fordon, och omedelbara uppdateringar av ruttvalen för samtliga involverade fordon.

Ett forskningsprogram vid KTH har påbörjats som syftar till att gå från utveckling till implementering av nästa generations trafik- och transportmodeller för personresor, CTS (2016). Estimering av nästa generations aktivitetsbaserade modeller har varit ett särskilt fokus sedan tidigare, men ett skifte sker nu från estimering till implementering i prognos-system, med dess gränssnitt mellan efterfrågemodell och mesoskopisk, dynamisk nätutläggning.

## 7.2 Godstransporter

Den nationella godstransportmodellen Samgods är i nuläget en normativ, kostnadsminimerande modell. Efterfrågematriser konstrueras baserat på varuflödesunder-

<sup>5</sup> "New research from the University of California, Berkeley (Harb et al. 2017) shows that VMT could increase more than 80% from travelers making additional trips, traveling farther, or sending the car to pick up deliveries."

sökningar, utrikeshandelsstatistik, nationalräkenskaper och information om företag i olika branscher per kommun. De betraktas än så länge som helt oelastiska, det vill säga förändrade transportmöjligheter påverkar inte efterfrågade godsvolymer.

Transporterna allokeras till olika transportkedjor av den kostnadsminimerande logistikmodellen som beaktar kostnader för:

1. Lastning/Lossning (i noder)
2. Omlastning/Transfer mellan transportslag (i noder)
3. Infrastrukturkostnader på länkar
4. Transportkostnader på länkar
5. Ordersärkostnader (fördelat på avsändare/mottagare)
6. Lagerhållningskostnader (fördelat på avsändare/mottagare)

Transportkedjorna utgörs av olika kombinationer av väg-, järnvägs-, sjöfarts- och flygtransporter (med ett eller flera transportslag). Transportmöjligheterna bestäms av nätverken för respektive transportslag och fastställda transfermöjligheter per varugrupp i lastbils- och järnvägsterminaler, hamnar med mera.

Ett utvecklingsarbete pågår med syftet att estimerar en logistikmodell i form av en multinomial logitmodell för de 16 ingående varugrupperna (NST 2007) som ingår från och med basåret 2016. När den sätts i produktion blir det stora förändringar jämfört med idag.

De väsentliga skillnaderna i en framtid med automatiserade transportfordon är att transportkostnaderna kommer att minska. På motsvarande sätt som för persontransportmodellerna behöver man införa automatiserade fordon som kan användas istället för de konventionella där så är lämpligt. Automatiskt framförda lastbilar ger sannolikt lägre transportkostnader eftersom kvalificerade förare inte kommer att behövas i samma utsträckning som nu. Inget förarbehov medför att transporttiderna inte begränsas av körtidsregler för mänskliga förare. Automatiseringen kommer sannolikt att öka fordonskostnaderna, men stordriftsfördelarna leder sannolikt till minskade totalkostnader. En sådan sak som att det ex vis inte krävs bekväma förarutrymmen för självkörande lastbilar bidrar sannolikt till reducerade fordonskostnader. För att modellerna ska kunna fånga de kostnadsminskningar som uppstår som en effekt av att regler kring dygnsvila, m.m. inte behövs i en framtid med samverkande och automatiserade fordon krävs det givetvis att dagens modeller inkluderar de aspekterna.

I de amerikanska NCHRP-rapporterna anser man att dagens modeller efter uppdatering av kostnader bör fungera. Det är mycket fokus på lastbilstransporter, med andra transportslag inblandade i mellanstatliga transporter. Enligt Zmud m fl (2018b) fungerar det som nedan:

*Commodity flows are then segmented by long-distance or interstate movements and short distance or intrastate movements. Interstate trips are assigned to modes (air, rail, and truck). **Mode choice is completed with a fixed allocation model with historical average mode proportions by commodity type found in the Freight Analysis***

**Framework data for the Freight Analysis Framework zone pair and commodity in question.** *Intrastate trips are assigned to one of two truck types: heavy or medium. This assignment is based on commodity type and volume according to Vehicle Inventory and Use Survey data. Any unobserved heavy truck vehicle miles traveled (VMT) in the model as compared with Highway Performance Management System data is presumed to reflect unmodeled through trips (e.g., empty truck movements or backhauls). Any unobserved medium truck VMT in the model as compared with Highway Performance Management System data is assigned to pick-up and delivery trips.*

Man anger också att vill man i modellen hantera vilotidsregler, och förändringar av dessa för automatiserade fordon, behöver befintliga modeller kompletteras med vilotidsregler som sedan kan revideras/tas bort för fall där de ändras.

I befintlig Samgods-modell anses att konsolidering av gods på lastbilar görs "direkt" för transporter mellan avsändare (PW) respektive mottagare (WC). De uppsamlings- och distributionstransporter som görs på lokal nivå kan inte hanteras på ett bra sätt i Samgods. Väsentliga orsaker är dels avsaknad av distributionsrutter i modellen, dels de förhållandevis höga omlastningskostnaderna som missgynnar transportkedjor med många omlastningar/transfers. Med automatiserade fordon i kombination med automatisering av lassning och lossning kan det finnas anledning se över detta i framtiden. Även drönare kan vara aktuella för detta enligt NCHRP.

Den saknade hanteringen av distributionsrutter i kombination med att behovet av sådan modellering sannolikt ökar med nya logistikupplägg som använder samverkande och automatiserade fordon gör att det torde finnas ett intresse av att ta fram sådana modeller. En befintlig modellansats för hantering av distributionsrutter som skulle kunna vara användbar presenteras i sektion 9 Bilaga. Modellen bygger på information om hela rundturer med fraktfordon och använder tre modellvarianter; en för transporter in och ut ur staden, en för områdesuppdelade turer (post, sophämtning, tidningsutdelning och liknande) och en för övriga leveransturer (dessa står för cirka två tredjedelar av leveranserna i Calgary). Den tredje varianten är den som utmärker sig genom att simulera typ av leveransrunda, fordonstyp, typ av leverans för nästa stopp, lokalisering av nästa stopp och tid vid nästa stopp. Beslut för varje fordon fattas efter varje stopp, dvs. om det ska bli ett steg till i leveransrundan eller om rundan ska avslutas och fordonet köras tillbaka till start.

Modellen används till att analysera effekter av att km-kostnader ökar, restider påverkas (trängsel), det införs restriktioner i nätverket som påverkar framkomligheten, kostnader för tullar förändras och liknande frågeställningar.

### 7.3 Samhällsekonomiska kalkyler

Ett transportsystem som på vägsidan domineras av uppkopplade, självkörande fordon ställer stora krav på revision av de samhällsekonomiska modeller vi har idag. För persontransporter gäller det främst Samkalk, när vi talar om analyser på regional och

38(51)

RAPPORT  
2019-02-14  
RAPPORT

nationell nivå. Men det gäller i hög grad också för EVA-kalkyler (Effekter vid VägAnalyser) som primärt används vid mindre nybyggnader och ombyggnader av ett befintligt vägsystem.

Den gemensamma nämnaren är de effektberäkningsmodeller som används för att beräkna fördröjningar, restider, externa effekter (emissioner och olyckor) med mera för vägfordon på länkar och i noder. Med betydande andelar uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon i fordonsparken kommer en stor del av befintliga effektsamband behöva revideras. Det gäller såväl parametervärden i befintliga funktionssamband, som behov av nya funktioner. Med en förväntad elektrifiering av fordonsflottan kommer merparten av emissioner till luft att nollas. Kvar blir hur klimatgaser, CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, associerade med elproduktion vilka av tradition har associerats med sektorn elproduktion. Huruvida de utsläppen bör redovisas i transportsektorn när den blir slutförbrukare av mycket elkraft blir en sak att utreda. Så länge som svensk elproduktion består av kärnkraft och grön el blir klimateffekten mycket begränsad, givet att produktion av fordonen inte räknas in.

Det beräknade antalet olyckor och olyckskostnader förväntas sjunka med en dominerande andel självkörande bilar i fordonsflottan. Skulle så inte bli fallet lär det bli svårt att få acceptans för en storskalig introduktion av självkörande fordon, både från allmänheten och från berörda beslutsfattare. Initialt kommer det sannolikt krävas kvalificerade bedömningar för att välja parametervärden i befintliga effektsamband för att få fram resultat. Med tiden kommer observationer och simuleringresultat att kunna användas som indata för uppdatering av effektmodellerna. För en översyn av de studierna i den här riktningen som redan finns, se Milakis m fl (2017).

För SAE-nivåerna 1–3, där fordonen inte är helt automatiska, bedöms ända att passiva inbyggda system som nödbroms, filbytesvarning, sidohindervarning med mera kommer att reducera antalet olyckor och allvarlighetsgraderna av dessa. Sådana fall kan vara täta stadsmiljöer med komplicerade trafikmiljöer (många körfält, mix av trafikanter, mix av bil- och busstrafik med mera). Det skulle också kunna vara situationer med dåliga väderförhållanden med snö och is, eller vägar med markeringar som är så nedslitna att fordonens sensorer inte kan nyttja dem.

Trafikverket (2018) understryker ovanstående argumentation när de poängterar att en stor del av trafiksäkerhetsvinsten med CAV-fordon kan hämtas hem genom avancerade förarstödsystem. Den ökade nyttan av självkörande bilar i sig blir därför mindre.

Centralt för att bedöma restidsnyttor i kalkylerna är

1. Antal resor i olika OD-relationer,
2. Restiderna,
3. Avstånden,
4. Tidsvärdena, och
5. Km-kostnaderna.

För beräkning av dessa behövs reviderade tidsvärden och km-kostnader, som vi diskuterat i avsnitt 6.1–6.2. Restiderna beräknas traditionellt baserat på jämviktslösningar i nätverk med varierande grad av trängsel. I allmänhet är det restidssamband i form av flödesvolym-restids-samband per länk, så kallade vd-funktioner (volume-delay functions). Mycket arbete har lagts ner över tid för att ta fram bra sådana samband för användning i statistiska jämviktsmodeller som Emme. Nya samband kommer sannolikt att behövas med många uppkopplade fordon i trafiken där det finns förväntningar på

1. Att fordonen följer trafikreglerna
2. Fungerande automatik som snabbt och effektivt reagerar följsamt på förändringar i omgivande trafik
3. Att säkerhetsavstånd mellan fordon respekteras
4. Att hinder och incidenter av olika slag kommuniceras till ankommande fordon så att fordonen på ett effektivt sätt kan passera flaskhalsar med ett högt genomflöde

Det resulterande effekterna på restiderna kan vi endast göra kvalificerade bedömningar av till att börja med, men det borde fungera, åtminstone tekniskt, att hämta in anonymiserade restider från många uppkopplade fordon för att samla in restidsdata. Faktum är att det borde vara en enkel uppgift att samla in faktiska restidsdata genom att låta självkörande fordon cirkulera i trafikmiljön på datainsamlingsuppdrag! Men hur fånga motsvarande flöde? Det skulle kunna göras med vanliga trafikmätningmetoder. Emellertid kan det finnas möjlighet att nyttja fordonets kunskap om sin omgivning och beräkna fordonstätheten på länkarna. Med fordonstäthet [antal fordon/km] och hastighet [km/tim] erhålls flödet som

fordonsflöde = fordonstäthet \* hastighet [fordon/timme].

### 7.3.1 Samkalk

Samkalk är en samhällsekonomisk kalkylmodell integrerad med Sampers. Med prognosticerade efterfrågevolymer, restider, resavstånd från Sampers och indata enligt ovan görs samhällsekonomiska kalkyler baserat på skillnader mellan två scenarier, JA respektive UA, där JA = jämförelsealternativ och UA = utredningsalternativ. Trafik och transporter som ingår idag är

1. Bilresor som förare
2. Bilresor som passagerare
3. Kollektivtrafik uppdelat på buss, pendeltåg, regionalståg, spårvagn, tunnelbana, ...
4. Cykel
5. Gång
6. Transporter med tung lastbil, utan resp med släp

I en kalkylmodell som omfattar en stor mängd självkörande fordon torde det bli aktuellt att göra en finare indelning av ovanstående kategorier ungefär som nedan. I kategori 1 tillkommer trafik med självkörande fordon som kör mellan uppdrag eller till/från parkering där det bedöms lämpligt (ej i centrala delar av städerna där P-platser blir alltför dyra). Eftersom inga personer reser med så är tidsvärdena 0, men det uppstår avstånds-kostnader och de bidrar till trängseln i trafiksystemet. För de som reser med självkörande fordon kan det diskuteras om de bör räknas som förare eller passagerare. De som reser med delade fordon torde räknas som passagerare, men en av dem kan sägas vara förare. I samtliga fall med personer i fordonen tillkommer tidsvärden. Det är en definitionsfråga, men möjligen kan det vara så att resor med delade fordon snarare bör betraktas som kollektivresor med en anropsstyrd trafik. För självkörande fordon i (anropsstyrd) kollektivtrafik är det fråga om huruvida de ska anses ingå i ett mer eller mindre fast rutt/linje-upplägg i kategori 3B, eller om de snarare ingår i mer individuella lösningar som i kategori 2C. Tung fordon slutligen kan i princip behandlas som nu medan självkörande fordon associeras med andra tids- och avståndskostnader.

1. A. Bilresor som förare  
B. fordonet självkör mellan uppdrag  
C. fordonet självkör till/från parkering
2. A. Bilresor som passagerare (traditionell)  
B. Bilresa som *passagerare* automatiserat fordon  
C. Bilresa som *passagerare* delat automatiserat fordon
3. Kollektivtrafik uppdelat på  
A. buss, pendeltåg, regionaltåg, spårvagn, tunnelbana, ... (traditionell)  
B. delat självkörande fordon i matartrafik  
...
4. Cykel
5. Gång
6. A. Transporter med tung lastbil, utan resp med släp (traditionell)  
B. Transporter med självkörande tung lastbil

Resultaten sammanfattas under fem rubriker i den samhällsekonomiska kalkylen.

- |   |                     |  |
|---|---------------------|--|
| 1 | Producentöverskott  | Avser främst effekter för kollektivtrafiken (biljettintäkter, driftskostnader, och moms) |
| 2 | Budget              | Effekter på statens budget (moms och drivmedelsskatter)                                  |
| 3 | Konsumentöverskott  | Effekter för resenärerna (restidsnyttor och reskostnader)                                |
| 4 | Externa effekter    | Värdering av emissioner till luft, CO <sub>2</sub> och olyckor (döda och skadade)        |
| 5 | Drift och Underhåll | Drift och underhåll för JA- resp UA-nätverken  |

Summan av nyttoposter och värderade effekter ställs sedan mot de investerings- och åtgärds-kostnader som krävs för att realisera UA. Om summa nyttor överstiger investeringskostnaderna är projektet lönsamt.

### 7.3.2 EVA

EVA-modellen räknar i princip på samma sätt som Samkalk när det gäller effekter associerade med länkar och noder i vägnätet. Kollektivtrafik, cykel och gång hanteras inte i EVA, inte heller ruttval och skillnader i fordonsflöde mellan JA och UA. Det är alltså exakt samma trafik både i JA och UA, det som skiljer mellan dem är restids- och avståndsförändringar för den givna trafiken och de externa effekterna (emissioner och olyckor). Det bör kunna bli en del effekter av automatiserade fordon under rubrikerna Budget samt Drift och Underhåll, men de är vanligen små.

## 7.4 Forskningsbehov kring effektsamband

Mot bakgrund av det påtalade behovet av nya indata som behövs för anpassning och utveckling av person- och godstransportmodellerna, och för att kunna göra samhälls-ekonomiska kalkyler med Samkalk och EVA, inser vi att det behövs mycket forskning och utveckling för att ta fram indata om tidsvärden, kostnader, emissioner, hastighets-flödessamband etc. I Trafikverkets utvecklingsplan, Trafikverket (2018), pekas på bland annat behovet av information om fordonsteknik och trafiksäkerhet för oskyddade trafikanter. Området torde vara mycket aktuellt i vårt framtidsscenario med en stor andel självkörande fordon. Det gäller även för området avseende värdering av restid, komfort och trängsel.

Inom ramen för studier på dessa områden vore det därför lämpligt att ta höjd för en framtid med uppkopplade, automatiserade, självkörande fordon.



## 8 Slutsatser

Generellt sett pågår ett mycket omfattande arbete runt om i världen för att utveckla tekniken för att möjliggöra introduktion av uppkopplade, självkörande fordonssystem i transportsystemet. Parallellt med detta förekommer mycket forskning och utveckling kring hur detta kan hanteras i de trafik- och kalkylverktyg som behövs för att analysera hur transportinfrastrukturen behöver utvecklas och anpassas till utvecklingen.

Modell- och kalkylverktyg som Sampers, Samkalk och Samgods med mera används dels för nuläges- och policy-analyser för analys av åtgärdsbehov och vilka samhälls-ekonomiska effekter de leder till, dels för att göra prognoser och samhällsekonomiska kalkyler för infrastrukturinvesteringar och andra åtgärder för att transportsystemet ska fungera så bra som möjligt. För att göra detta är det naturligtvis väsentligt att även i en eventuell framtid med självkörande fordon kunna bedöma hur trafikvolymerna kommer att påverkas beroende på hur värderingar, resmöjligheter, transportkostnader, transportkapacitet med mera utvecklas. Vi har i detta projekt, i likhet med många andra, ex vis pekat på att resor med självkörande fordon, och eventuella parkeringstransporter utan resenäring, kan komma att bli så tillgängliga att trafikmängderna leder till ökade trängselproblem. Förväntningar finns på att sådana problem ska motverkas genom att de självkörande fordonen utrustas med så mycket AI (artificiell intelligens) och samverkan att kapacitetsproblem blir hanterbara, eller inte ens uppstår.

I Trafikverkets arbete med befintliga modellsystem ligger fokus på att förbättra dessa givet dagens förutsättningar. Dagens modellsystem, oräknat dess föregångare, är c:a 20 år gamla. I en del optimistiska visioner skulle de självkörande fordonen kunna utgöra en stor andel av fordonsparken om 20 år. Även med den optimistiska visionen torde det vara fullt möjligt att anpassa modellsystemen till att omfatta en successivt ökad andel självkörande fordon. Under tiden skulle även mer kunskap erhållas om hur egenskaperna hos systemen påverkar deras användning och eventuella kapacitetsproblem i transportsystemet i allmänhet, och vägsystemet i synnerhet. Kunskapsbehovet pekas ut som centralt av tjänstemän på Trafikverket.

En synpunkt på modellering i allmänhet är att för det fall att teknik- och samhällsutvecklingen leder till en stor andel självkörande fordon, så borde uppgiften att beskriva det på ett förenklat, aggregerat sätt i modellerna kunna hålla jämna steg med den utvecklingen. Jämfört med de tekniska svårigheterna och legala aspekterna att hantera självkörande, och även ensamkörande fordon, bör uppgiften att modellera detta på ett relevant sätt utgöra en mindre, hanterbar utmaning.

## Referenser

- Almroth, A., Berglund, S., Canella, O., Engelson, L., Flötteröd, G., Jonsson, D., . . . West, J. (2014). *Further development of SAMPERS and modeling of urban congestion*. Stockholm: Centre for Transport Studies.
- Atkins. (2016). *Impacts of connected and autonomous vehicles on traffic flow: summary report*. Atkins.
- Burghout, W., Rigole, P. J., & Andreasson, I. (2015). 2015. *Proceedings of the 94th annual meeting of the Transportation Research Board*.
- Chen, D. T., 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: Policy and Practice*(94), 243-254.
- CTS. (2016). *Årsrapport 2016 för Centrum för Transportstudier*. Stockholm: Centrum för Transportstudier.
- Cyganski, R., Fraedrich, E., & Lenz, B. (2015). Travel time valuation for automated driving: a use-case-driven study. *94th annual meeting of the transportation research board*. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Einride. (den 7 Mars 2019). Hämtat från <https://www.einride.tech/>
- Eriksson, P., Sachse, C., Sahlgren, D., & Hill, P. (januari 2019). Intervjuer om en framtid med uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon. (L. Ramstedt, Intervjuare)
- Friedrich, B. (2016). The effect of autonomous vehicles on traffic. *Autonomous Driving*, 317-334.
- Fölster, S. (den 07 Januari 2019). Stora vinster med självkörande taxi. *SvD Debatt*, s. 4.
- Gruel, W., & Stanford, J. M. (2016). Assessing the Long-Term Effects of Autonomous Vehicles: a speculative approach. *Transportation research procedia*(13), 18-19.
- Grumert, E. (2018). *Using Connected Vehicles in Variable Speed Limit Systems: System Design and Effects (PhD dissertation)*. Norrköping: Linköpings universitet.
- Hunt, J., Stefan, K., Brownlee, A., MacMillan, J., Farhan, A., Tsang, K., . . . Ishani, M. (2004). A Commercial Movement Modelling Strategy for Alberta's Major Cities. *Annual Conference of the Transportation Association of Canada*. Quebec.
- ITF. (2014). *Urban Mobility System Updgrade - How shared self-driving cars could change city traffic*. International Transport Forum/OECD.
- Johansson, O. (2018). Samgods Large PowerPoint-presentation 2018-06-05. Stockholm: Trafikverket.
- Järfälla kommun. (den 27 Februari 2018). *Självkörande bussar blir verklighet i Barkarbystaden*. Hämtat från <http://www.barkarbystaden.se/>
- Krafft, E. S. (den 18 januari 2019). Snart kan föraren snarka i bilen. *SvD Bil&Motor*, s. 7.
- Kristoffersson, I., Pernestål-Brenden, A., & Mattsson, L.-G. (2017). *Framtidsscenarioer för självkörande fordon på väg, Samhällseffekter 2030 med utblick mot 2050*. Linköping: VTI.
- Lam, A. Y., Leung, Y.-W., & Chu, X. (2016). Autonomous Vehicle Public Transportation System: Scheduling and Admission Control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(5), 1210-1226.
- Lind, G., Davidsson, F., Strömberg, P., & Svensson, K. (2016). *Nya effektsamband till följd av utvecklingen av semi-automatiska fordon*. Movea.
- Milakis, D., Snelder, M., van Arem, B., van Wee, B., & Correia, G. (2017). Development and transport implications of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for

44(51)

RAPPORT  
2019-02-14  
RAPPORT

- 2030 and 2050. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 17(1), 63-85.
- Milakis, D., van Arem, B., & van Wee, B. (2017). Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research. *Journal of Intelligent Transport Systems*, 21(4), 324-348. doi:10.1080/15472450.2017.1291351
- Olstam, J. (den 27 mars 2019). Intervju gällande en framtid med en stor andel uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon. (M. Posada, Intervjuare)
- Parkinson, S., Ward, P., Wilson, K., & Miller, J. (2017). Cyber threats facing autonomous and connected vehicles. Future challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*(18), 2898-2915.
- Pernestål Brenden, A., & Kristoffersson, I. (2018). *Effects of driverless vehicles: A review of Simulations (CTS Working Paper 2018:11)*. Stockholm: Centre for Transport Studies.
- Petit, J., & Shladover, S. (2015). Potential cyberattacks on automated vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transport Systems*(16), 546-556.
- Posada, M. (2018). *Models and algorithms for integrated special transport services*. Norrköping: Linköping University Electronic Press, Licentiatavhandling.
- PTV Group. (2018). *What is new in PTV Vissim/Viswalk 11*. Karlsruhe: PTV AG.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5:e uppl.). New York: Simon and Schuster.
- SAE International. (2018). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles J3016\_201806*. USA: On-Road Automated Driving (ORAD) committee. doi:10.4271/J3016\_201806
- SOU. (2016:28). *Vägen till självkörande fordon – försöksverksamhet*. Statens offentliga utredningar.
- Stefan, K., McMillan, J., & Hunt, J. (2005). Urban commercial vehicle movement model for Calgary, Alberta, Canada. *Transportation Research Record*, 1921, 1-10.
- Sukennik, P. (2018). *Micro-simulation guide for automated vehicles*. PTV Group. CoEXist.
- Trafikanalys. (2017). *Självkörande fordon och transportpolitiska mål, Rapport 2017:20*. Stockholm: Trafikanalys.
- Trafikverket. (2018). *Analys - Trafikflöden och självkörande fordon Drive Me försökssträcka*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2018). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.1*. Trafikverket.
- Trafikverket. (2018). *Transportplanering 2.0. En åtgärd initierad av Miljömålsrådet*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2018). *Utvecklingsplan för transportekonomi och kapacitetsanalys*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2018a). *Sampers 3.4 Användarhandledning*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2018b). *Analys - Trafikflöden och självkörande fordon Drive Me försökssträcka*.
- Trafikverket. (2018c). *Samgods User Manual v1.1.1*. Östersund: Trafikverket.
- Trafikverket, Statens vegvesen, Liikennevirasto. (2018). *ITS Terminology - Terms and Definitions*.
- TRB. (2017). *Strategies to Advance Automated and Connected Vehicles*. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Trimble, T. E., Baker, S., Wagner, J., Blano, M., Mallory, B., & Serian, B. (2018f). *Implications of Connected and Automated Driving Systems, Vol. 6: Implementation Plan*. Washington, DC: Transportation Research Board, NCHRP.

- Trimble, T. E., Baker, S., Wagner, J., Blanco, M., Wagner, W., Loftus-Otway, L., . . . Gould, P. (2018e). *Implications of Connected and Automated Driving Systems, Vol. 5: Developing the Autonomous Vehicle Action Plan*. Washington, DC: Transportation Research Board, NCHRP. doi:10.17226/25291
- Trimble, T. E., Baker, S., Wagner, J., Wagner, W., Loftus-Otway, L., Mallory, B., . . . Gould, P. (2018d). *Implications of Connected and Automated Driving Systems, Vol. 4: Autonomous Vehicle Action Plan*. Washington, DC: Transportation Research Board, NCHRP.
- Trimble, T. E., Loftus-Otway, L., & Gallun, S. (2018a). *Implications of Connected and Automated Driving Systems, Vol. 1: Legal Landscape*. Washington, DC: Transportation Research Board, NCHRP. doi:10.17226/25296
- Trimble, T. E., Loftus-Otway, L., Gallun, S., Morrissey, S., Havinoviski, G., Serian, B., & Johnson, G. (2018b). *Implications of Connected and Automated Driving Systems, Vol. 2: State Legal and Regulatory Audit*. Washington, DC: Transportation Research Board, NCHRP. doi:10.17226/25294
- Trimble, T. E., Wagner, J., Wagner, W., Loftus-Otway, L., Mallory, B., Gallun, S., . . . Gould, P. (2018c). *Implications of Connected and Automated Driving Systems, Vol. 3: Legal Modification Prioritization and Harmonization Analysis*. Washington, DC: Transportation Research Board, NCHRP. doi:10.17226/25293
- Trivector. (2016). *Konsekvenser av Mobility as a Service - Jämförelse av alternativa scenarier för implementering av nya mobilitetstjänster (förstudie)*. Lund: Trivector.
- Waymo. (den 4 Mars 2019). Hämtat från <https://waymo.com/>
- Vivek, S., Yanni, D., Yunker, P., & Silverberg, J. (2017). Collective behavior and emergent risks in a model of human-and autonomously-driven vehicles. *arXiv preprint arXiv:1708.03791*.
- Vivek, S., Yanni, D., Yunker, P., & Silverberg, J. (2019). Cyber-physical risks of hacked Internet-connected vehicles. *Bulletin of the American Physical Society. Presented at the APS March Meeting 2019, American Physical Society*.
- Yap, M. D., Correia, G., & van Arem, B. (2016). Preferences of travellers for using automated vehicles as last mile public transport of multimodal train trips. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*(94), 1-16.
- Zmud, J., Williams, T., Outwate, M., Bradley, M., Kalra, N., & Row, S. (2018a). *Updating Regional Transportation Planning and Modeling Tools to Address Impacts of Connected and Automated Vehicles - Volume 1: Executive Summary*. Washington, DC: Transportation Research Board, NCHRP.
- Zmud, J., Williams, T., Outwate, M., Bradley, M., Kalra, N., & Row, S. (2018b). *Updating Regional Transportation Planning and Modeling Tools to Address Impacts of Connected and Automated Vehicles - Volume 2: Guidance*. Washington, DC: Transportation Research Board, NCHRP.

## 9 Bilaga: Exempel på ruttgenereringsmodell för service- och distributionstransporter

En modell för ruttgenerering som påträffats i ett tidigare arbete tas med som exempel på hur rutter kan genereras för distributionstrafik avseende service-, hantverks- och godsdistributionstransporter. Modellen skulle kunna vara användbar för att hantera såväl person- som godstransporter med uppkopplade, självkörande fordon.

### 9.1 Konstruktion av ambitiös modell för den lätta yrkestrafiken

I Kanada har man för städerna Calgary och Edmonton utvecklat en ambitiös modell för kommersiell trafik, d v s för PbY-trafiken (Pb och Llb i yrkestrafik). Argumenten för att ta fram en särskild modell för den kommersiella trafiken för dessa städer är samma som framförs i Sverige och rör behovet att bättre kunna beskriva gods-, service- och övriga transporter i urbana och regionala miljöer som inte omfattas av vanliga personresemodeller. Den generella andelen som den kommersiella trafiken utgör ligger på ungefär samma nivå som i Sverige, nämligen ca 10–15 procent. Definitionen på kommersiell trafik i den kanadensiska modellen är att ersättningen till utföraren/transportägaren överstiger sedvanlig reskostnadsersättning. Framförda motiveringar till särskild hantering av den kommersiella trafiken i städer är (Stefan, McMillan, & Hunt, 2005) och (Hunt m.fl., 2004)):

1. Koncentration till andra områden är persontrafik
2. Annan fördelning över tid för kommersiell trafik
3. Högre tidsvärden för kommersiell trafik
4. Större inverkan på trafiken p g a storlek och möjligen hindrande vid lastning/lossning.
5. Tyngre fordon har större inverkan på infrastruktur och miljö.

Volymen kommersiell trafik med lätta fordon i urbana miljöer i dessa städer uppgår till mer än 50 procent av den totala mängden trafikarbete, och uppskattningsvis 50 procent av alla stopp avser ett serviceärende.

I det följande avsnittet presenteras i lite mer detalj det ambitiösa datainsamlings- och modellkonstruktionsarbetet som gjorts för de två miljonstäderna Calgary och Edmonton i provinsen Alberta, Kanada. Vi bedömer metoderna som mycket intressanta även om det kanske ligger utanför befintliga ekonomiska ramar att genomföra en så stor datainsamling som gjorts där. Det bör finnas en potential för att estimeras multinomiala logitmodeller av motsvarande typ som man gjort i Kanada baserat på exempelvis insamlade data från GPS-mottagare, för att sedan kombinera det med samsdata på områdesnivå och annan data av intresse.

### 9.2 Calgarymodellen för distributions- och servicetransporter (delmodell 1)

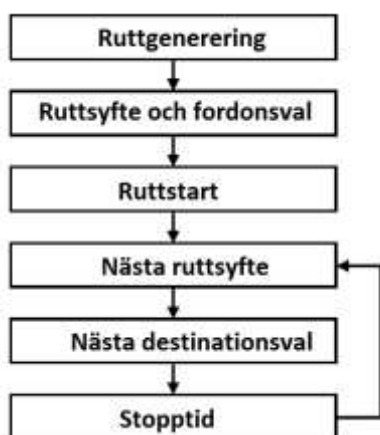
Transportsyfte (tour based movements):

- Godsdistributionstrafik primärt för lätt lastbil/personbil och lättare tunga lastbilar.
- Service-trafik med lätta fordon.

Referenserna till detta avsnitt är Stefan m.fl. (2005) och Hunt m.fl. (2004). I beskrivning av Calgarymodellen har vi använt begreppet **tur** för att avse en sekvens av transporter mellan OD-par som utgår från en startpunkt och sedan återvänder till startpunkten. Varje transport mellan OD-par betecknas **rut**.

Den primära källan till data för Calgarymodellen är en omfattande transportundersökning av antal transporter med tillhörande fordonsrörelser för utvalda företag (likt en person-resedagbok). För turer i Calgary-regionen inkluderades drygt 3 000 arbetsställen under en specifik veckodag hösten 2001. Företag lämnade information per arbetsställe om rörelserna i hela sin flotta över en 24-timmarsperiod, inklusive ursprung, destination, syfte, flotta och godsinformation. En databas med information om mer än 64 000 transporter gjordes tillgänglig för estimering och kalibrering av den ruttbaserade modellen.

Den turbaserade modellen använder en Monte Carlo mikrosimuleringsprocess för att generera individuella rutter i turerna. Till varje tur ingår vilken typ av fordon som används tillsammans med attributen för de individuella transporter som gjorts, inklusive start- och sluttid och geografiska zoner för ursprungs- och destinationsplats. För kommersiell fordonstrafik anses sedvanliga personresem modeller inte lämpliga då fler än ett stopp vanligen görs, och de är utspridda över dygnets arbetstider. Calgarymodellen låter istället varje tur växa beroende på sannolikheten att fortsätta turen till ny destination eller återvända till ursprungligt arbetsställe. Detta val omprövas efter varje stopp. Den övergripande modellen fungerar enligt Figur 9.1.



Figur 9.1. Modellstruktur över Calgarys turbaserade modell för distributions- och servicetrafik. Källa: Hunt m fl (2004).

Turgenereringen beräknar sammanlagt antal turer som genereras för alla kombinationer av branschkategori, tidsperiod och modellzon. Mängden av turer omvandlas till rutter

mellan OD-par för att kunna fördelas ut i nätverket tillsammans med persontrafiken. Antalet turer per anställd i en industri bestäms utifrån en regression som använder geografiska zonattribut som markanvändning och tillgänglighet. Detta multipliceras med antalet anställda i den relevanta zonen för att generera totalt antal turer. Turerna fördelas över fem tidsperioder med hjälp av estimerade logitmodeller, där nyttofunktionerna inkluderar zonattribut som anställningsform, tillgänglighet till befolkning, sysselsättning och alternativspecifika konstanter.

Varje tur tilldelas sedan både ett primärt syfte och fordonstyp. Detta görs med hjälp av en Monte Carlo-process där valmöjligheter bestäms med logitmodeller indelade på bransch med nyttofunktioner som inkluderar markanvändning, etableringsplats och tillgänglighetsattribut. Alternativen för det primära syftet är godshantering, tjänster eller att bedriva andra icke-kommersiella ändamål. Alternativen för fordonstyp valdes som lätt, medium och tung.

För att inkludera tidens påverkan till modellen och hantera transporter som korsar tidsperioder, håller modellen reda på turernas start- och sluttider så att transporterna kan allokeras till rätt(a) tidsperiod(er). Individuella rutter i turerna tilldelas alltså exakta starttider. En Monte Carlo-process används för att tilldela den här tiden med sannolikhetsfördelningar baserade på observerade starttider indelade per bransch och tidsperiod.

Destinationerna i rutten bestäms sedan i en iterativ process. För en given tur används endast en fordonstyp och ett primärt syfte men minst en och eventuellt fler stopp kan väljas beroende på vart tidigare stopp slutar. För att modellera detta itererar modellen mellan val av nästa ruttsyfte, nästa destinationsval och stopptid. Nästa ruttsyfte väljs utifrån alternativen godshantering, service, annat syfte eller återresa till anläggning. Om det primära syftet med turen är godshantering, så är inte tjänstealternativet möjligt för att avsluta turen och vice versa. Om det valda syftet är återresa till arbetsstället, så är nästa stopp redan känt och modellen går vidare till nästa tur. Återigen används en Monte Carlo-process för att välja turens syfte. Valsannolikheter bestäms med användning av logitmodeller med nyttofunktioner som inkluderar antalet stopp som gjorts, total förfluten tid för rutten samt avståndet från befintlig plats till turens startpunkt.

När syftet med nästa stopp är valt och fordonet inte ska tillbaka till arbetsstället, väljs destinationen för nästa stopp. Återigen används en Monte Carlo-process där valsannolikheter för alla geografiska zoner definieras av en logitmodell. Nyttofunktionen innehåller attribut såsom socioekonomiska värden i zoner, population, markanvändningstyp, generaliserad kostnad för resa, generaliserad kostnad för återresa till arbetsställe och vinkelberäkning som representerar huruvida ett stopp är på väg mot eller bort från turens startpunkt. Restiden till nästa stopp ackumuleras i turens totala transporttid. Åtskillnad görs på totaltid och transporttid.

Stopptiden är den tid som fordonet stannar i destinationen för exempelvis avlastning av gods. Stopptiden ackumuleras i turens totaltid. En Monte Carlo-process används för att bestämma hur lång tid stoppet tar, med sannolikhetsfördelningar baserade på

observerade stopptider. Modellen itereras sedan tillbaka till nästa syfte för nästa rutt i turen.

I Tabell 9.2 görs ett försök att sammanfatta den ovan beskrivna turgenereringsmetoden i Calgarymodellen.



Tabell 9.2. Översikt för generering av gods- och servicetransporter i urban miljö (Kanada)

Typ av modell	Indata	Typ av modell	Output
<b>Turgenerering</b>	Antal arbetsställen fördelade över bransch och geografisk zon.  Zonattribut (Markanvändning och tillgänglighet)	<b>Regression</b>	Alla genererade turer
<b>Tursyfte och fordonsval (Tour purpose and vehicle choice model)</b>	Viktningsvariabler  Tursyfte  Syfte beroende av markanvändning (geografiskt område)  Företagssyfte  Fordonstyp till företag  Fordon beroende av markanvändning  Befolkningstillgänglighet för givna zoner  Syssetsättningstillgänglighet för givna zoner	Monte Carlo process: Valsannolikheter bestäms av <b>Nyttofunktion</b> och <b>Logitmodell</b>	Tursyfte för genererade turer
<b>Turstart (Tour start time model)</b>	Dagligt totalt antal turer  Observerade starttider per bransch och tidperiod.	Antal rutter i specifikt tidsintervall bestäms m h a <b>Logitmodell</b>  Monte Carlo process för <b>Starttid</b>	Turers och rutters starttider
<b>Nästa destinationssyfte (Next Stop Purpose Model)</b>	Nästa destinationssyfte bestäms utifrån det tidigare ruttsyftet, antal tidigare stopp och total förfluten tid för ruten.	Valsannolikheter bestäms av <b>Nyttofunktion</b> och <b>Logitmodell</b>	Nästa destinationssyfte
<b>Nästa ruttdestination</b>		Monte Carlo process: <b>Logitmodell</b>	
<b>Tidsåtgång stopp</b>			