



SLUTRAPPORT

TRAFIKVERKET

SJÄLVKÖRANDE FULLÄNGDSBUSS PÅ TVÄRFÖRBINDELSE SÖDERTÖRN

UPPDRAGSNUMMER 30010954

SCENARIOS OCH SYSTEMEFFEKTER



SLUTRAPPORT

2021-04-12

SWECO ITS & TRAFIKSYSTEM, KTH

**SWECO: THOMAS SJÖSTRÖM, MAGNUS HJÄLMDAHL,
ALVA LARSSON**

**KTH: ERIK ALMLÖF, ANNA PERNESTÅL,
MIA XIAOYUN ZHAO**

Sammanfattning

Föreliggande slutrapport är finansierad av Trafikverkets Fol portfölj, strategiska initiativ, för projekt *Självkörande eldriven stombuss på Tvärförbindelse Södertörn – En skalbar fallstudie* (TRV 2019/118695). Partners i projektet är Trafikverket, Scania, Volvo, Keolis, KTH samt Sweco där även Trafikförvaltningen Region Stockholm, Nobina och projekt Tvärförbindelse Södertörn har bidragit till arbetet som pågått från maj 2020 till mars 2021. Ansvarig för projektet inom Trafikverket har varit Stora projekt.

För att skapa en förståelse för konsekvenser av tekniska utveckling i relation till nödvändiga fysiska och digitala åtgärder har tre scenarier tagits fram: Bus Driver Plus, Automation with Adaption och Automation Utopia. Dessa scenarier beskriver olika nivåer av automation och behov av kringliggande stödsystem. I det första scenario finns en förare ombord på bussen som tar över körningen vid farliga situationer. Det andra scenariot avser en självkörande buss utan förare där den fysiska infrastrukturen har anpassats genom ett införande av ett eget busskörfält. Det sista scenariot beskriver en framtid där bussen helt förlitar sig på digital teknik och en operatör kontrollerar körningen av flera fordon från ett avsides kontrolltorn.

De tre scenarierna utvärderades genom en *samlad effektbedömning*, Trafikverkets metod för att utvärdera åtgärder. Resultaten visar att den största vinsten av automatisering kan handla om resenärernas bekvämlighet och inte nödvändigtvis om att minimera kostnader för förare. Antaganden om att resenärerna kan uppleva resan bekvämare är troligtvis överskattade, men resultaten visar att även små förbättringar i bekvämlighet kan ge stora samhälleliga vinster.

Scenariot där bussen har ett eget körfält innebär mycket stora kostnader och är troligtvis inte ekonomiskt försvarbart. Dessutom kommer enbart en busslinje att trafikera motorleden som dessutom består av 3 tunnlar. Vidare är det inte säkert att den aktör som gör nödvändiga investeringar är den aktör som får ta del av de samhälleliga vinsterna. I scenariot skulle Trafikverket stå för stora delar av investeringskostnaden, medan vinsten för personalbesparingar uppstår för Region Stockholm och kollektivtrafikresenärerna som åker längs sträckan.

Projektet har även undersökt hur multimodala hubbar (nod som möjliggör smidigt byte mellan olika transportmedel) längs med förbindelsen kan stödja eldrivna och självkörande bussar. Det är viktigt att ny väginfrastruktur bidrar till en attraktiv kollektivtrafik där resenärer i första hand väljer buss istället för bil. För att eldrivna och självkörande bussar ska införas behöver Region Stockholm ställa nya krav i upphandlingar för att åstadkomma en förändring i transportsystemet. Nya krav som skapar ekonomiska incitament för operatörer som utför den operativa verksamheten över lång tid. Det är dock problematiskt att ställa krav på eldrift eftersom det saknas tillgänglig infrastruktur i Stockholm.

Avseende självkörande fullängdsbussar är tekniken helt enkelt inte tillräckligt mogen idag. Dock tror många experter att självkörande bussar kommer att införas, både i stadsmiljö och glesbygd, när tekniken och samhället är redo för det, gissningsvis kring år 2030.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Metod	1
1.3	Bakgrund	2
1.3.1	Södertörn- ett expansivt område	2
1.3.2	Fysiska och digitala åtgärder för automatisering	3
2	Omvärldsbevakning – Autonoma bussar	6
2.1	Singapore	6
2.1.1	Volvo Buses och Nanyang Technological University (NTU)	6
2.2	Storbritannien	7
2.2.1	CAVForth	7
2.3	USA	7
2.3.1	Självkörande fullstora bussar i Connecticut	7
2.4	Sverige	8
2.4.1	Digital säkerhet för autonoma fordon	8
2.4.2	Barkarbystaden	8
2.4.3	Autonoma fordon - del av FÖP centrala Göteborg	8
2.4.4	RFI i Vikingstad	9
2.5	Nederländerna	9
2.5.1	Phileas	9
2.5.2	TransAID	11
2.6	Forskningsexempel inom digitala lösningar	11
2.6.1	Delad infrastrukturlösning med LiDAR-sensorer på lampstolpar	11
3	Scenarion	12
3.1	Bus Driver Plus	12
3.2	Automation with adaptation	13
3.3	Automation Utopia	14
3.4	Sammanfattning	16
4	Analys av systemeffekter	18
4.1	Inledning och metodik	18
4.2	Bus Driver Plus	18
4.2.1	Förutsättningar	18
4.2.2	Resultat systemeffekter	19
4.3	Automation with adaptation	23
4.3.1	Förutsättningar	23

4.3.2	Resultat systemeffekter	23
4.4	Automation Utopia	27
4.4.1	Förutsättningar	27
4.4.2	Resultat systemeffekter	27
4.5	Känslighetsanalys – ingen förändrad upplevd restid	31
5	Multimodala hubbar	34
5.1	Kartläggning	34
5.2	Workshop	35
5.2.1	Bytespunkt Flemingsberg	35
5.2.2	Eldrivna och självkörande bussar	35
5.3	Resultat	37
5.3.1	Multimodal hubb	37
5.3.2	Tvärförbindelse Södertörn	38
5.3.3	Eldrivna bussar	38
5.3.4	Självkörande bussar	38
6	Resultat av extern workshop	39
6.1	Buss Driver Plus	39
6.2	Automation with Adaptation	39
6.3	Automation Utopia	39
7	Summering och spaning framåt	41
7.1	Förslag till kompletterande studier	42
7.1.1	Utveckling av Sampers modellen	42
7.1.2	Dedikerat busskörfält	42
7.1.3	Behov av uppkoppling och digital infrastruktur	42
7.1.4	Framtidens Trafikledning	42
8	Referenser	43

1 Inledning

Trafikverket har finansierat projektet *Självkörande eldriven stombuss på Tvärförbindelse Södertörn - En skalbar fallstudie* (TRV 2019/118695) under 2020-2021 med syfte att öka förståelsen för hur självkörande och eldrivna bussar skulle kunna utnyttjas till att nå mål om hållbarhet med Tvärförbindelse Södertörn som fallstudie. Under arbetets gång har projektet fokuserat på självkörande teknik då elektrifiering undersöks i andra parallella projekt.

Självkörande teknik har under det senaste decenniet lyfts fram som en lovande teknik för vägsystemet, från att ha setts som något långt borta till snart uppnåeligt. Exakt när tekniken kan nå bred tillämpning är fortfarande mycket oklart, med några biltillverkare som planerar för utrullning inom de närmaste åren och andra som tror att målet kan ligga betydligt längre fram (Tibken, 2018).

Mer troligt än en total förändring från en dag till en annan är snarare en gradvis utrullning med säkerhetsförare och vissa miljöer som anpassas till tekniken, se exempelvis (Energimyndigheten, 2020) eller (Einride, 2018). Det finns dessutom ett tydligt konsensus om att en övergång till självkörande teknik kräver en mer samhällsomfattande förändring än endast teknisk (Bjelfvenstam, 2018).

1.1 Syfte

Syftet med projektet var att utforska och kartlägga vilka fysiska och digitala åtgärder som krävs för autonom framdrift av fullstora bussar. Vidare har projektet ämnat att undersöka vilka systemeffekter som verkar vid införande av självkörande busstrafik i ordinarie linjetrafik, samt hur en sådan transportlösning bidrar till ett mer hållbart transportsystem. Slutligen har projektet undersökt hur multimodala hubbar vid den framtida Tvärförbindelse Södertörn kan stödja eldrivna och självkörande bussar.

1.2 Metod

Projektet startade med att genomföra en teoretisk fallstudie av självkörande och eldrivna stombussar på tvärförbindelse Södertörn. Faktainsamlingen har bestått av en litteraturstudie av de specifika fysiska och digitala åtgärderna som krävs för autonom körning. Även en omvärldsbevakning har utförts för att identifiera genomförda projekt och piloter med autonoma och/eller elektrifierade fullstora bussar.

Eftersom befintlig litteratur och projekt inom området är bristfällig har litteraturstudierna kompletterats med en workshop med deltagare från ledande aktörer i branschen. Under workshopen diskuterades fysiska och digitala åtgärder viktiga att tänka på vid nybyggnation och som kunskapsunderlag för vägghållare att beakta i ett planeringsskede.

Metod för analys av systemeffekter har bestått av två olika delar. Initialt genomfördes en översikt av forskningsfältet i forskningsdatabaser, samt intervjuer med företrädare för fordonstillverkare, kollektivtrafikoperatörer, Trafikverket och Trafikförvaltningen/Region Stockholm. Denna del syftade till att identifiera hur självkörande teknik skulle kunna

påverka fordon, resenärer och verksamheten för att kunna fungera som ingångsvärden till den andra delen av metoden.

För att undersöka systemeffekterna av självkörande bussar implementerades därför scenarierna i Trafikverkets metod för att utreda åtgärder, kallad samlad effektbedomning. För att undersöka effekterna i t.ex. förändrat resande har Trafikverkets prognosmodell Sampers använts. Sampers är en modell för att undersöka effekter på trafik av olika former av samhällsfaktorer såsom förändrade vägnät, kostnader eller demografi. Därefter har modulen Samkalk använts för att beräkna samhällsekonomiska effekter.

Projektet inventerade även befintlig litteratur kring multimodala hubbar för att utforska och förstå begreppet. Syftet var att föreslå incitament för olika infrastrukturägare att hitta samarbetsformer för optimalt utnyttjande av multimodala mobilitetshubbar samt hur sådana hubbar aktivt stödjer hållbarhet. I arbetet genomfördes även en workshop där stombusslinjers förutsättningar och behov diskuterades kring specifikt Flemingsberg.

1.3 Bakgrund

1.3.1 Södertörn- ett expansivt område

Ett av Trafikverkets viktigaste uppdrag är att minska antalet olyckor och döda i trafiken. Nuvarande väg 259 på Södertörn i södra Stockholm är en av länets mest olycksdrabbade sträckor. Därför har Trafikverket fått i uppdrag att bygga en ny, säkrare väg i området – Tvärförbindelse Södertörn, planerad till 2025–2030.

Tvärförbindelse Södertörn planeras bli en ca 20 km lång sträcka mellan E4/E20 vid Vårby backe i Kungens kurva till väg 73 vid trafikplats Jordbro i Haninge kommun. Det byggs många tunnlar för att minimera påverkan för människor, djur och natur, tex vid Flemingsbergsskogen. Förbindelsen blir en viktig länk för godstrafik som väntas öka när godshamnen i Norvik i Nynäshamn är klar. Målet är att uppfylla Trafikverkets vision att alla ska komma fram smidigt, grönt och tryggt. Finansiering finns idag för att färdigställa all projektering som grund för beslut om byggstart. Dock saknas idag finansiering för att färdigställa hela byggandet.

Södertörn förutspås växa både avseende befolkning, näringsliv och stora infrastruktursatsningar planeras för att möta det växande behovet av trafik och transporter för både resenärer och gods. I området finns fyra regionala kärnor med Flemingsberg, Kungen Kurva – Skärholmen, Haninge och Södertälje med 500 000 invånare år 2019. Det planeras 70 000 nya bostäder och 90 000 nya arbetsplatser till år 2030, dvs näringslivet växer kraftigt.

Givet den utvecklingen planeras det samtidigt för stora infrastruktursatsningar i Södertörnskommunerna som tex: Förbifart Stockholm, Norviks hamn, Spårväg syd, väg 73, nya bostäder och logistikområden, kontor och högskolor, företagen Scania och Astra expanderar i området samt att dagens bytespunkt Flemingsberg ska exploateras.

1.3.2 Fysiska och digitala åtgärder för automatisering

Automatisering är ett paradigmskifte vilket kan medföra stora förändringar kring hur folk reser och transporterar varor i framtiden. (Vantomme, 2019) Automatisering av bussar måste genomföras i ett eller flera pilotprojekt för att kunna bevisa att tekniken fungerar. Initialt kan det komma att behövas dedikerad infrastruktur för att få automatiserad kollektivtrafik att fungera, dock inte långsiktigt. Att börja använda automatiserad kollektivtrafik i en mixad trafiksituation är riskfyllt och det bör därför introduceras i en mindre och mer avgränsad miljö. (Smeds, 2019) Idag krävs ett särskilt tillstånd av Transportstyrelsen för tester. (Landsbygd AV, 2019)

Tiberini et al. (2019) nämner att det finns ett behov av fler pilotprojekt som är anpassade specifikt för landsbygden. Implementering av självstyrande bussar skulle vara lättare på landsbygden eftersom trafiken är mindre komplex där i jämförelse med trafiken i en stadsmiljö. Landsbygdens population kan dessutom vara en stor målgrupp för självkörande fordon eftersom kollektivtrafiken är begränsad där. Framförallt kommer detta innebära sociala vinster för de yngre som inte själva kan eller får köra ett fordon själv. (Tiberini et al., 2019) Självkörande bussar är främst användbart på platser med lite kollektivtrafik. Gotland, exempelvis, har ett genomsnitt på 15 kollektivtrafikresor per invånare och år, jämfört med Sveriges genomsnitt på 150 kollektivtrafikresor per invånare och år. (Landsbygd AV, 2019) Dessutom menar Landsbygd AV (2019) att sensorer och algoritmer för igenkänning fungerar sämre i stadsmiljöer. Däremot kan det vara mer utmanande att skapa en fungerande affärsmodell för detta på landsbygden jämfört med i städer, där det är större befolkningsmängd per yta. Det finns även tekniska krav på digital och fysisk infrastruktur, till exempel, uppkoppling med 4G/5G, HD-kartor, vägförhållande och satellit-positionering. Satellitpositionering bedöms vara lättare på landsbygden medan det finns utmaningar på landsbygden där vägunderhåll, till exempel snöröjningen på vintrar, är annorlunda jämfört med städerna.

(Vantomme, 2019) anser att det finns flera saker att beakta gällande fysisk och digital väginfrastruktur. Nedan listas några exempel:

- Gällande fysisk väginfrastruktur kräver tydliga vägmarkeringar på vägarna för att underlätta fordonsensorernas och därmed "förarens" jobb. Om vägmarkeringarna av någon anledning är dolda innebär det en stor risk för självkörande fordon. Fordonen behöver därför ett automatiserat nödstopp. Automatiserade bussar bör även ha tillgång till befintliga bussfiler.
- Gällande den digitala väginstrukturen krävs en kontinuerlig kvalitetsförbättring exempelvis genom insamling av information om farliga situationer. Automatiserade fordon ska kunna följa trafikregler, stanna vid rött ljus och stoppskyltar samt anpassa sig efter hastighetsbegränsningar för att nämna några exempel. Fordon som är automatiserade bör även kunna anpassa sig efter olika regler i olika kommuner, eftersom reglerna för automatiserade fordon kan variera från kommun till kommun.

Det kommer i teorin inte att krävas stora förändringar i den befintliga väginfrastrukturen för att möjliggöra för automatiserad kollektivtrafik, utan snarare små justeringar som bättre markeringar. (Smeds, 2019; Vantomme, 2019) Det finns dock regleringar för automatiserad trafik eller kollektivtrafik. ACEA har utvecklat ett ramverk för lagar och regler för automatiserad trafik (Right Legal Framework), där ansvaren fördelas mellan FN EU och nationen/staten. Lagar och regler inkluderar bl.a. avancerat nödbromssystem (FN) cybersäkerhetssystem (FN), uppdatering av trafikskyltar (nation/stat) samt periodvis tekniska inspektioner (EU). (Vantomme, 2019) Det krävs beslut gällande vilka vägsträckor, vilken infrastruktur, som automatiserade fordon kan/ska köra på. Detta eftersom det krävs speciella anpassningar på den infrastrukturen kring gatubelysning vägunderhåll och linjemarkeringar. (Smeds, 2019)

Det finns olika definitioner och klassificeringssystem av automatisering. Smeds (2019) nämner att det finns 6 olika nivåer av automation. Dessa nivåer presenteras kort i en punktform nedan (Smeds, 2019):

- 0: Ingen automation (No Automation).** Fordon kontrolleras fullt av föraren
- 1: Körassistens (Driver Assistance).** Fordon kontrolleras fortfarande av föraren även om fordonet inkluderar ett par inbyggda körassistensfunktioner.
- 2: Delvis automation (Partial Automation).** Fordonet består av automatiska funktioner, till exempel, accelerationen och styrningen. Föraren måste dock fortfarande kontrollera fordonet i hela tiden.
- 3: Villkorlig automation (Conditional Automation).** Det krävs fortfarande förare men fordonet sköter allt. Föraren måste dock vara beredd att ta över fordonet när det behövs.
- 4: Hög automation (High Automation).** Fordonet har förmågan genomföra all funktionerna hos ett fordon. Föraren kan behövas ändå för att kunna ta över kontrollen.
- 5: Full automation (Full Automation).** Har samma funktion som 4 – Hög automation.

Vantomme (2019) anser att det finns 3 olika nivåer, som presenteras nedan:

- 1: Assisterad körning (Assisted Driving).** Föraren kontrollerar fordon kontinuerligt och systemet i fordonet supporteras av styrning, bromsning och acceleration. ACEA (2019) säger att det kan också vara automatiserad fickparkering och ett system som håller fordon kvar på körfilen.
- 2: Automatiserad körning (Automated Driving).** Föraren krävs när det behövs och fordonet sköter det mesta inom operationell designomän.
- 3: Autonom körning (Autonomous Driving).** Fordonet sköter allting och består av bara passagerare. Inget behov av någon input av förare.

Nedanstående figur jämför de två olika klassificeringssystemen och visar på hur de förhåller sig till varandra. De övre automatiseringsnivåerna visar Smeds (2019) definition medan de nedre nivåerna är från Vantomme (2019):



Figur 1. Jämförelse klassificeringssystem.

Smeds (2019) anser att en självkörande buss behöver en säkerhetsförare som ansvarar för övervakningen och som kan ta över om det sker någon oförutsedd händelse.

Det finns fyra nyckelområden avseende automatisering: säkerhet, användarens acceptans (user adoption), artificiell intelligens (AI) och tester. Säkerheten är viktig och måste garanteras. En säker och pålitlig kommunikation mellan fordon och den digitala infrastrukturen är ett krav. En framgångsrik implementation av självkörande fordon beror på samhällets acceptans. En säker automatisering i en komplex stadsmiljö förutsätter artificiell intelligens (AI). Det fjärde nyckelområdet består av piloter, där självkörande fordon kan testas i större skala. Detta är ett avgörande steg i utvecklingen och för en framtida implementering (Vantomme, 2019). Smeds (2019) menar att tester bör inledas utan passagerare och sedan involvera passagerare succesivt.

2 Omvärldsbevakning – Autonoma bussar

2.1 Singapore

2.1.1 Volvo Buses och Nanyang Technological University (NTU)

Nanyang Technological University, Singapore (NTU) och Volvo Bussar har tillsammans lanserat en av världens första autonoma elektriska buss i full storlek. Volvos elbuss är 12 meter lång och rymmer upp till 80 passagerare.

Fordonet är utrustad med LiDAR-sensorer (Light Detection and Radar) samt navigeringskontroller som hanteras av ett omfattande AI-system. För att säkerställa maximal säkerhet och tillförlitlighet skyddas AI-systemet med cybersäkerhetsåtgärder för att förhindra oönskade cyberintrång. Bussen har genomgått preliminära omgångar av noggranna tester vid Centre of Excellence for Testing and Research of Autonomous Vehicles (CETRAN) vid NTU.

I testerna har olika delar av Singapores urbana vägsystem representerats, till exempel trafiksignaler, busshållplatser, övergångsställen och tropiska förhållanden som att köra genom kraftigt regn och delvis översvämmade vägar. Systemet i bussen är uppkopplat till en tröghetsmätningseenhet vilken mäter bussens förändringar i höjddled och krängningar för att förbättra bussens navigationsförmåga vid ojämnt underlag och i kurvor. Denna teknik möjliggör en mjukare körning och förbättrad komfort. Hittills har inga tester i den befintliga stadsmiljön gjorts. Det finns planer att testa bussen på universitetsområdet. På sikt planeras även tester på allmänna vägar utanför området. (Volvo Bussar, 2019)



Figur 2. Volvo Buses och Nanyang Technological University (NTU) i Singapore har demonstrerat en 12-meter autonom elektrisk buss. (Volvo Buses, 2019)

Projektperiod: Samarbetet påbörjades under 2018, tester genomfördes under 2019.
Projektpartners: Nanyang Technological University (NTU) och Volvo Bussar AB.

2.2 Storbritannien

2.2.1 CAVForth

Projekt CAVForth demonstrerar autonoma bussar i Storbritannien längs en 22 km lång sträcka över Forth Road Bridge mellan Fife och Edinburgh. Projektet involverar autonoma bussar i full storlek som körs på en nivå 4-autonomi. Innovationsföretaget Fusion Processing leder ett konsortium av partners för att bygga, testa och leverera en schemalagd trafik över en 48 km lång rutt med fem autonoma bussar.

Från och med andra hälften av 2020 kommer den autonoma busstrafiken att fungera på stamnätet från Ferrytoll Park och Fife, över Forth Road Bridge Public Transport Corridor, till Edinburgh Park. Project CAVForth beräknas kosta cirka 6,1 miljoner pund och finansieras av Center for Connected and Autonomous Vehicles (CCAV), som levereras i samarbete med Innovate UK. (GOV.UK, 2020)

Bussarna ska mestadels trafikera motorvägar som ägs av vägmyndigheten Transport Scotland. Bussarna kommer integrera med övrig trafik i den befintliga vägmiljön samt testas i korsningar och vid busshållplatser. Bussarna planeras färdas i en hastighet upp till 50 km/h. Som en partner i Project CAVForth, samt väghållare för den större delen av rutten, bidrar Transport Scotland med att utforma och genomföra de infrastrukturåtgärder som krävs för att stödja systemet. Bussarna som används är producerade av tillverkaren Alexander Dennis Limited (ADL). (Fusion Processing, 2020)

Projektperiod: 2019-2021

Projektpartners: Fusion Processing Ltd, Alexander Dennis Ltd, Stagecoach Group plc, Transport Scotland, Edinburgh Napier University, Bristol Robotics Laboratory, UWE.

2.3 USA

2.3.1 Självkörande fullstora bussar i Connecticut

Connecticut Department of Transportation (CTDOT) har tillsammans med busstillverkaren New Flyer of America Inc. ett projekt med tre fullstora autonoma elbussar som ska trafikera Connecticuts BRT-korridor. De ska vara trafikklara för allmänheten under 2021. (Center for Transportation and the Environment (CTE), 2020) Projektet är det första som demonstrerar automatiska fullstora bussar i USA. (Ferguson, 2020) Den automatiska tekniken kommer att testas på en dedikerad 14 kilometer lång sträcka mellan New Britain och Hartford. New Flyer Infrastructure Solutions kommer att stödja installationen och integrationen av elbussens laddningsutrustning. The Center for Transportation and Environment (CTE) kommer att fungera som projektledare och ge teknisk support inklusive energimodellering av rutterna. En förare ska finnas med på bussarna för att ta kontroll vid behov. En operatör kommer även att köra bussarna

manuellt på vägar med blandad trafik, och precisionsdockning vid stationsplattformar kommer att utföras i låga hastigheter. Omfattande tester med en off-road testanläggning kommer att ske utan några passagerare innan demonstrationen inleds. (Wanek-Libman, 2020) Projektet finansieras med federala medel på 2 miljoner dollar.

Projektperiod: 2019-2021

Projektpartners: CTDOT, New Flyer of America Inc., Robotic Research LLC och CTE.

2.4 Sverige

2.4.1 Digital säkerhet för autonoma fordon

Vinnova och Linköpings universitet driver ett projekt som involverar flera delprojekt och områden. Ett av projekten lyfter frågan om cybersäkerhet för autonoma uppkopplade fordon. Studien utnyttjar mobilitetsarenan ELIN och kombinerar en elektrisk autonom buss med en digital infrastruktur som bland annat inkluderar en Control Tower-funktion, vilken möjliggör extern styrning av bussen från en kommandocentral. I studien undersöks och analyseras risker och möjligheter kopplat till cybersäkerhet. Det görs även en omvärldsanalys med avseende på de standarder och initiativ som finns samt hur olika aktörer behöver förhålla sig till dessa. (SweCRIS, 2020a) Projektet avser autonom förmåga hos skyttelbuss men den digitala infrastrukturen kan möjligtvis även kunna appliceras på tyngre autonoma fordon.

Projektperiod: november 2019 till mars 2021

Projektpartners: Linköpings Universitet, Vinnova.

2.4.2 Barkarbystaden

Nobina har planer på att inleda ett försök med eldrivna och självkörande fullängdsbussar i linjetrafik. Status idag är att Nobina väntar på att leverantör ska tillhandahålla en fullängdsbuss redo för skarp test. Försöket skulle vara uppdelat i två faser. Initialt genomföra tester med två bussar av typen Scania Citywide LF för rutten mellan Barkarbystaden och närmaste T-banestation. Hela sträckan är 5 km lång och bussarna skulle köra autonomt i cirka 1 km. Inga resenärer finns ombord från början men däremot en förare för att kunna ingripa vid behov. Den första fasen planerades till 2020. I fas två ska resenärer tillåtas ombord. Uppskattningsvis förväntades omkring 300 resenärer dagligen utnyttja bussförbindelsen. (Scania Sverige, 2019)

Projektperiod: 2019 –

Projektpartners: Scania, Region Stockholm, Järfälla kommun och Nobina.

2.4.3 Autonoma fordon - del av FÖP centrala Göteborg

Frågan om en framtid med autonoma fordon har diskuterats inom ramen för den fördjupade översiktsplanen. Som resultat har autonoma fordons (och systems) påverkan på den fysiska infrastrukturplaneringen fått ett mer konkret svar. I arbetet har en form av

konsekvensanalys tagits fram som redovisar konsekvenser av autonoma fordon kopplat till de mål som finns i den fördjupade översiktsplanen. I projektet konstateras att mycket fortfarande är oklart beträffande autonoma fordon. Underlag saknas för att på allvar kunna planera för en framtid med autonoma fordon. Under arbetet har det även blivit tydligt att konsekvenserna av självkörande fordon behöver beaktas, möjliggöras eller förhindras, i alla olika planeringsnivåer från översiktsplan och detaljplaner till utformning och byggnation av enskilda platser. (SweCRIS, 2020b)

Projektperiod: 2017–2019

Projektpartners: Göteborg stad, Vinnova.

2.4.4 RFI i Vikingstad

Trafikverket lanserade en Request for Information (RFI) "Förslag till projekt med automatiserad persontransport (buss)" för väg 636/23 i Vikingstad, Linköping. Syftet var att utreda förutsättningar för att genomföra ett försök med självkörande fullängdsbussar. RFI förväntades även bygga upp kunskap om sambandet mellan infrastruktur och automatiserade fordon som underlag för en kommande upphandling av trafikering längs sträckan. Resultatet (dec 2020) från inkomna förslag visar att det finns ett intresse kring området från flera aktörer men att det samtidigt är en utmaning kring automatiserade fordon i högre hastighet. Trafikverket bedömer därför att den tekniska mognadsgraden inte är tillräckligt hög för att genomföra projektet och avvaktar tillsvidare med beslut om att inleda en upphandling.

Projektperiod: 2020

Projektpartners: Trafikverket

2.5 Nederländerna

Två genomförda projekt i Nederländerna har använt magnetbaserad teknik för att navigera över en bussfil. Ett av projekten avser utveckling av autonoma fullstora bussar (Phileas), medan det andra projektet avser självkörande skyttlar och därför inte platsar inom ramen för denna omvärldsbevakning. Projektet med fullstora bussar har dock begränsats av tekniska hinder vilket inneburit att projektet lagts ned. Idag används samma teknik i andra projekt vilket kan innebära att marknaden för autonoma fullstora bussar vid tidpunkten för projekt Phileas inte var mogen. Utöver dessa har Nederländerna faktiskt haft en eldriven, autonom shuttlebus i service sedan 2006, kallad ParkShuttle. Bussen opererar på en fastställd sträcka och i ett separat vägfält, men korsar vägar med blandtrafik, cyklisterna och fotgängare. (Wikipedia, 2020)

2.5.1 Phileas

Phileas är en så kallad Bus Rapid Transit (BRT) utvecklat i Nederländerna av APTS: Advanced Public Transport Systems i mitten av 2000-talet. BRT möjliggör kollektivtrafik med kortare restider, högre kapacitet och förbättrad punktlighet, vilket ofta möjliggörs genom separata bussfält. Inom ramen för Phileas utvecklades ett autonomt system som

möjliggjorde flera olika körmodeller; manuell kontroll (likt en vanlig buss), halvautomatisk kontroll (likt spårvagn/tunnelbana) och helautomatisk kontroll där förarens huvudsakliga uppgift är att övervaka systemet och vara beredd på att ta över kontrollen av fordonet vid behov. Körmodeller som användes skulle alterneras beroende på vilken sträcka som trafikeras. (University of Groningen, 2020)

Projektet genomfördes i sin helhet vid universitetet i Groningen. Körsimulatorexperiment utfördes vid VR-laboratoriet vid Center for High Performance Computing. En experimentell bussväg var simulerad för att inkludera olika sorters korsningar och busshållplatser på realistiska platser i rutten. Simulerad trafik (bilar och cyklister) styrdes av scenariomanus som innehöll några kritiska situationer som utlöste specifika faror (till exempel en cyklist som oväntat korsar bussfältet medan Phileas kör i automatiskt kontrolläge). Deltagare i experimentet var erfarna bussförare från bussföretag som kör buss i Groningen (Arriva) och Eindhoven (Hermes).

Resultaten från försöken i slutna testmiljö var lyckade och projektet utvecklades till att Phileas-bussarna även trafikerade allmänna vägar (i dedikerade körfält i ett BRT-system). Flera tekniska problem ledde dock till att projektet med automatisering lades ned och de autonoma bussarna ersattes av vanliga bussar. Problemen bestod bland annat av störningar från trafiksignaler. Projektet innebar även mycket höga kostnader för involverade parter. (Janmaat, 2019)



Figur 3. Den 24m långa "Phileas"-bussen (University of Groningen, 2020)

Projektperiod: Ej klarlagd.

Projektpartners: Regionala myndigheten SRE (Samenwerkingsverband Regio Eindhoven) som var ägare av Phileas, privata operatören Hermes samt Advanced Public Transport Systems Consortium (APTS) som utvecklade systemet.

2.5.2 TransAID

TransAID-projektet utvecklar en digital infrastruktur och strategier för trafikhantering för att underlätta omställningen till CAV (Connected and Automated Vehicles) samt för att bevara ett säkert och smidigt trafikflöde. Projektet är inte avgränsat till fullstora bussar, utan är ett paraplyprojekt för studier och demonstrationer av alla typer och förhållanden av autonoma fordon. På projektets officiella webbsida delges resultat i form av exempelvis publikationer, presentationer och workshops inom olika delprojekt. (TransAID, 2020) Resultat från försök med fullstora autonoma bussar har dock inte kunnat hittas.

2.6 Forskningsexempel inom digitala lösningar

2.6.1 Delad infrastrukturlösning med LiDAR-sensorer på lampstolpar

Befintliga autonoma fordon använder många olika typer av inbyggda sensorer för att upptäcka föremål och kartlägga den omkringliggande miljön. Höga kostnader för sensorer kan vara en barriär mot spridningen av autonoma fordon. I artikeln föreslås att LiDAR-sensorer placeras på lampvägstolpar då de kan utnyttjas av flera fordon i vägsystemet. Detta skulle innebära att den höga kostnaden för sensorer på varje enskilt fordon försvinner. Istället skapas en infrastruktur som delas av alla autonoma fordon på vägen. Kostnader kopplat till en sådan infrastruktursatsning har dock inte utforskats i studien.

I det föreslagna systemet är LiDAR-sensorer installerade ovanpå lampstolparna vilket ger en bättre översikt än om de placeras i fordonen. Sensorerna kan därmed upptäcka vinklar som kan varit dolda från en lägre höjd. Utöver att fungera som en delad infrastruktur, kan lampstolpssensorerna bidra till ökad trafiksäkerhet. Kritiska aspekter som nämns i studien handlar om cybersäkerhet. I detta är integritet och tillgänglighet de mest kritiska faktorerna att arbeta vidare med. (Kong, 2020)

3 Scenarion

För att strukturera arbetet med projektet skapades tre olika scenarion. Syftet med dessa var att identifiera vilken fysisk och digital infrastruktur som skulle krävas för de respektive scenariona samt vilka nyttor de skulle generera. Baserat på det kunde senare kostnader och nyttor kunna beräknas.

De tre scenarierna är framtagna för att så långt det är möjligt särskilja mellan olika typer av kostnader och nyttor och på så sätt tydliggöra vilka konsekvenser olika strategier kan få. Scenariona är således inte framtagna för att de anses vara vare sig de mest troliga eller de mest önskvärda. Troliga och önskvärda scenarios är rimligtvis en blandning av alla dessa tre och detta angreppssätt möjliggör att synliggöra vilka russinerna i kakan är.

De tre scenarierna Bus Driver Plus, Automation with Adaption och Automation Utopia, är differentierade genom olika grader av automation och stödsystem. Detta medför att balansen mellan de digitala och fysiska infrastrukturåtgärderna kommer vara olika inom de olika scenarierna. Desto mer autonomi, desto mer digitala åtgärder krävs, eftersom fordonen då måste hantera fler situationer själv genom att få mer information från infrastrukturens system istället för att bara läsa av, och begränsas av, den fysiska infrastrukturen. Denna balans konkretiseras i de olika scenarierna nedan.

3.1 Bus Driver Plus

Förhoppningarna från 10-talet om självkörande bussar som klarade sig helt själva blev tyvärr inte helt besannade. Fordonen kan köra själva större delen av tiden men det krävs fortfarande en del manuella manövrar och därför måste en förare vara med på bussen hela tiden. Föraren behöver dock inte köra själv hela tiden utan har mer tid över till passagerare. Tekniska stödsystem, uppkoppling och en automation som motsvarar 3 ½ på SAE-skalan har gjort resan punktligare, säkrare, bekvämare och mer angenäm ur ett passagerarperspektiv. Detta har bidragit till en ökad attraktivitet för kollektivtrafiken. Då föraren alltid finns med krävs inget tekniksprång för att uppnå detta scenario utan tekniken utvecklas kontinuerligt och successivt utifrån nuläget. Föraren kompenserar där systemet inte räcker till.

Fysisk infrastruktur: Ingen större påverkan – alla brister i automationstekniken kompenseras av föraren. Hållplatser är extra uppmärksamma för att bussen ska kunna docka och avgå automatiskt men på sträckor och genom korsningar behövs inget extra då föraren är på plats.

Digital infrastruktur: Ingen särskild digital infrastruktur behövs eftersom föraren kan ta hand om de situationer fordonet inte kan hantera. Men uppkoppling mot en trafikledningscentral gör resan effektivare då fordonet kan nyttja tillgängliga data på vägsträckan.

Fordon: Kontinuerlig utveckling av automation och stödsystem bidrar till förbättringar över tid. Säkerheten förbättras nämnvärt i och med fordonets säkerhetssystem. Fordonet har en förarplats. Sensorer och kameror finns men en förare behöver vara på plats i bussen.

Väghållare: Väghållarens roll kommer inte förändras i detta scenario eftersom ingen radikal förändring i bussens framfart skett.

Kollektivtrafikhuvudmän och operatörer: Inte heller kollektivtrafikhuvudmännens eller operatörernas roll kommer förändras nämnvärt i och med detta scenario.

Nyttor: Oförändrad förarkostnad, färre olyckor, ökad punktlighet, ökad turtäthet, ökat resande.

Tid: Scenariot innebär en kontinuerlig utveckling och förbättring med utgångspunkt från nuläget och dagens förutsättningar. Sannolikt inte före 2030.

3.2 Automation with adaptation

Den självkörande tekniken har blivit vanligt förekommande och har inneburit stora förändringar för kollektivtrafiken. Tekniken klarar dock inte av allt som en mänsklig förare klarar vilket har inneburit anpassningar av infrastruktur, trafikstyrning och hur man opererar en busslinje. I kontrollerade miljöer där bussen är det dedikerade fordonet fungerar tekniken fint. Det behövs ingen förare ombord utan en trafikledare har hand om ett flertal bussar. Under gynnsamma förhållanden upp till tio fordon per trafikledare men i sämre väder eller tät trafik så hanterar de bara tre till fem fordon. För att de självkörande bussarna ska kunna fungera har rutten anpassats. Detta innebär bl.a. att det är begränsad access till det körfält de använder för att det inte ska bli för tät trafik eller trafikstockningar. Det innebär också signalreglering vid busshållplatser så att de inte är störda när de ska ut på vägen och det sitter sensorer runt busshållplatserna för att säkerställa att inga fordon är på kollisionkurs. Bussen är ständigt uppkopplad till trafikledning, vägsidessensorer och trafiksignaler.

Även om det har krävts vissa anpassningar så fungerar det riktigt bra. Resan är bekväm och säker och punktligheten har ökat. Bussen är attraktiv och effektiv. Kvällstid upplevs den dock som något otrygg så under vissa tider finns en värd ombord för att öka tryggheten för passagerarna.

Fysisk infrastruktur: Stor påverkan – alla brister i automationstekniken kompenseras genom att infrastruktur och omgivande trafik anpassas efter fordonet. Genom korsningar, runt busshållplatser men även på stora delar av körsträckorna krävs dedikerade körfält vilket antingen sker genom egna körfält eller dynamisk styrning av omgivande trafik, dvs att trafikledningen ger fordonet prioritet. Linjemarkeringar behöver vara väl synliga och extra god snöröjning är ett krav. Hållplatserna är uppmärksamma för att guida fordonet till rätt

positionering. För att undvika konflikter mellan fordon och passagerare är hållplatserna noggrant utformade.

Digital infrastruktur: Relativt kraftig utbyggnad med avseende på sensorer som guidar och kontrollerar fordonet. En trafikledningscentral krävs som både arbetar aktivt med att stötta fordonen men även med att styra bort problem som omgivande trafik kan orsaka. Trafikledningen övervakar 3–5 bussar (upp till 10 bussar under optimala omständigheter) per trafikledare, beroende på yttre omständigheter så som väder eller trafik. Det finns en digital tvilling, det vill säga en digital version eller kopia, av transportsystemet men den är inte uppdaterad realtid. Hållplatser och korsningar är extra utrustade mer sensorer och övervakning. Dagens GPS-positionering räcker då brister kompenseras av andra sensorer samt visuellt stöd.

Fordon: Sensorer och kameror ersätter föraren och fordonet har därför ingen förarplats. Fordonet är uppkopplat mot en trafikledningscentral. Kräver visst tekniksprång och verifiering av teknik men alla brister i tekniken kompenseras genom att anpassa infrastrukturen.

Väghållare: Kräver omfattande byggnation samt drift och underhåll för att hålla vägen och trafiksystem igång. Kräver även omfattande trafikledning. Detta innebär stora kostnader för väghållaren och en förändrad roll i och med trafikledningen. Allt detta innebär större ansvar av väghållare.

Kollektivtrafikhuvudmän och operatörer: Kräver en stor omorganisation och utbildningsinsats då busschaufförer inte längre används utan man behöver trafikledare mer likt flygledare. Förhållandet mellan huvudman och operatör ändras och andra aktörer kan ta över delar av ekosystemet.

Nyttor: Kraftigt minskade förarkostnader, färre olyckor, ökad punktlighet, ökad turtäthet, stark ökning av andelen hållbart resande.

Tid: Sannolikt inte före 2030.

3.3 Automation Utopia



Utvecklingen av självkörande teknik har kommit långt och fordonen klarar av att köra självt utom i de mest extrema väder. Men i stort sett allt som en mänsklig förare klarar av klarar de och tekniken motsvarar ungefär SAE 4 ½. Trafikledaren har tagit över en del av förarens roll men även mycket av de uppgifterna sköts av AI så en trafikledare klarar att hantera ca 20 fordon. Då och då har resenärerna frågor som behöver besvaras, men SL-appen kan ta hand om det mesta och trafikledarens uppgifter består i huvudsak att guida flottan till att köra runt incidenter på vägen eller sätta in extra fordon när förseningar uppstår. De självkörande fordonen kör betydligt bättre än människors skakiga kvalitet. Detta har inneburit färre olyckor både ombord på bussen och krockar med andra fordon eller fasta föremål. Punktligheten har ökat och resan har blivit betydligt bekvämare med

hög res hastighet på de flesta sträckor. Bussen har genom detta blivit ett attraktivt färdmedel med hög beläggning dygnet runt och trots att bussarna inte är bemannade upplevs de som trygga. Som komplement till dessa stora bussar finns ett väl utbyggt system med mindre bussar som hanterar första och sista kilometern, vilket ytterligare bidrar till kollektivtrafikens attraktivitet.

Fysisk infrastruktur: Minimal påverkan på den fysiska infrastrukturen - inga fysiska åtgärder krävs. Dvs. inga linjer på vägen, inga dedikerade körfält, inga skyltar, ingen belysning krävs. Däremot krävs fortsatt god snöröjning för att säkerställa god framkomlighet. För att undvika konflikter mellan fordon och passagerare, samt för att minska stopptiderna är hållplatserna noggrant utformade.

Digital infrastruktur: Kraftig utbyggnad av den digitala infrastrukturen krävs för att framföra fordonet. Detta inkluderar, men begränsas inte av: exakt positionering i realtid (även i tunnlar eller andra svårare positioner att spåra), snabb och pålitlig uppkoppling, LTF (lagar och regler för vägen) som är uppdaterade och korrekta för sträckan som är geofencad, samt en digital tvilling av infrastruktursystemet som uppdateras i realtid. Fordonet är dessutom uppkopplat mot en trafikledningscentral samt omgivande trafik och infrastruktur. Bussen övervakas av trafikledningen som övervakar cirka 10–20 bussar per trafikledare, beroende på yttre omständigheter så som väder och trafik.

Fordon: Fordonet har ingen förarplats. Sensorer och kameror ersätter föraren. Detta scenario kräver ett väldigt stort teknsprång avseende fordon och sensorteknik, algoritmer och mjukvara, men även avseende uppkopplad trafik och infrastruktur. Omfattande investeringar i R&D krävs. Systemet måste vara komplett och verifierat innan trafikeringen kan börja. Det är idag oklart hur lång tid det är kvar till Automation Utopia kan uppnås.

Väghållare: Kräver upphandling av digital infrastruktur samt att Sveriges kommuner och regioner (SKR) ställer nya krav på operatörer avseende autonom fordonsflotta på Södertörn samt ny trafikledning. Omfattande investeringar i R&D krävs både från väghållare och systemtillverkare.

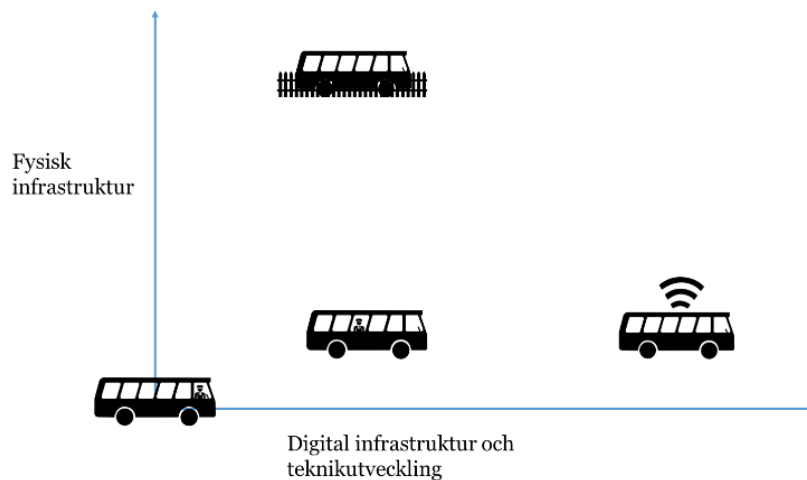
Kollektivtrafikhuvudmän och operatörer: Kräver en stor omorganisation och utbildningsinsats då busschaufförer inte längre används utan man behöver trafikledare mer likt flygledare. Förhållandet mellan huvudman och operatör ändras och andra aktörer kan ta över delar av ekosystemet.

Nyttor: I hög grad minskad förarkostnad, färre olyckor, ökad punktlighet, ökad turtäthet, stark ökning av andelen hållbart resande

Tid: Sannolikt inte före 2035.

3.4 Sammanfattning

Som beskrivet ovan förhåller sig de tre scenarierna olika till fysisk infrastruktur och digital infrastruktur/teknikutveckling. Nedanstående figur illustrerar detta förhållande mellan digitala och fysiska åtgärder i infrastrukturen.






















Figur 4. Förhållandet mellan fysisk infrastruktur och digital infrastruktur/teknikutveckling i de tre olika scenarierna.

Bus Driver Plus scenariot kräver i huvudsak en utveckling av fordonstekniken. Därutöver krävs även mindre åtgärder i den fysiska infrastrukturen. Scenariot Automation with Adaptation syns högt upp på axeln med fysiska åtgärder, men kräver även mindre digitala åtgärder. Slutligen, Automation Utopia, som kräver kraftig utveckling inom den digitala infrastrukturen. Eftersom detta scenario helt förlitar sig på digitala åtgärder krävs i teorin få fysiska anpassningar.

Nedanstående tabell visar på de uppskattade kostnaderna för ett antal digitala och fysiska åtgärder, samt hur dessa kostnader kan tillskrivas de olika scenarierna. Tabellen är rekonstruerad från (Kulmala et al., 2019) och uppskattningar om behov från AP2. Dessa kostnader har använts som underlag för nästkommande kapitel.

Tabell 1. Uppskattad kostnad för implementering av digitala och fysiska åtgärder för de olika scenarierna: Automation Utopia, Automation with Adaption och Bus Driver Plus.

Digitala och fysiska åtgärder	Uppskattad kostnad för implementering	Automation Utopia	Automation with adaptation	Bus Driver Plus
HD kartor eller vägområden, infrastruktur, vägutrustning	3-4k€/km			
				

HD kartor av vägstruktur för drift och underhåll	5-7k€/km			
3D HD kartor: vägområden & omgivning (inkl. LIDAR point clouds)	3-6k€/km			
Förbättrad satellitpositionering med basstationer	RTK station 2–10 k€; 1 station/5km; 0.4-2k€/km			
Positioneringsförbättring med dedikerade landmärken	4-6k€/km			
Safe "harbours" (bred väggren, parkeringsfickor)	20-50k€/safe harbour; eller 40-100k€/km på specifika sektioner (per 500 m)			
Superaktiv snöröjning	2–2.5k€/km (2-körfält) och 3-4k€/km (motorväg)			
Trådlös bredbandsinfrastruktur med låg fördröjning	Fiberoptik 20–100 k€/km inkl. uttag, plus 10–15 k€/vägsidesenhet			
Högkvalitativ situationsbild i realtid	0.4-0.8 k€/km inkl. digitalisering av regler & lagar, back-office; 0.1-0.2 k€/km			
Skyltar och/eller barriärer för Access Control	30–90 k€/skylt 40–80 k€/port 15–90 k€/km barriär			
VMS/C-ITS varningar: vägarbeten, automatiserade vägarbeten eller underhållningsfordon	0.5-0.9 k€/km för. utrustning och markering av vägarbetsplatser. Enbart vägarbeten 50% av kostnaderna			

4 Analys av systemeffekter

4.1 Inledning och metodik

Detta kapitel presenterar och analysera systemeffekter från de olika scenarierna: Bus Driver Plus, Automation Adaptation och Automation Utopia. För att undersöka systemeffekterna av självkörande bussar analyserades de tre scenarierna med Trafikverkets metod för att utreda åtgärder, kallad *samlad effektbedömning*. En *samlad effektbedömning* avser att ge underlag till beslutsfattare om vad en åtgärd innebär i tre dimensioner:

- En samhällsekonomisk analys där effekterna värderas (exempelvis kostnadens storlek eller inverkan för kulturvärden)
- En analys av hur åtgärden påverkar de transportpolitiska målen
- Samt en analys av hur nyttor eller kostnader fördelas mellan olika grupper (exempelvis män och kvinnor eller olika åldersgrupper)

För att undersöka effekterna i t.ex. förändrat resande har Trafikverkets prognosmodell Sampers använts. Sampers är en modell för att undersöka effekter på trafik av olika former av samhällsfaktorer såsom förändrade vägnät, kostnader eller demografi. Scenarierna har tolkats för att vara anpassningsbara till Sampers (t ex ökad turtäthet) och har sedan modellerats. Därefter har modulen Samkalk använts för att beräkna samhällsekonomiska effekter.

Därutöver har vissa effekter av den självkörande tekniken beräknats manuellt med hjälp av nyckeltal från Trafikförvaltningen/Region Stockholm. Skadekostnaden per fordonskilometer bedöms av dem till 0,4 kr, kostnaderna för drift av kollektivtrafik till 10 kr/km, 625 kr/timme och 4,5 mkr för inköp av fordon med avskrivning på 10 år.

Olyckskostnaderna för busstrafiken har tagits från Haraldsson et al. (2012) och skrivits upp till 2017 års prisnivå, 0,73 kr/km. Denna kostnad innefattar dock endast olyckor kopplat till tillbud angivna i polisrapporter, och det är möjligt att siffran bör vara högre för att inkludera exempelvis fallolyckor ombord.

Slutligen har de samlade effektbedömningarna för de tre scenarierna granskats av fyra handläggare på Trafikverket. Denna process ledde till vissa förändrade resultat, men därutöver nyansering av resultaten för att få en mer heltäckande tolkning. För en mer omfattande beskrivning av Samlad effektbedömning hänvisas till (Trafikverket, 2021a, 2021b, 2020).

4.2 Bus Driver Plus

4.2.1 Förutsättningar

Scenariot Bus Driver Plus innebär att det finns en förare ombord som tar över köruppgiften under de omständigheter fordonet inte klarar av det. Den tid då bussen är självkörande kan förarens funktion liknas vid en konduktör. Färden på bussen blir mer

bekvämt och säkert, upplevelsen har antagits kunna jämföras med att åka tåg. Bus Driver Plus scenariot medför låga tekniska krav.

4.2.2 Resultat systemeffekter

I scenariot Bus Driver Plus finns det alltid en förare ombord som kompletterar förarsystemet vid behov. Tabell 2 och figur 5–7 visar resultaten från analysen utifrån den samlade effektbedömningen och kommenteras nedan.

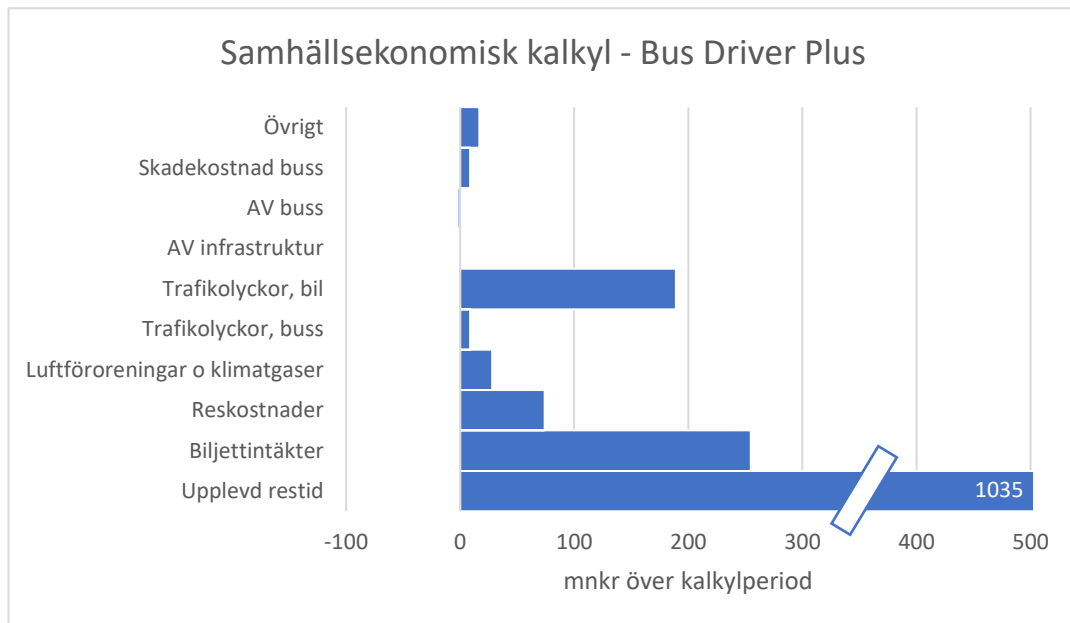
Scenariot innebär en överflyttning från övriga trafikslag till kollektivtrafik i stort, där den aktuella linjen ökar antalet resenärer för dygnet med cirka 40%. Överföringen sker dock inte enbart från bil, utan även från cykel och gång samt nygenerering av resor.

Tabell 2. Förändring av antal resor och personkilometrar. Avser så kallad vintervardag, det vill säga en genomsnittlig vardag för året, exklusive sommarmånaderna.

	Bil, förare	Bil, passagerare	Kollektivtrafik	Cykel	Gång
Antal resor	-386	-49	943	-70	-242
Personkilometrar	-8280	-6	39120	-415	-498

Figur 5 visar på mycket stora samhällsekonomiska vinster, där majoriteten är kopplad till förbättrade restider. Detta bygger på antagandet att resan upplevs bekvämare, mer som att resa med tåg, tack vare en mjukare körstil och mer punktlig trafik. Detta antagande bör tolkas med stor försiktighet och är med stor sannolikhet en överdrift. Det bör istället ses som en spekulativ övre gräns, snarare än realistiskt. Antalet studier som undersöker den upplevda restiden för självkörande bussar är begränsat. Chee et al. (2020) och Haboucha et al. (2017) berör upplevelsen av självkörande bussar men gör det svårt att dra omfattande slutsatser. Det finns betydligt fler studier kring upplevelsen av självkörande bilar men även här är resultaten varierande (se bland annat Singleton (2019) och Kolarova et al. (2019)).

Den samhällsekonomiska posten för restid är även den som har överlägset störst inverkan på kalkylen, varpå två huvudsakliga slutsatser kan dras. För det första är effekten troligtvis kraftigt överskattad. För det andra visar det på att även om effekten överskattats kraftigt så kan det ändå ge betydande samhällsekonomiska vinster som överträffar kostnaderna som antagits. Detta är även varför tillgängligheten inom regionen bedöms förbättras (se figur 7).



Figur 5. Samhällsekonomisk kalkyl för scenariot Bus Driver Plus. Posten för restider har trunckerats för att övriga värden ska synas tydligare. Fullständigt värde utskrivet i stapeln till höger. Den stora plusposten för restid kommer från antagandet om att resan upplevs av resenären som att åka tåg snarare än att åka buss. Posterna Trafikolyckor (med ett litet undantag), Luftföroreningar o klimatgaser, Reskostnader och Biljettintäkter är följdffekter av detta antagande. Notera även att AV är en förkortning av "Automated Vehicle".

Många av de övriga vinsterna (främst kopplat till biljettintäkter, reskostnader, luftföroreningar och klimatgaser samt trafikolyckor) är följdffekter av överflyttningen från bil, som även de (liksom restiden) beror på antagandet om att resenärerna upplever restiden som mer bekväm.

Kostnaden för teknologin har i det här scenariot antagits varit relativt låga, med en uppskattning om en utökad inköpskostnad på längre sikt per fordon på cirka 120 tkr från Wadud (2017) samt inget behov av ytterligare infrastruktur. Detta förutsätter dock en kraftig teknikutveckling, framförallt att fordonen är medvetna om sina begränsningar samt att kostnaderna initialt kan bli mycket högre. Intressant för scenariot är dock att endast kostnaden för skador på fordon i sig skulle kunna innebära en företagsekonomisk vinst för trafikoperatörerna med införande av förarstödsystem som minskar antalet skador. Vinsten för minskade antal personolyckor är av samma storleksordning. Antagandena om minskning av antalet olyckor och skador är dock mycket osäkra och bygger på uppskattningar utifrån att över 90 % av alla olyckor för biltrafik är kopplade till bristande mänsklig förmåga (National Highway Traffic Safety Administration, 2015) som de självkörande fordonen antas undvika.

En del av ökningen av resande med kollektivtrafiken kommer från gång och cykel, framförallt de kortare resorna, exempelvis inom Flemingsberg eller mellan Skärholmen och Kungens kurva (den planerade linjen har få hållplatser överlag men relativt tätt

liggande hållplatser i dessa områden). Samtidigt sker en överflyttning från bil eller kollektivtrafik vilket bör öka den fysiska rörligheten för anslutningsresor till hållplatser. Bedömningen är dock att scenariot innebär mindre fysisk aktivitet, vilket kan ses i figur 8.

Effekt	Ej beräknad	
	Bedömning	Beskrivning
Resenärer	Försumbart	-
Godstransporter	Försumbart	-
Persontransportföretag	Försumbart	Effekten bedöms som liten.
Trafiksäkerhet	Försumbart	-
Klimat	Försumbart	Effekten bedöms som liten.
Hälsa	Försumbart	Effekten bedöms som liten.
Landskap	Försumbart	-
Övriga externa effekter	Försumbart	Effekten bedöms som liten
Budgeteffekter	Försumbart	-
Inbesparade JA-kostnader	Försumbart	-
Drift, underhålls- och reinvesteringskostnader under livslängd	Försumbart	-

Figur 6. Sammanfattning av samhällsekonomisk analys av icke-monetära effekter. Överlag anses kalkylen väl fånga de huvudsakliga effekterna av scenariot.

Antagandet om att människor kommer värdera resan som mer värd än dagens bussresa bygger på antaganden om bekvämare resor. Här kan personalen ombord ge en positiv effekt i och med att de kan bistå med att svara på frågor eller hjälpa resenärer under färden. Många människor är dock negativt inställda till att resa med fordon som inte styrs av människor (European Union and Kantar Belgium, 2020). Det är troligt att fler blir bekväma med ny teknik efter en inväpningsperiod, vilket sker med den mesta teknik (även bilen och tåget mottogs med stor skepsis) men det är inte säkert att det ger ett generellt gillande av samtliga. Det går att jämföra med att majoriteten av resenärerna är positivt inställda till flygtrafik, men att en mindre grupp upplever det som mycket obehagligt. Det riskerar därför, primärt initialt, men kanske även på längre sikt, finnas stor variation i mottagandet hos resenärerna med de som är positiva och andra som upplever förlösa fordon som negativa.

Sammanfattningsvis bedöms scenariot ge ett positivt samhällsbidrag, men är beroende av en teknikutveckling och det är oklart när det är genomförbart. De positiva effekterna i scenariot kopplat till hur resan upplevs är troligtvis överskattade, men visar på en potentiellt stor samhällsekonomisk vinst genom ökad tillgänglighet inom regionen och överflyttningseffekter från bil.

Bidrag till FUNKTIONSMÅLET		
Medborgarnas resor	Tillförlitlighet	Inget bidrag
	Tryggt & bekvämt	Inget bidrag
Näringslivets transporter	Tillförlitlighet	Inget bidrag
	Nöjdhet & kvalitet	Inget bidrag
Tillgänglighet regionalt/länder	Pending	Positivt bidrag
	Tillgänglighet storstad	Positivt bidrag
	Interregionalt	Positivt bidrag
Jämställdhet	Jämställdhet transport	Positivt bidrag
	Lika möjlighet	Inget bidrag
Funktionshindrade	Kollektivtrafiknätet	Inget bidrag
Barn och unga	Skolväg	Inget bidrag
Kollektivtrafik, gång och cykel	Gång & cykel, andel	Negativt bidrag
	Kollektivtrafik, andel	Positivt bidrag
Bidrag till HÄNSYNSMÅLET		
Klimat	Mängd person- och lastbilstrafik	Positivt bidrag
	Energi per fordonskilometer	Positivt bidrag
	Energi bygg, drift, underhåll	Inget bidrag
Hälsa	Människors hälsa	Negativt bidrag
	Befolkning	Inget bidrag
	Luft	Positivt bidrag
	Vatten	Inget bidrag
	Mark	Inget bidrag
Landskap	Landskap	Inget bidrag
	Biologisk mångfald, växtliv, djurliv	Inget bidrag
	Forn- och kulturlämningar, annat kulturarv, bebyggelse	Inget bidrag
Trafiksäkerhet	Döda & svårt skadade	Positivt bidrag

Figur 7. Transportpolitisk målanalys av scenariot *Bus Driver Plus*. Överlag bedöms scenariot bidra till de transportpolitiska målen, förutom en viss överflyttning av resenärer från gång- och cykeltrafik vilket bidrar till minskad fysisk aktivitet och därmed även hälsa. Upplevelsen av att resa med en buss som kör själv kan dock upplevas som både positiv och negativ av olika individer, varför posten Tryggt & bekvämt ges varken positivt eller negativt bidrag.

4.3 Automation with adaptation

4.3.1 Förutsättningar

I scenariot Automation with adaption antas förare vara överflödiga, och kommer ersättas med en trafikledare som tar hand om cirka fem bussar. Att bussen blir helt självkörande medför en mer bekväm och säker färd, och jämförs även i detta scenario med att åka tåg. Automation with adaption betingar vissa krav på digital utrustning. Fysiska åtgärder inkluderar ett dedikerat körfält och annan fysisk infrastruktur längst hela sträckningen.

4.3.2 Resultat systemeffekter

Detta scenario innebär att bussarna i mycket stor utsträckning är självkörande med vissa ingrepp av en förare med hjälp av fjärrstyrning. I huvudsak uppnås de självkörande egenskaperna genom att den fysiska infrastrukturen, primärt genom att bussen får eget körfält längs med hela sträckan. Tabell 3 och figur 8–10 visar resultaten från analysen utifrån den samlade effektbedömningen och kommenteras nedan.

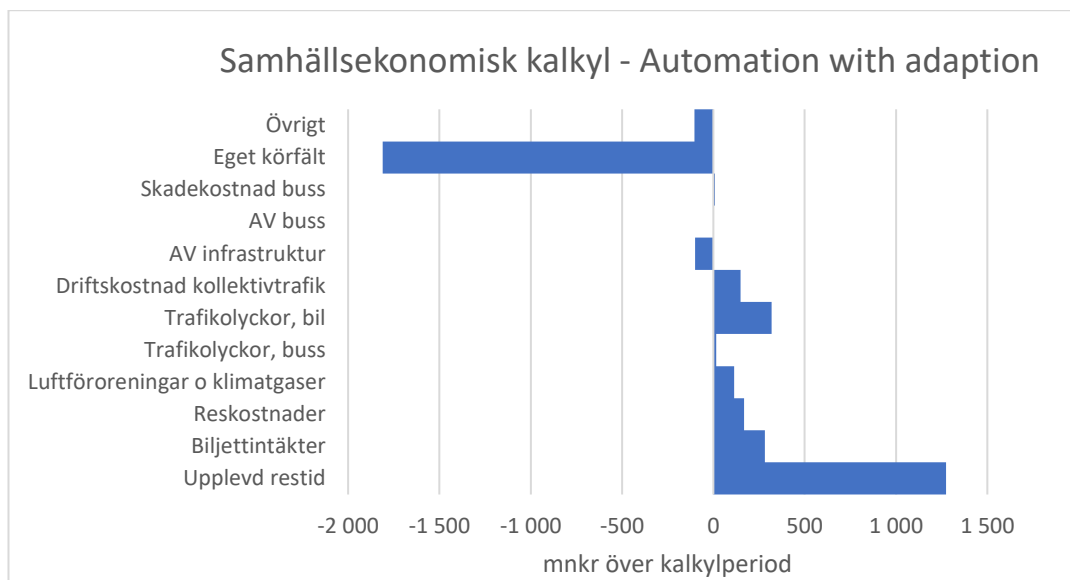
Scenariot ger liknande resultat som Bus Driver Plus gällande överflyttning från andra trafikslag, vilket kan ses i Tabell 3. Buslinjen ökar antalet resenärer med lite över 40 % och innebär både överflyttning från andra trafikslag samt nygenerering av resor.

Tabell 3. Förändring av antal resor och personkilometrar. Avser så kallad vintervardag, det vill säga en genomsnittlig vardag för året, exklusive sommarmånaderna.

	Bil, förare	Bil, passagerare	Kollektivtrafik	Cykel	Gång
Antal resor	-408	-57	1042	-75	-280
Personkilometer	-9580	-281	44790	-272	-135

Resultaten avseende vinster i form av restider och tillgänglighet (Figur 8) är liknande som för Bus Driver Plus, med stora vinster utifrån antagandet av att resenärerna upplever resan som mer likt en tågresor än en bussresa (se Bus Driver Plus för ytterligare resonemang kring detta). Därutöver är vinsterna något större då scenariot även innehåller antaganden om tätare busstrafik utanför rusningstrafiken.

Många av de samhällsekonomiska vinsterna handlar om följd effekter av överflyttningen från bil, såsom ökade biljettintäkter, minskade luftföroreningar och klimatgaser, färre trafikolyckor samt minskade reskostnader. Återigen bör det påpekas att antagandet om en bekvämare bussfärd bör ses som osannolikt och troligtvis är kraftigt överdrivet, likväl kan vinsterna bli omfattande även om de minskar kraftigt i storlek.



Figur 8. Samhällsekonomisk kalkyl för scenariot Automation with adaption. Kostnaden för det egna körfältet överskuggar tydligt andra faktorer. Den stora plusposten för restid kommer i huvudsak från antagandet om att resan upplevs av resenären som att åka tåg snarare än att åka buss. Posterna Trafikolyckor (med ett litet undantag), Luftföroreningar o klimatgaser, Reskostnader och Biljettintäkter är följeffekter av detta antagande.

Den stora kostnaden för åtgärden handlar om byggnation av ytterligare körfält i båda riktningar. Det bör tilläggas att denna kostnad är en grov uppskattning och därför kan bli både dyrare och billigare, men att storleksordningen bör vara korrekt. Vad som inte beräknats är kostnaderna i bygg- och driftskede, samt de utsläpp som sker i samband med detta och som kan påverka resultatet. Detta återspeglas istället i Figur 9 med de icke-beräknade effekterna.

Därutöver kan byggnation av ett nytt körfält dessutom påverka landskap, ekologi och utgöra ytterligare barriäreffekter lokalt, speciellt längs med de kommunala vägarna som busslinjen trafikerar. Detta avspeglas in målanalysen i Figur 10, där åtgärden riskerar att ha negativ inverkan på flera transportpolitiska mål. Att bygga ett extra körfält riskerar även att flytta buller närmare bebyggelse och att utöka turtätheten under mellantrafik bidrar även till mer buller i närområde.

Byggnation av ett eget körfält kan däremot få positiv symbolisk inverkan då det visar på en aktiv prioritering av kollektivtrafiken, samt som ett sätt att minimera inverkan av t.ex. köer för kollektivtrafik.

Kostnader kopplat till autonom teknik bedöms som relativt små, speciellt i jämförelse med kostnader för ett eget körfält. De kan även jämföras med vinsterna när det gäller Driftskostnad för busstrafik (kostnadsbesparing för föraren) som är betydligt högre.

Effekt	Ej beräknad	
	Bedömning	Beskrivning
Resenärer	Försumbart	-
Godstransporter	Försumbart	-
Persontransportföretag	Försumbart	Effekten bedöms som liten.
Trafiksäkerhet	Försumbart	-
Klimat	Negativt	Betydande utsläpp i byggskedet.
Hälsa	Försumbart	Effekten bedöms som liten
Landskap	Försumbart	Effekten bedöms som liten.
Övriga externa effekter	Negativt	Effekten bedöms som något negativ.
Budgeteffekter	Försumbart	-
Inbesparade JA-kostnader	Försumbart	-
Drift, underhålls- och reinvesteringarkostnader under livslängd	Negativt	Troligtvis betydande kostnaden kopplade till underhåll av extra körfält.

Figur 9. Sammanfattning av samhällsekonomisk analys av icke-monetära effekter för scenariot Automation with adaption

Liksom för scenariot Bus Driver Plus innebär scenariot Automation with Adaption en överflyttning från gång och cykel till kollektivtrafik, och därmed går emot mål om exempelvis ökad fysisk aktivitet, se resonemang under föregående kapitel (4.1.2).

Att ta bort föraren ombord kan även ge negativ inverkan på trygghet och många resenärer kan uppleva resan som mindre säker. Föraren har en trygghetsskapande roll, främst för kvinnor som upplever en markant skillnad i trygghet för busstrafik och tågtrafik där det saknas personal närvarande ombord (Trafikförvaltningen, Stockholms Läns Landsting, 2020). Att det inte finns en förare ombord minskar även möjligheter att få hjälp med praktiska frågor, även om vi antar att det finns möjlighet att kontakta personal på andra sätt. Se även föregående kapitel, 4.1.2, angående människors upplevelse av att resa med självkörande fordon.

Sammanfattningsvis går det att se att kostnaden för byggnation av ett eget körfält är mycket stora och bidrar till många negativa följder, såsom lokala barriäreffekter, och att sådana åtgärder endast bör införas om det finns mer betydande busstrafik än i detta fall. En annan variant är om körfältet även kan användas till andra funktion, såsom annan lastbilstrafik som också skulle kunna utnyttja körfältet. Ett tredje alternativ är att undersöka sträckningar där kostnaden är mindre, exempelvis tunnlar inte existerar.

Bidrag till FUNKTIONSMÅLET		
Medborgarnas resor	Tillförlitlighet	Inget bidrag
	Tryggt & bekvämt	Inget bidrag
Näringslivets transporter	Tillförlitlighet	Inget bidrag
	Nöjdhet & kvalitet	Inget bidrag
Tillgänglighet regionalt/länder	Pendling	Positivt bidrag
	Tillgänglighet storstad	Positivt bidrag
	Interregionalt	Positivt bidrag
Jämställdhet	Jämställdhet transport	Positivt bidrag
	Lika möjlighet	Inget bidrag
Funktionshindre	Kollektivtrafiknätet	Negativt bidrag
Barn och unga	Skolväg	Negativt bidrag
Kollektivtrafik, gång och cykel	Gång & cykel, andel	Negativt bidrag
	Kollektivtrafik, andel	Positivt bidrag
Bidrag till HÄNSYNSMÅLET		
Klimat	Mängd person- och lastbilstrafik	Positivt bidrag
	Energi per fordonskilometer	Positivt bidrag
	Energi bygg, drift, underhåll	Negativt bidrag
Hälsa	Människors hälsa	Negativt bidrag
	Befolkning	Negativt bidrag
	Luft	Positivt bidrag
	Vatten	Inget bidrag
	Mark	Negativt bidrag
Landskap	Landskap	Inget bidrag
	Biologisk mångfald, växtliv, djurliv	Negativt bidrag
	Forn- och kulturlämningar, annat kulturarv, bebyggelse	Inget bidrag
Trafiksäkerhet	Döda & svårt skadade	Positivt bidrag

Figur 10. Transportpolitisk målanalys av scenariot Automation with adaption.

4.4 Automation Utopia

4.4.1 Förutsättningar

Automation Utopia scenariot innebär helt självkörande bussar och det finns därmed ingen förare ombord. Trafikledare har istället hand om bussarna och antas hantera upp till 20 bussar samtidigt, eftersom de är så autonoma. Även här kan upplevelsen liknas vid att åka tåg då resan är mer bekväm och säker. Detta scenario medför höga krav på den digitala infrastrukturen men mindre krav på den fysiska.

4.4.2 Resultat systemeffekter

Detta scenario innebär att bussen är självkörande i mycket hög grad, och endast undantagsvis framförs av personal med hjälp av fjärrstyrning. Därutöver har den även ökat sin körhastighet. Till skillnad från Automation with adaption så uppnås detta genom digital teknik, och troligtvis ett större tekniksprång överlag (varav namnet Utopi). Tabell 4 och figur 11–13 visar resultaten från analysen utifrån den samlade effektbedömningen och kommenteras nedan.

Resultaten för detta scenario är ungefär en fördubblad effekt jämfört med övriga scenarion. Linjen förväntas få nästan dubbelt så många resenärer som idag (vilket troligtvis skulle leda till kapacitetsproblem vilket inte har undersökts inom ramen för detta projekt). Såsom i övriga scenarion är ökningen en blandning av överföring från bil, gång, cykel och nygenererade resor.

Tabell 4. Förändring av antal resor och personkilometrar. Avser så kallad vintervardag, det vill säga en genomsnittlig vardag för året, exklusive sommarmånaderna.

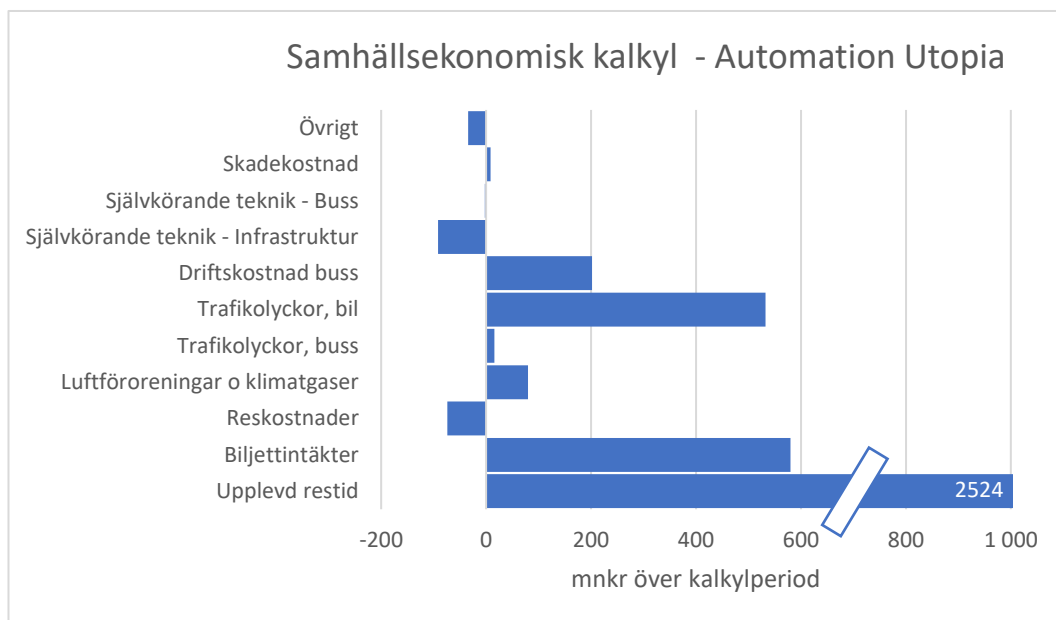
	Bil, förare	Bil, passagerare	Kollektivtrafik	Cykel	Gång
Antal resor	-818	-117	2147	-155	-581
Personkilometer	-18960	-712	89740	-694	-683

Den största vinsten är, liksom i övriga scenarion, den ökade tillgängligheten inom regionen genom kollektivtrafiken. Förutom en minskad upplevd restid genom att färden antas upplevas som en tågresor (se 4.1.2 Bus Driver Plus) har även en hastighetsökning på 20 % införts, vilket skapar mycket stora restidsvinster (se Figur 11).

Liksom i övriga scenarion så är många av de andra vinsterna kopplade till överflyttning från biltrafik till kollektivtrafik, såsom biljettintäkter, trafikolyckor kopplat till biltrafiken samt minskade utsläpp av luftföroreningar och klimatgaser. För detta scenario bedöms dock reskostnaden för resenärer vara negativ, vilket troligtvis beror på att resenärerna väljer kollektivtrafik som ett dyrare, men snabbare, alternativ. Jämför exempelvis många av resorna som tidigare skett genom att gå, där resenärerna troligtvis får en snabbare resa, men nu betalar för den.

Som tidigare påpekat (se främst resonemang under Bus Driver Plus) råder mycket stora osäkerheter om hur en resa med ett självkörande fordon kan komma att upplevas. Det är troligt att antagandet att människor upplever resan som betydligt bekvämare är kraftigt överskattad. Trots detta, kan potentialen vara stor.

Kostnaden för självkörande teknik är även stor, men betydligt lägre än den insparade driftskostnaden för busstrafik som i huvudsak utgörs av minskade personalkostnader, men även en mindre post för ett minskat behov av fordon (utifrån antagande om snabbare körtid). Även här innebär kostnader kopplade till skador och olyckor få en liten påverkan på den totala kalkylen (trots antaganden om en kraftig minskning, 90%). Utökade utsläpp i samband med drift av digital infrastruktur är dock inte medräknat (se Figur 12).



Figur 11. Samhällsekonomisk kalkyl för scenariot Automation Utopia. Posten för restider har trunckerats för att övriga värden ska synas tydligare. Fullständigt värde utskrivet i stapeln till höger. Den stora plusposten för restid kommer i huvudsak från antagandet om att resan upplevs av resenären som att åka tåg snarare än att åka buss. Posterna Trafikolyckor (med ett litet undantag), Luftföroreningar o klimatgaser, Reskostnader och Biljettintäkter är följdffekter av detta antagande.

Som i övriga scenarion bedöms även detta scenario bidra negativt till fysisk rörlighet, men troligtvis i ännu högre grad på grund av en större överflyttning från gång och cykel (Figur 13). Se vidare resonemang under 4.1.2 Bus Driver Plus.

Liksom i Automation with Adaption finns det även risk för en ökad otrygghet ombord, framförallt för kvinnor och grupper som kan behöva assistans. Det finns även viss risk för att bullret ökar om turtätheten (och hastigheten) ökar, framförallt längs med det kommunala vägnätet (se föregående kapitel).

Effekt	Ej beräknad	
	Bedömning	Beskrivning
Resenärer	Försumbart	-
Godstransporter	Försumbart	-
Persontransportföretag	Försumbart	Effekten bedöms som liten.
Trafiksäkerhet	Försumbart	-
Klimat	Negativt	Utsläpp av koldioxid vid byggnation och drift av digital infrastruktur
Hälsa	Försumbart	Effekten bedöms som liten.
Landskap	Försumbart	-
Övriga externa effekter	Försumbart	Effekten bedöms som liten
Budgeteffekter	Försumbart	-
Inbesparade JA-kostnader	Försumbart	-
Drift, underhålls- och reinvesteringarkostnader under livslängd	Försumbart	-

Figur 12. Sammanfattning av samhällsekonomisk analys av icke-monetära effekter för scenariot Automation Utopia.

Utöver det finns en risk att bussen kan utgöra en barriäreffekt om det saknas tydliga sätt för människor att kommunicera med den vid t ex övergångsställen. Denna effekt är relativt utforskad, även om experiment med främst visuella hjälpmedel (t ex lampor för att uppmärksamma att fordonet "sett" gångtrafiken) genomförts (se exempelvis Faas et al., (2020))

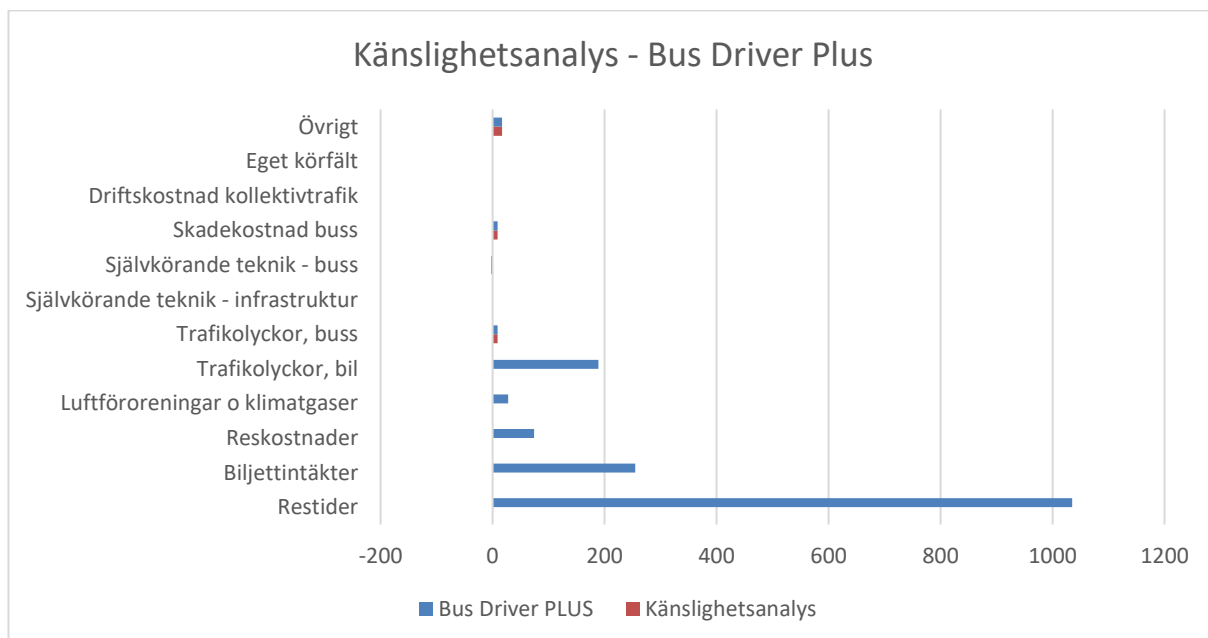
Bidrag till FUNKTIONSMÅLET		
Medborgarnas resor	Tillförlitlighet	Inget bidrag
	Tryggt & bekvämt	Inget bidrag
Näringslivets transporter	Tillförlitlighet	Inget bidrag
	Nöjdhet & kvalitet	Inget bidrag
Tillgänglighet regionalt/länder	Pendling	Positivt bidrag
	Tillgänglighet storstad	Positivt bidrag
	Interregionalt	Positivt bidrag
Jämställdhet	Jämställdhet transport	Positivt bidrag
	Lika möjlighet	Inget bidrag
Funktionshindrade	Kollektivtrafiknätet	Negativt bidrag
Barn och unga	Skolväg	Inget bidrag
Kollektivtrafik, gång och cykel	Gång & cykel, andel	Negativt bidrag
	Kollektivtrafik, andel	Positivt bidrag
Bidrag till HÄNSYNSMÅLET		
Klimat	Mängd person- och lastbilstrafik	Positivt bidrag
	Energi per fordonskilometer	Positivt bidrag
	Energi bygg, drift, underhåll	Negativt bidrag
Hälsa	Människors hälsa	Negativt bidrag
	Befolkning	Positivt bidrag
	Luft	Positivt bidrag
	Vatten	Inget bidrag
	Mark	Inget bidrag
Landskap	Landskap	Inget bidrag
	Biologisk mångfald, växtliv, djurliv	Inget bidrag
	Forn- och kulturlämningar, annat kulturarv, bebyggelse	Inget bidrag
Trafiksäkerhet	Döda & svårt skadade	Positivt bidrag

Figur 13. Transportpolitisk målanalys av scenariot Automation Utopia.

4.5 Känslighetsanalys – ingen förändrad upplevd restid

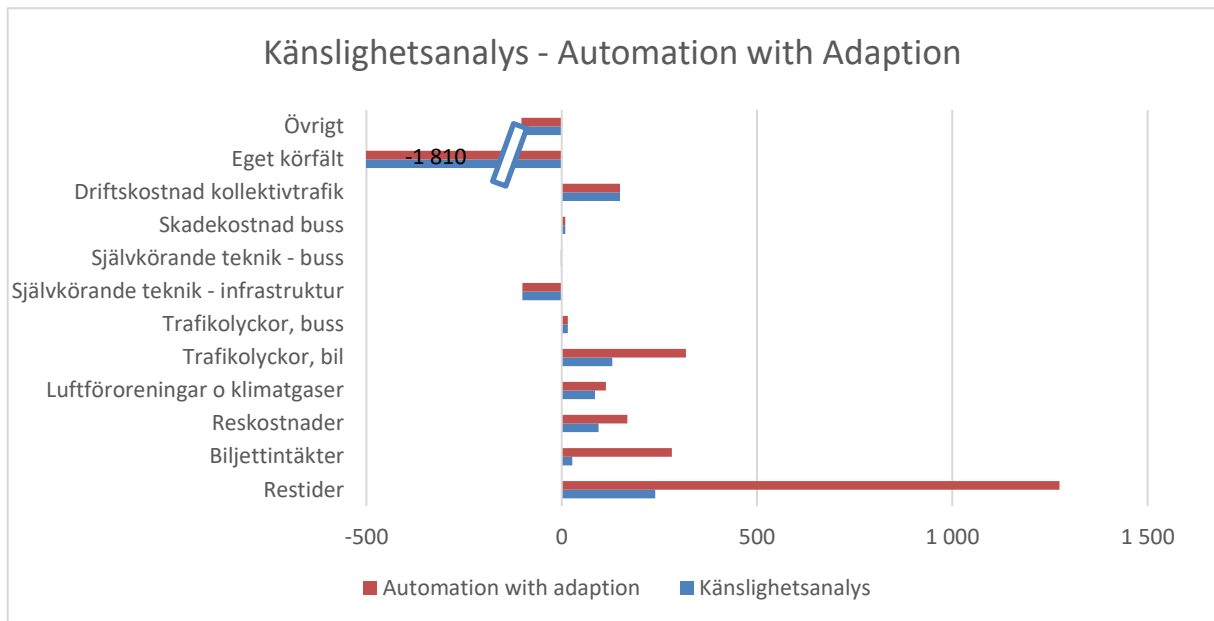
För att förstå inverkan av den största posten, upplevd restid, redovisas här effekter av analysen för scenariona Bus Driver Plus och Automation with Adaption utan att förändra den upplevda restiden. För Automation with Adaption har endast en förenklad beräkning genomförts, men bedömningen är att en fullständig beräkning skulle ge liknande resultat. För Automation Utopia har dessvärre ingen känslighetsanalys genomförts på grund av tidsbrist.

För scenariot Bus Driver Plus är den huvudsakliga effekten kopplad till just antaganden om en förändrad upplevd restid, varav känslighetsanalysens poster mestadels är 0, exklusive några mindre effekter kopplade till skador, olyckor och kostnad för tekniken ombord, se Figur 14.



Figur 14. Känslighetsanalys för scenariot Bus Driver Plus, med eller utan förändring av värdet för upplevd restid.

För scenariot Automation with Adaption tillkommer vinster för resenären i form av utökad turtäthet utanför rusningstrafiken. Som syns i Figur 15 sjunker den samhällsliga vinsten markant, men är fortfarande klart positiv i jämförelse med investeringar i självkörande teknik och därutöver kvarstår vinster i form av minskat behov av personal. Mest sjunker intäkter för Biljetter, medan en stor del av vinsten av minskade luftföroreningar och klimatgaser kvarstår. Det bör dock tilläggas att denna beräkning endast är en förenklad, och att en mer ingående skulle ge något förändrade resultat.



Figur 15. Känslighetsanalys för scenariot Automation with Adaption, med eller utan förändring av värdet för upplevd restid. Värdet för Eget körfält har trunkeats för att öka synligheten för övriga värden.

4.6 Sammanfattning

Även om analysen av systemeffekter bygger på många antaganden kan ändå några slutsatser dras av analyserna.

- Överlag verkar den samhällsekonomiska lönsamheten vara god för självkörande teknik, förutsatt att det inte kräver byggnation av ett eget körfält som används i begränsad omfattning. När och om det faktiskt är tekniskt möjligt är dock mer oklart.
- Minskningen av antalet olyckor eller fordonsskadekostnader utgör en liten del av den samhällsekonomiska vinsten, även med ambitiösa antaganden 90-procentiga minskningar.
- Minskningen av kostnader för drift (det vill säga minskad kostnad för förare) var högre än motsvarande kostnader för infrastruktur och behovet av teknik ombord bussen. Det finns dock osäkerheter kring både den faktiska kostnaden för tekniken (som initialt bör vara betydligt högre) och om det är möjligt att realisera vinsterna i att minska bemanning ombord på bussen.
- Den stora samhälleliga vinsten verkar handla om att göra resan ombord mer bekväm och möjligheten att öka turtäthet och körhastighet. Detta ger 1) en stor vinst för kollektivtrafikresenärerna och 2) stora vinster kopplade till överflyttning

från bil- till kollektivtrafik. Antagandena i studien är troligtvis kraftigt överskattade, men ändå av en sådan magnitud att det finns stora potentiella samhällsvinster.

- Överflyttningen sker inte endast från bil, utan i lika stor utsträckning från gångtrafik och cyklande, vilket riskerar minska t ex fysisk aktivitet och troligtvis inte uppväger den ökade fysiska aktiviteten av de tidigare bilisterna (som går till och från hållplats).
- Stora osäkerheter finns kopplat till hur resenärerna upplever en tjänst som inte körs av en människa, exempelvis i form av trygghet och den nuvarande förarens funktion som problemlösare.

5 Multimodala hubbar

Tvärförbindelse Södertörn är en stor investering i väginfrastruktur med en lång livslängd. Det är därför av intresse hur den färdigbyggda förbindelsen kan bidra till en attraktiv kollektivtrafik där resenärer i första hand väljer buss istället för bil. Genom s.k. multimodala hubbar kan förbindelsens attraktionskraft öka för kollektivtrafikresenärer. I detta avsnitt redogörs vad en multimodal mobilitetshubb är samt hur den kan stödja införande och drift av autonoma och eldrivna bussar.

5.1 Kartläggning

Projektet har genomfört en kartläggning av genomförda projekt av relevans för ovan frågeställning. Nedan presenteras de mest intressanta resultaten.

Smart mobilitet kan bidra till ett mer hållbart transportsystem, attraktiva städer och levande landsbygd. Men kan även leda till negativa effekter som ökad privatbilism, mer trängsel och en försämrad stadsmiljö. En central förutsättning för positiva effekter är att andelen kollektivtrafik och delade mobilitetstjänster ökar. Det finns en önskan inom kommuner att skapa bättre mobilitet och fler möjligheter för medborgarnas resande, samt en ambition att bidra till en överflyttning till mer hållbart resande och därmed en hållbar utveckling. (Isaksson et al., 2020)

Österåkers kommun har genomfört en utredning om ett mobilitetshus som ett verktyg för att nå mål inom hållbar mobilitet (Kanalstaden) med syftet att främja hållbara transportmedel och underlätta byten. Ett mobilitetshus har definierats som en byggnad där flera olika mobilitetstjänster finns samlade och tillgängliga för resenärer. Införandet av en sådan har flera påvisade effekter, såsom fler stadskvaliteter, mer yteffektiva lösningar, förbättring av folkhälsan, m.m. Mobilitetshus ägs ofta av kommuner som sköter drift och underhåll medan en extern part, ofta ett parkeringsbolag, erbjuder olika typer av mobilitetstjänster genom intäkt av parkeringsavgift. (Johansson, 2019)

Flera undersökningar utreder och testar förutsättningarna för att etablera en inomhushållplats för eldriven buss (se ElectricCity och Frihamnen, Göteborg) eftersom det kan bidra till en mer attraktiv kollektivtrafik. Resultaten visar att attraktiva miljöer kan skapas där kollektivtrafiken integreras i staden, att det skapar mervärden för kringliggande verksamheter samt att en eldriven buss är en förutsättning för att kunna angöra på en hållplats inomhus (dvs. där det inte är möjligt med en konventionell buss). Ytterligare en förutsättning är att en sådan hållplats måste finnas med tidigt i planeringsprocessen samt att ansvarsfrågan behöver klargöras. Hållplatsen bör utformas så de skapar en välkomnande, trygg och attraktiv miljö. (Ohlin et al., 2018; Törngren, 2018)

Även andra funktioner för hubbar utreds. Samhall och PostNord vill skapa hubbar för returer av paket, för att reducera dess klimatpåverkan. Hubbarna skulle ha en

multifunktion då paketreturfunktionen kombineras med outlet-butiker för att sälja produkter som annars skulle kasseras. (Samhall, 2020)

I Västerås planeras ett nytt resecentrum då stadens befolkning ökar kontinuerligt, och därmed skapar ett ökat behov av resande. Det nya resecentrum ska kunna hantera mycket större flöden av trafik och resenärer än idag, bidra med bättre tillgänglighet, samordning och smidigare byten. Centrumet förväntas vara väl integrerad i stadsmiljön som en trygg, säker, tillgänglig och välkomnande mötesplats, kommersiellt bärkraftig och med en hög servicegrad. (Västerås Stad, 2019)

Ett projekt i Michigan, USA, undersöker att skapa uppkopplade korridorer i anslutning till multimodala noder, s.k. "opportunity zones", som stödjer ny mobilitet och knyter ihop olika destinationer. Korridoren stödjer en mix av uppkopplade och delade mobilitetstjänster som självkörande fordon, transit fordon, pooler med olika typer av fordon samt både gods och privata fordon. (Mass Transit, 2020)

5.2 Workshop

För att samla kunskap har experter i branschen som representerar olika delar av samhället intervjuats samt en workshop har genomförts. Nedan beskrivs resultaten om hur bytespunkt Flemingsberg kan stödja eldrivna och självkörande bussar.

5.2.1 Bytespunkt Flemingsberg

Flemingsberg är idag en naturlig transportnod och regional kärna som kommer att expandera då Huddinge kommun har ambitiösa planer för exploatering. I dagsläget utformas detaljplaner och exploatering förväntas starta 2030.

Det finns stor efterfrågan från resenärer att byta transportslag vid platsen då flera olika transportslag stannar vid platsen idag och ännu fler i framtiden. Det finns även regionala intressen då sjukhus, industri, boende kommer etableras samt att Dramaten och Operan flyttar dit. Det medför att platsen får fler boende och företag som alla ska kunna röra sig i bytespunkten. Området förväntas därmed att utvecklas till en tät stad och ambitionen är att naturligt integrera bytespunkten i stadsmiljön. Det finns dock en oro att det inte finnas tillräckligt mycket tillgängligt i Flemingsberg för att rymma allt som planeras.

Området är dessutom extra problematiskt då en nedsänkning av Huddingevägen ska genomföras innan exploatering kan ske för bytespunkt Flemingsberg och inget av byggnationerna är idag färdigfinansierade.

5.2.2 Eldrivna och självkörande bussar

Nedan följer ett kort redogörelse för vad respektive aktör anser om eldrivna och självkörande bussar enligt diskussioner från en workshop.

Huddinge kommun - markägare för bytespunkt Flemingsberg

Elektrifiering av kollektivtrafiken är viktigt och att det finns platser där elfordon kan ladda. Huddinge kommun vill medverka i att skapa förutsättningar för ett hållbart transportsystem som även är attraktivt för resenärer. Gällande automatisering har kommunen inte samma tydliga ambitioner, men vill ändå att Flemingsberg ska vara planerad på ett sådant sätt som inte omöjliggör för automatisering i framtiden.

Kommunen är positiva till nya mobilitetslösningar och uppmuntrar åtgärder, tex pilotprojekt, som leder mot kommunens klimatmål.

Nobina - operatör av kollektivtrafik på Tvärförbindelse Södertörn

Nobina har drivit utvecklingen av självkörande minibussar genom olika pilotprojekt, t.ex. Autopiloten i Kista samt i Barkarby där tre minibussar är integrerade i kollektivtrafiksystemet. Nobina hade planer på att testa en självkörande normalstor BRT buss från Barkarby in mot Kista som nu har avbrutits. Det har visat sig att det inte går att genomföra piloter med fullängdsbussar då det är tekniskt svårare än förväntat och ingen fordonstillverkare kan idag tillhandta ett fordon för test. Det stöds även av att Trafikverkets RFI för försök med persontransporter avbröts hösten 2020 med samma motivering. Nobina tror dock att ett införande kommer i framtiden när tekniken och samhället är redo för det, både i stadskärnor och glesbygd.

Generellt drivs Nobina av att uppfylla villkor i avtal med t.ex. Region Stockholm för utförandet av kollektivtrafik. Ekonomiska incitament i befintliga avtal är fler och nöjda resenärer. Om något ska förändras i utförandet av kollektivtrafiken måste nya upphandlingar innehålla incitament som stödjer förändringen. Avtal för drift av kollektivtrafik har ofta långa löptider som 10 år som kan göra att operatörer investerar i fordon. Så för Stockholm behöver Region Stockholm skapa nya incitament i framtida upphandlingar med ekonomisk kompensation för vad som avses, tex multimodala hubbar eller eldrivna och självkörande fordon.

Nobinas fordonsflotta består idag av elbussar som laddar i depå med begränsad räckvidd. Om elbussar ska klara av att trafikera längre sträckor, tex linje J på framtida tvärförbindelse Södertörn, krävs att vägen elektrifieras.

Regionen Stockholm - beställare av kollektivtrafik

Region Stockholm har en strategi för att eldriven busstrafik ska bli en naturlig del av Stockholms kollektivtrafik. Den största nyttan med elbussar bedöms finnas i tät stadsmiljö där de ger tyst trafik och är nästan fria från koldioxidutsläpp.

Region Stockholm utgångspunkt är att det måste finnas laddmöjligheter för elbussar som trafikerar i Stockholm. Eldrift av upphandlade operatörer styrs i avtal och det är problematiskt att kravställa eldrift idag eftersom det saknas mycket infrastruktur i

Stockholm och tillgänglig yta är kraftigt begränsad. Därför föredrar regionen laddning av el i depå.

Angående självkörande bussar återstår många utmaningar, tex social hållbarhet. Det är en extra komplexitet när många personer åker samtidigt avseende trygghet och säkerhet. Personal ombord upplevs tryggare bland unga kvinnor och trygghet är viktigt nu och framöver. Dock kan självkörande bussar innebära en kostnadsbesparing på 60% om ingen förare behöver vara ombord och busståg är intressant vilket dock kräver en helt ny trafikledning än idag.

I samband med teknisk utveckling är det viktigt att säkerställa säkerheten för resenären inklusive sociala aspekter. Det är en risk med att vara först på marknaden att testa ny teknik, det är ett säkrare alternativ att handla upp beprövade lösningar och även undvika att bli leverantörsberoende. Ny teknik är bra men bara om den fyller en funktion för resenärer.

Region Stockholm syftar generellt till att öka antal resenärer. För att resenärer ska välja kollektivtrafiken måste kollektivtrafiken vara mer attraktiv än biltrafiken, det är en ständigt pågående konkurrens. Därför behöver bussar god framkomlighet för att bli ett bättre val än bilen. Den planerade förbindelsen förbättrar framkomligheten för bussarna, men framkomligheten blir ännu bättre för bilar vilket försämrar kollektivtrafikens konkurrenskraft. Tex så får bussar färdas i 90 km/h på tvärförbindelsen medan bilar får åka 100 km/h. Vidare finns det få resenärer och inga naturliga bytespunkter längs motorleden som har långa av- och påfartsramper. Det finns även exempel på knepiga körvägar som blir kostnadsdrivande på en aggregerad nivå. Region Stockholm hävdar att med enkla medel kan framkomligheten bli betydlig bättre för kollektivtrafiken som därmed stärker sin konkurrenskraft mot bilen. Det är även i linje med politiska mål.

5.3 Resultat

Syftet med kartläggningen och workshopen var att besvara vad är en multimodal hubb är samt hur de kan stödja eldrivna och självkörande bussar längs förbindelsen.

5.3.1 Multimodal hubb

En multimodal hubb beskrivs som en byggnad där flera olika mobilitetstjänster finns samlade på ett ställe som kontrast till befintliga parkeringsgarage där enbart bilen kan parkeras för vidare transport med buss eller tåg.

I ett mobilitetshus kan det finnas tillgång till elcyklar, lastcyklar, elbilar, kick-bikes och en basinфраstruktur för el-laddning och verktyg för enklare service (t.ex. cykelpump). Även nya tekniska lösningar (självkörande fordon), informationstjänster för leverans av gods, återvinningstjänster och logistik tjänster kan finnas vid platsen.

Syftet är att främja hållbara transportsätt och underlätta för byten mellan olika hållbara transportslag och vara en integrerad del i en attraktiv stadsmiljö. Platsen möjliggör en

fortsatt färd i eller från närområdet och kan placeras i stadsdelar med ambitiösa miljömål som bilfria bostadsområden eller miljözoner. Ett annat konkret syfte med en multimodal hubb är att minska efterfrågan på bilparkering och att generellt att minska användning av egen bil.

5.3.2 Tvärförbindelse Södertörn

En multimodal hubb är ett verktyg för att nå delad mobilitet och både öka andelen, samt bidra till en överflyttning till, kollektivtrafiken. Längst Tvärförbindelse Södertörn planeras inga nya multimodala hubbar, däremot har Huddinge kommun startat att planeringen av en expansion av bytespunkt Flemingsberg där en multimodal hubb kan komma att bli aktuell. Innan byggnation av Flemingsberg kan påbörjas måste nedsänkningen av Huddingevägen färdigställas. Den planerade Tvärförbindelse Södertörn förbättrar framkomligheten för kollektivtrafiken, men framkomligheten blir även bättre för bilar, vilket relativt sätt försämrar kollektivtrafikens konkurrenskraft på förbindelsen.

5.3.3 Eldrivna bussar

Beställare av kollektivtrafik behöver ställa nya krav på upphandlingar för att åstadkomma förändringar i transportsystemet. Detta kan uppnås genom att skapa ekonomiska incitament för operatörer. Beställare, t.ex. Region Stockholm, kan dock inte ställa krav på eldrift eftersom det saknas tillgänglig infrastruktur i Stockholm. För att den planerade busslinje J ska kunna trafikera Tvärförbindelse Södertörn krävs en elektrifiering av vägen, då dagens depåladdning inte har tillräcklig räckvidd.

5.3.4 Självkörande bussar

Tekniken är ännu inte mogen för självkörande bussar vilket även stöds av att Trafikverket avbröt RFI för förslag till projekt med automatiserad persontransport. Operatörer tror att självkörande bussar kommer att införas, både i stadsmiljö och på glesbygd, när tekniken och samhället är redo för det. Självkörande bussar utan förare ombord skapar möjligheter till flexibel planering för kollektivtrafikoperatören avseende ruttplanering, vilket bidrar till ökad turtäthet. Självkörande teknik medför att kostnaden för en förare uteblir, vilket utgör cirka 50–60% av driftkostnaden, men det skapar nya kostnader på cirka 25% enligt workshopresultat. Denna kostnad består delvis av ny trafikledning, vilket är en förutsättning för självkörande bussar, kompetenshöjning av personal osv. Vidare är busskonvojer (platooning för buss) en intressant funktion att utreda vidare för kollektivtrafiken.

6 Resultat av extern workshop

Inom projektet genomfördes en längre workshop för att samla in kommentarer kring scenarion och på resultat. På workshopen deltog representanter från Trafikverket, KTH, Trafikförvaltningen Region Stockholm, Keolis, Nobina, Volvo Cars samt Scania. Nedan följer en kort sammanfattning av diskussionerna för respektive scenario:

6.1 Buss Driver Plus

Diskussioner kring scenariot Bus Driver Plus upplyste om att resenärer upplever det som positivt att en förare är närvarande i fordonet, trots att resan antas bli behagligare med självkörande teknik. Ytterligare positiva aspekter med att ha en förare ombord är att denne kan hantera avvikande eller farliga situationer samt få passagerare att känna sig tryggare.

Vidare ifrågasattes rimligheten i att använda resvärdet för en tågupplevelse för en självkörande stombuss i Sampersmodellen, i och med dess markanta utslag i analyserna. Att tåg upplevs som behagligare än vanlig buss beror nämligen inte enbart på att fordonet framförs jämnare.

6.2 Automation with Adaptation

Angående scenariot Automation with adaptation kom workshopen fram till att ett dedikerat körfält bör öka den positiva upplevelsen för passagerare, vilket modellen borde ta hänsyn till. Även pedagogiska effekter tillkommer när bilar i bilkö ser bussar åka förbi obehindrat i ett eget körfält. Ett separat körfält för kollektivtrafik kan dessutom minska restiden genom ökad hastighet. Detta är ett drömscenario för kollektivtrafik och generellt bör ny infrastruktur ta hänsyn till det. En konsekvens av ett dedikerat körfält för buss är att det minskar framkomligheten för näringslivets transporter och därmed orsakar en samhällskostnad. Däremot klargjordes det under workshopen att om man ska införa ett separat körfält för buss, bör detta omfatta en sträcka som trafikeras av flera bussar samt där inga tunnlar finns, till skillnad från Tvärförbindelse Södertörn som endast planeras ha en busslinje.

Vidare kunde det konstateras att byggnation av ett nytt körfält är kostsamt, dock är det billigare att bygga med asfalt än att bygga tågräls. Trots detta finns en osäkerhet kring kostnaden av nya, dedikerade körfält. Kostnaden kommer dessutom bero av vägtypen. Tvärförbindelse Södertörn inkluderar 3 tunnlar vilket gör det orimligt dyrt att bygga dedikerade körfält för autonom buss.

6.3 Automation Utopia

Diskussionerna kring det sista scenariot, Automation Utopia, understrykte att vägarna i Stockholm är hårt trafikerade under rusningstrafik och klargjorde att sträckan Södertörn innehåller 3 tunnlar som bidrar till flaskhalsar. Därför är det av intresse att undersöka huruvida framkomligheten kan öka i och med digitala tjänster som signalprioritering eller

dynamiska körfält. I en framtid där avancerade digitala tjänster finns tillgängliga för bussar är de även tillämpningsbara på vanliga fordon, vilket ju möjliggör trafikstyrning. Vidare finns det fler sätt att öka framkomlighet och medelhastighet för bussar utöver dedikerade körfält, menar workshopdeltagare. Enligt Nobinas framkomlighetsrapport har hastigheten minskat kontinuerligt det senaste decenniet. Antal fordon samt personer som behöver transporteras ökar dock konstant. Eftersom sådana faktorer (hastighet, framkomlighet, restid, punktlighet, etc.) driver det kollektiva resandet är dessa viktiga att bevaka och åtgärda. Operatörer menar att värdet av signalprioritering är densamma för all form av kollektivtrafik oavsett busslinetyp, autonomt fordon eller ej. Framkomligheten avgör restid som är en av de viktigaste faktorerna för att välja eller inte välja kollektivt. Dock har en stombuss med fler resande ett större totalt värde av att få ökad framkomlighet.

Enligt prognos över trafikmängder på Tvärförbindelse Södertörn blir det inte köer. Men att utveckla nya dynamiska sätt att prioritera kollektivtrafik, buss i det här fallet, utöver att bygga nya körfält är väldigt intressant framöver. Det är kostnadseffektivt för Trafikverket och skapar andra nyttor. Modellen har tagit hänsyn till en beräknad ökning av tung trafik när Norviks Hamn invigs. Tung trafik åker ofta i höger körfält och konkurrerar därmed med bussen. Enligt Trafikverkets uppskattningar ligger Södertörnsträckan över genomsnittet, varför Tvärförbindelse Södertörn är nödvändig.

Angående modellens beräkningar om fordonsskadekostnader innebär minskade mängder skador på bussarna stora besparingar i vardagen på aggregerad nivå för en operatör. Fordonsskadefrekvensen har antagits minska i detta scenario med 90%, ett antagande som egentligen gäller för bilar. Frågan är hur väl detta antagande stämmer för bussar. Anmärkningsvärt är även att detta antagande är osäkert även för privatbilar.

Bra framkomlighet kan resultera i ökad turtäthet, varpå en operatör kan nå en optimering med befintliga resurser, utan automatisering. Däremot ger automatisering en flexibilitet i planeringen, t.ex. ingen förare som behöver paus och fordon kan trafikera dygnet runt. Det möjliggör för operatörer att jobba mer "on-demand", både gentemot resenär och med trafikledning. Föraren utgör 48–60% av driftskostnaden för en buss och den potentialen driver utvecklingen hos operatörer. Men att ta bort en förare skapar även andra kostnader som övervakning av trafikledning, andra kompetenser som behövs osv. Cirka 25 % av kostnadsbesparingen går till dessa kostnader. Det är däremot inte säkert att den aktör som gör de nödvändiga investeringarna får ta del av vinsten.

7 Summering och spaning framåt

Vi har beskrivit tre scenarios som beskriver ytterligheter snarare än önskvärda eller ens möjliga framtida utvecklingar. Scenarios har varit utmärkt underlag för diskussion och skapat en djupare förståelse kring hur autonoma fordon påverkar sin omgivning. Det har också väckt tanken att en kombination av de olika scenarios kan skapa ett fjärde scenario som kan bli en målbild för framtida utveckling givet vissa förutsättningar.

Under projektetiden har det blivit tydligt att det inte idag är möjligt att utföra praktiska demonstrationer med självkörande fullängdsbussar. Tekniken är helt enkelt inte mogen. Som grund för den spaningen ser vi att Trafikverket avbröt sin RFI för försök med självkörande bussar planerad att genomföras i Linköping. Även Nobina har bordlagt sina planer på en pilot från Barkabystaden. Dock finns en förväntan i branschen att självkörande fullängdsbussar införs när tekniken och samhället är redo för det, uppskattningsvis kring år 2030. Av en ren slump sammanfaller den tidpunkten med när Tvärförbindelse Södertörn förväntas vara färdig vilket kan öppna upp för intressanta försök. Om det är lämpligt. Det finns fakta som talar för motsatsen. Förbindelsen har tre tunnlar vilket gör det orimligt att använda ett dedikerat busskörfält och enbart en stombusslinje förväntas att trafikera på sträckan.

Ovan föranleder till att resonera kring om den fysiska infrastrukturen bör anpassas till nya tekniska lösningar. Fysiska vägar, ramper och tunnlar har en lång livslängd, ca 50 år, och innebär stora investeringar. Inom den tidsperioden är det sannolikt att teknikutvecklingen tar stora kliv mot nya innovationer. Är det då rimligt att anpassa den fysiska omgivningen till nya innovationer, eller bör det vara tvärtom? Ur en väghållares, och ekonomiskt, perspektiv blir det intressant att utforska om tekniken och den digitala infrastrukturen istället bör anpassa sig till den befintliga fysiska miljön, helt enligt fyrstegs principen.

Flera utvecklingsprojekt idag utforskar hur nya digitala tjänster kan skapa mervärden för uppkopplade fordon. Exempel på tjänster är geofencing, platooning, halkvarning, osv. Listan kan göras mycket lång. Det blir då intressant om nya digitala tjänster kan leverera samma fördelar som annars skulle krävt en fysisk anpassning som är mycket kostsamma. Nya digitala tjänster kan dock ställa nya krav på den omgivande digitala infrastrukturen.

Givet ovan så motiverar det att utforska ett nytt scenario: Digital Service Ignite, som är en kombination av Bus Driver Plus och Automation Utopia. I Digital Service Ignite erhålls fördelarna med t.ex. signalprioritering vid trafikljus, dynamiska körfält och proaktiv trafikledning. Grunden i detta scenario är rekommendationen att inte anpassa med fysiska åtgärder, tex eget körfält, utan att istället satsa på att bygga ut den digitala infrastrukturen.

Resultaten visar även att det även finns stora potentiella samhälleliga vinster av att göra bussresan mer bekväm. De antaganden vi gjort är med största sannolikhet kraftigt överskattade, men en kraftig nedskrivning av vinsterna skulle fortfarande innebära stora vinster för resenärerna, även för de scenarier där en förare är ombord. Det talar även för att arbeta aktivt med förarstöd, även om vinster i att ersätta föraren inte kan uppnås.

7.1 Förslag till kompletterande studier

Under projektperioden har vi noterat följande aktiviteter som antingen är i behov av fortsatt utredning eller som förslag till efterföljande projekt:

7.1.1 Utveckling av Sampers modellen

I den samhällsekonomiska analysen har vi använt Trafikverkets prognosmodell Sampers, kompletterat med vissa nyckeltal från Trafikförvaltningen/Region Stockholm.

Givet resultatet är det uppenbart att vissa antaganden inte speglar en korrekt verklighet. Som främsta exempel är det uppenbart att upplevelsen från resenärer av en självkörande buss inte kan likställas med upplevelsen av att åka tåg, varav resultatet blir kraftigt missvisande. Men givet att det inte finns vedertagna värden är det en viktig slutsats att dessa behövs och därmed grund för fortsatta studier. För att få realistiska resultat i framtida samhällsekonomiska analyser avseende självkörande fullängdsbussar behöver nya nyckeltal och vedertagna värden i Sampers utvecklas. Vi föreslår att prioritera restid samt skadekostnaden per fordonskilometer och olyckskostnader.

7.1.2 Dedikerat busskörfält

Operatörer av kollektivtrafik menar att ett dedikerat busskörfält och den pedagogiska effekten då bilister i kö ser en självkörande buss åka förbi i fri fart har potential att öka andelen resenärer till kollektivtrafiken. Dock bör andra geografiska områden väljas för dylika test än Tvärförbindelse Södertörn som enbart trafikeras av en busslinje och har tre tunnlar.

7.1.3 Behov av uppkoppling och digital infrastruktur

Avancerade digitala tjänster har potential att erbjuda samma fördelar till bussar och godsfordon som en anpassad fysisk infrastruktur. Därför är det av stort intresse att utreda vilka tjänster som intressanta och under vilka förutsättningar. Tex vilka tjänster som kan fungera med dagens 4GLTE-uppkoppling och vilka tjänster som kräver en utbyggt digital infrastruktur (som tex 5G). Nyttan behöver här jämföras med den potentiella investeringen.

7.1.4 Framtidens Trafikledning

Helt autonoma fordons framfart, både bussar och godsfordon, kan övervakas av ett avsides kontrolltorn. Redan idag pågår test med Ericssons trafikkontrolltorn i Kista och vid ITRL i Stockholm. Det är intressant att fortsätta test med avsides kontrolltorn hur de praktiskt ska övervaka och manövrera flera fordon samtidigt och vem som är ansvarig. Det öppnar även upp för en helt ny samhällsoptimerad styrning av fordon av väghållaren och frågan är om denna funktion ska ske parallellt eller i den befintliga verksamheten inom ramen för trafikledningscentraler.

8 Referenser

- Andersson, L., Skallefjell, P., Skjutar, K., Arfwidsson, V., 2018. Affärsmodeller och finansiering för utbyggnad av elvägar i Sverige. EY.
- Bjelfvenstam, J., 2018. Vägen till självkörande fordon introduktion - Del 1 (No. SoU 2018:16).
- Center for Transportation and the Environment (CTE), 2020. The future of automated transit is here. URL <https://cte.tv/historic-win-automation/> (accessed 3.5.21).
- Chee, P.N.E., Susilo, Y.O., Wong, Y.D., 2020. Determinants of intention-to-use first-/last-mile automated bus service. *Transp. Res. Part Policy Pract.* 139, 350–375. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.06.001>
- Einride, 2018. DB Schenker and Einride launch first commercial installation of an Einride pod. URL <https://www.einride.tech/press/db-schenker-and-einride-launch-first-commercial-installation-of-an-einride-pod> (accessed 2.19.21).
- Energimyndigheten, 2020. Eldrift i bergtåkten minskar utsläppen. URL <http://www.energimyndigheten.se/arkiv-for-resultat/Resultat/eldrift-i-bergtakten-minskar-utslappen/> (accessed 2.19.21).
- European Union, Kantar Belgium, 2020. Eurobarometer - Expectations and concerns of connected and automated driving (No. 496), Special Eurobarometer. <https://doi.org/10.2760/494496>
- Faas, S.M., Kao, A.C., Baumann, M., 2020. A Longitudinal Video Study on Communicating Status and Intent for Self-Driving Vehicle – Pedestrian Interaction. *CHI 20 Proc. 2020 CHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.* 14. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376484>
- Ferguson, R., 2020. First full-sized automated buses to operate in Connecticut in a U.S. first [WWW Document]. *Intell. Transp.* URL <https://www.intelligenttransport.com/transport-news/101149/first-full-sized-automated-buses-to-operate-in-connecticut-in-a-u-s-first/> (accessed 3.5.21).
- Fusion Processing, 2020. CAVForth. URL <https://www.fusionproc.com/automated-vehicle-systems/projects/cavforth/> (accessed 3.5.21).
- GOV.UK, 2020. CAVForth: creating Europe's first full-sized autonomous bus [WWW Document]. URL <https://www.gov.uk/government/case-studies/cavforth-creating-europes-first-full-sized-autonomous-bus> (accessed 3.5.21).
- Haboucha, C.J., Ishaq, R., Shiftan, Y., 2017. User preferences regarding autonomous vehicles. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 78, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.01.010>
- Haraldsson, M., Jonsson, L., Ögren, M., 2012. Trafikolyckor.pdf (No. 31–2012). VTI.

Janmaat, I., 2019. Assessing the potential of automated buses in a public transport network from an operator perspective: a case study in Almere (Master of Science Thesis). Delft University of Technology, Delft.

Kolarova, V., Cyganski, R., Lenz, B., 2019. Activities while travelling? Travel time perception and travel time use in an era of automated driving, in: *Advances in Transport Policy and Planning*. Elsevier, pp. 171–206. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2019.07.002>

Kong, P.-Y., 2020. Computation and Sensor Offloading for Cloud-Based Infrastructure-Assisted Autonomous Vehicles. *IEEE Syst. J.* 14, 3360–3370. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2959703>

Kong, P.-Y., 2020. Computation and Sensor Offloading for Cloud-Based Infrastructure-Assisted Autonomous Vehicles. *IEEE Systems Journal* 14, 3360–3370. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2959703>

Kulmala, R., Jääskeläinen, J., Pakarinen, S., 2019. The impact of automated transport on the role, operations and costs of road operators and authorities in Finland (No. 6/2019). *Traficom Research Reports*.

Landsbygd AV, 2019. Självkörande fordon på landsbygd – Möjligheter till bättre tillgänglighet och utmaningar med implementering av nya lösningar.

Litman, T., 2020. Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning. *Victoria Transport Policy Institute (VTPI)* 45.

Mass Transit, 2020. Michigan to develop corridor for connected and autonomous vehicles [WWW Document]. *Mass Transit*. URL <https://www.masstransitmag.com/alt-mobility/autonomous-vehicles/article/21150885/michigan-to-develop-corridor-for-connected-and-autonomous-vehicles> (accessed 3.12.21).

National Highway Traffic Safety Administration, 2015. Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey (No. DOT HS 812 115).

Samhall, 2020. Hubbar för mer hållbar e-handel. *Samhall*. URL <https://samhall.se/samhall-story/hubbar-for-mer-hallbar-e-handel/> (accessed 3.12.21).

Scania Sverige, 2019. Scania i samarbete med Nobina kring självkörande bussar: Försök med autonom och eldriven buss inleds i Barkaby [WWW Document]. URL <https://www.scania.com/se/sv/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2019/02/scania-i-samarbete-med-nobina-kring-sjaelvkoerande-bussar.html> (accessed 3.5.21).

Singleton, P.A., 2019. Discussing the “positive utilities” of autonomous vehicles: will travellers really use their time productively? *Transp. Rev.* 39, 50–65. <https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1470584>

- SLL – Strategisk Utveckling, T., 2019. PM Energiförsörjning – Utredningsstudie: Övergång till eldriven busstrafik, Version 1.0.
- Smeds, P., 2019. Projektspecifikation för Automatiserad buss mellan noder på landsväg Trafikverket, Version 0.1.
- SweCRIS, 2020a. Säkerhet för autonoma fordon ur ett samhälls- och systemperspektiv [WWW Document]. URL <https://www.swecris.se/betasearch/details/project/201904816Vinnova> (accessed 3.5.21).
- SweCRIS, 2020b. Autonoma fordon - del av FÖP centrala Göteborg [WWW Document]. URL <https://www.swecris.se/betasearch/details/project/201904816Vinnova> (accessed 3.5.21).
- Tiberini, F. et al., 2019. Framtidens kollektivtrafik på landsbygden – en förstudie. Sjöbo kommun & Tomelilla kommun.
- Tibken, S., 2018. Waymo CEO: Autonomous cars won't ever be able to drive in all conditions. CNET.
- Trafikförvaltningen, Stockholms Läns Landsting, 2020. Årsrapport 2019 - Upplevd kvalitet (No. TN 2017–1706).
- Trafikverket, 2021a. Metod för Samlad effektbedömning [WWW Document]. URL <https://www.trafikverket.se/seb> (accessed 2.19.21).
- Trafikverket, 2021b. Effektberäkning och samhällsekonomi (Samkalk) [WWW Document]. URL <https://www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/Prognos--och-analysverktyg/Sampers/samkalk--effektberakning-och-samhallsekonomi/> (accessed 2.19.21).
- Trafikverket, 2020. Sampers [WWW Document]. URL <https://www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/Prognos--och-analysverktyg/Sampers/> (accessed 2.19.21).
- Trafikverket - Workshop, 2020. Affärsmoeller elvägar – scenarios för ERS/batteri och dess påverkan på kalkylmodell.
- TransAID, 2020. Transition Areas for Infrastructure-Assisted Driving (TransAID): Deliverables. URL <https://www.transaid.eu/deliverables/> (accessed 3.5.21).
- University of Groningen, 2020. Phileas project - driving simulator investigation [WWW Document]. URL <https://www.rug.nl/society-business/centre-for-information-technology/research/hpcv/projects/phileas> (accessed 3.5.21).
- Vantomme, J., 2019. Connectivity and Automated Driving – Perspectives from the Vehicle Manufacturers. ACEA.

Västerås Stad, 2019. Nytt resecentrum - Västerås [WWW Document]. URL <https://www.vasteras.se/kommun-och-politik/vasteras-utvecklas/malarporten/nytt-resecentrum.html> (accessed 3.12.21).

Volvo Bussar, 2019. Volvo visar självkörande elbuss i Singapore | Volvo Bussar [WWW Document]. URL <https://www.volvobuses.se/sv-se/news/2019/mar/volvo-visar-sjalvkorande-elbuss-i-singapore.html> (accessed 3.5.21).

Wadud, Z., 2017. Fully automated vehicles: A cost of ownership analysis to inform early adoption. *Transp. Res. Part Policy Pract.* 101, 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.005>

Wanek-Libman, M., 2020. CTDOT scheduled to deploy first full-size automated transit bus in North America [WWW Document]. *Mass Transit*. URL <https://www.masstransitmag.com/alt-mobility/autonomous-vehicles/article/21143509/ctdot-scheduled-to-deploy-first-fullsize-automated-transit-bus-in-north-america> (accessed 3.5.21).