



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC STS 20033

Examensarbete 30 hp
September 2020

Identifiering av lämpliga sträckor för automatiserade godstransporter

Armin Zakeri



UPPSALA
UNIVERSITET

**Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten**

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Identifying suitable routes for automated freight

Armin Zakeri

Development of automated trucks that are able to drive without a human driver, is currently under way. Testing of automated trucks have mostly taken place in closed off areas, but as development progresses, their readiness towards deployment on public roads increases. The introduction of automated trucks on public roads will have a major effect on society, especially on the road infrastructure as the way these types of vehicles are operated differs from conventional vehicles controlled by humans. In order to prepare for the changes caused by automated trucks, it is of interest to look at where these vehicles initially will be introduced. The goal of this thesis specifically is to identify which factors are relevant for deciding suitable routes, as well as identifying a set of routes in Sweden.

The thesis has been conducted with a literature study and interviews with relevant people in the field. Based on the information gathered from this work, it could be stated that there are four factors that will influence where the first automated trucks will be introduced: the complexity of the road, the flow of goods and traffic on the road, the physical standard of the road, as well as the size of the points that the truck would be driving between. A suitable set of routes identified includes Nynäshamn port – Västerhaninge, Rosersberg terminal – Arlanda airport, Helsingborg port – ICA central warehouse, Luleå port – Luleå terminal.

Handledare: Louise Olsson
Ämnesgranskare: Hans Rosth
Examinator: Elísabet Andrésdóttir
ISSN: 1650-8319, UPTec STS 20033

Sammanfattning

Fordon utan mänskliga förare, så kallade automatiserade fordon, blir allt mer avancerade. I takt med utvecklingen närmar sig dessa typer av fordon också en utrullning i allmän trafik, från att tidigare bara använts i testningssyfte. Den typ av automatiserade fordon som sägs rullas ut först är lastbilar, som delvis har mer incitament till automatisering och i allmänhet är enklare att rulla ut än personbilar. Utrullningen av dessa fordon kommer medföra stora förändringar i samhället, bland annat för vägnätet då automatiserade fordon framförs annorlunda från fordon drivna av mänskliga förare. För att förbereda sig mot de förändringarna som förväntas ske, är det intressant att studera var på vägnätet som de automatiserade lastbilarna kommer rullas ut i den initiala fasen. För att ta reda på detta gäller det att först ta reda på vilka faktorer som kommer påverka den initiala utrullningen. Syftet med just detta exjobb är att besvara var i Sverige som utrullningen lär ske på kort sikt genom att ta reda på vilka de påverkande faktorerna är.

Rapporten skrevs våren/sommaren 2020 i uppdrag åt Trafikverket. Arbetet har bestått av en litteraturstudie och intervjuer med relevanta aktörer inom området. Med hjälp av den information som tagits fram från dessa delar identifierades fyra faktorer som påverkar den initiala utrullningen av automatiserade godstransporter: vägsträckans komplexitet, vägsträckans gods- och trafikflöde, vägsträckans infrastrukturella standard, samt storleken på de lastningsplatser som vägsträckan går mellan. Lastningsplatser i Sverige identifierades genom att studera hamnar och flygplatser med högst fraktmängd, existerande kombiterminaler, samt logistikbyggnader med högst lageryta. Genom att se var i landet dessa platser är lokaliserade, föreslogs fyra lämpliga vägsträckor efter de faktorer som tidigare tagits fram: Nynäshamn – Västerhaninge, Rosersberg – Arlanda, Helsingborg hamn – ICA centrallager, Luleå hamn – Luleå kombiterminal.

Rapporten begränsades delvis av att det inte fanns någon officiell statistik tillgänglig för vilka godsnoder som har störst lastningsmängd, alternativt mellan vilka godsnoder det finns störst godsflöde. Om denna information funnits tillgänglig hade sträckorna kunnat motiverats bättre. Det är även möjligt att det finns andra faktorer som påverkar utrullningen än de som identifierats, vilket skulle kunna påverka vilka sträckor som bedöms vara mer lämpliga.

Förklaringar av fackuttryck

FPV	Funktionellt prioriterat vägnät. Vägar som av myndigheter pekats ut som viktigast för nationell tillgänglighet.
Godsnod	En start/mellan/målpunkt för godstransporter.
Kombiterminal	Järnvägsstationer som växlar trafikslag till väg utan att godset berörs.
ODD	Operational Design Domains. Beskriver vilka situationer ett automatiserat system kan hantera.
SAE-nivå	Beskriver hur avancerat det automatiserade systemet är
V2V/V2I/V2X-kommunikation	Vehicle-to-vehicle/Vehicle-to-infrastructure/Vehicle-to-everything. Kommunikation mellan fordon och infrastruktur.
ÅDT	Årsdygnstrafik. Det under ett år genomsnittliga trafikflödet per dygn, mätt per fordon.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	4
1.1	Syfte och frågeställning	4
1.2	Avgränsningar	5
1.3	Disposition	6
2.	Bakgrund om automatiserade godstransporter	7
2.1	Definition	7
2.2	Funktionalitet	8
2.3	Tidigare och pågående fall i Sverige	10
2.4	Tidigare studier om optimala sträckor	10
3.	Metod	12
3.1	Litteraturstudie	12
3.2	Intervjuer	12
3.3	Bestämning av relevanta faktorer för en identifieringsmodell	13
3.4	Framtagning av intressanta sträckor	13
3.5	Övriga kommentarer	14
4.	Litteraturstudie	16
4.1	Transportkedjan i Sverige	16
4.1.1	Aktörer	18
4.2	Tillämpningar av automatiserade godstransporter	19
4.2.1	Fjärrstyrning	19
4.2.2	Byteshubb-modellen	19
4.2.3	Autopilot	20
4.2.4	Platooning	20
4.3	Lämplig infrastruktur	21
4.3.1	Fysisk infrastruktur	22
4.3.2	Digital infrastruktur	22
4.3.3	Dynamiska attribut	23
4.3.4	Elektrifiering av godstransporter	23
4.4	Automatiseringens påverkan	23
4.4.1	Säkerhet	23
4.4.2	Trafikflöde	24
4.4.3	Kostnader	24
4.4.4	Vägarna	25
5.	Intervjuer	26
5.1	Sammanfattning av intervjuer	26

6.	Framtagning av vägsträckor	28
6.1	Urval av faktorer för att identifiera sträckor	28
6.2	Större godsnoder i Sverige	28
6.2.1	Lagerbyggnader	28
6.2.2	Flygplatser	29
6.2.3	Kombiterminaler	30
6.2.4	Hamnar	31
6.2.5	Kartläggning av identifierade noder	31
6.3	Möjliga vägsträckor i Sverige	31
6.3.1	Sträcka 1: Nynäshamn hamn – Västerhaninge, olika logistikcenter	32
6.3.2	Sträcka 2: Rosersberg kombiterminal – Arlanda Flygplats	33
6.3.3	Sträcka 3: Helsingborg hamn/kombiterminal – ICA centrallager	34
6.3.4	Sträcka 4: Luleå hamn – Luleå kombiterminal	35
7.	Diskussion	38
7.1	Faktorer	38
7.2	Godsnoder	39
7.3	Sträckor	39
8.	Slutsatser	42
	Referenser	43
	Intervjureferenser	47
	Appendix A: Kartlagda godsnoder i Sverige	48

1. Inledning

Många branscher som tidigare haft mänskliga operatörer har ersatt dessa med avancerade datorsystem som kan göra jobbet mer effektivt och för en minskad kostnad. Detta paradigmskifte har det senaste decenniet även tagit form inom fordonsindustrin. Förutom en ökad effektivitet så har automatiserade fordonssystem en potential att leda till ett förbättrat trafikflöde och en ökad trafiksäkerhet (Tabora, 2019). Automatiserade fordonssystem baserar sina beslut främst med hjälp av sensorer i fordonet och har även potential att kommunicera med omgivande fordon och infrastruktur. Det finns mycket som talar för att framtidens trafik kommer bli automatiserad. Förutom att redan etablerade aktörer inom fordonsbranschen har börjat utveckla sina egna automatiserade fordonssystem, så har även stora IT-företag som Google och Amazon gett sig in i branschen (CB Insights, 2020). Att bedriva automatiserade fordon i första skedet är dock inte helt problemfritt. Många utmaningar, framför allt gällande säkerhet och fordonens förmåga att hantera oförutsedda händelser, måste lösas innan automatiserade fordon kan bli en standard på vägarna. Komplexiteten varierar också beroende på vägtyp. Automatiserad körning på motorvägar är enklare än vägar i staden, vilket till stor del beror på att motorvägar består av raka sträckor utan korsningar och inga fotgängare i rörelse (Ertrac, 2019). Detta gör det sannolikt att de första formerna av automatiserade fordonssystem utan mänsklig förare kommer introduceras på vägar utanför städer. Lastbilar som används för att transportera varor och gods drivs till stor del på denna typ av vägar vilket gör dem till primära kandidater för automatisering. Fordonsutvecklare menar också att automatiserade lastbilar kommer att etableras i kommersiellt syfte innan automatiserade personbilar (Cheng, 2019). Den potentiella vinsten av att automatisera lastbilar anses vara hög relativt utvecklingskostnaderna. Framför allt så står lastbilsförarnas löner för en stor del av transportkostnaden och ett automatiserat system som inte begränsas av arbetstider skulle öka produktiviteten (Scott-Briggs, 2019).

Det finns flera faktorer som kommer påverka var de första automatiserade fordonen rullas ut. Bland annat så bör infrastrukturen uppfylla vissa krav för att kunna garantera säkerheten (Ertrac, 2019). För automatiserade lastbilar måste det också finnas incitament från aktörerna inom logistikbranschen att investera i dessa system på särskilda sträckor. Syftet med denna rapport kommer att vara just att ta reda på vilka faktorer som gör en sträcka aktuell för automatiserade godstransporter. Med hjälp av dessa framtagna faktorer kan man sedan ta fram exempel på lämpliga sträckor i Sverige. Denna information kan bland annat vara till stöd för myndigheter då de får en bättre översikt över vilka vägar som behöver vidare förberedelser inför utrullning av automatiserade fordon.

1.1 Syfte och frågeställning

Det finns ett behov att veta vilka egenskaper som gör vägsträckor lämpliga för automatiserade lastbilar. Målet med denna studie är därför att ta fram vilka dessa

faktorer kan vara utifrån den information som finns tillgänglig. Resultaten från studien ska leda till en bättre översikt över vilka vägar som kan behöva justeras för att introducera automatiserade lastbilar, vilket i sin tur leder till bättre planering. På liknande sätt har det utifrån intressanta faktorer tagits fram pilotsträckor för elvägar som laddar elfordon under resans gång.

Studiens frågeställningar:

- Vilka faktorer är relevanta vid bestämning av sträckor för utrullning av automatiserade godstransporter?
- Vilka är de största godsnoderna i Sverige?
- Vilka sträckor i Sverige är lämpliga för automatiserade godstransporter?

1.2 Avgränsningar

Studien ämnar undersöka sträckor som är relevanta inom kort och medellång sikt. Detta bygger delvis på det faktum att automatisering av fordon ännu är i utvecklingsstadiet och långt ifrån standardiserat. Hur avancerade dessa system kommer bli är svårt att förutspå och därför är det mer intressant att undersöka de automatiserade fordon som är mest aktuella just nu. Med detta i åtanke har studien begränsat sig till att undersöka sträckor som kan trafikeras av automatiserade fordon innan 2030. Valet av detta årtal bygger på milstolpar som anges i en stor mängd litteratur. Mer komplexa former av sträckor kan tänkas trafikeras i en senare tid men detta faller inte inom denna studies omfattning.

De typer av automatiserade fordon som ämnas studeras i denna rapport är de som uppfyller en SAE-automationsnivå på 4 till 5. SAE (Society of Automotive Engineers) är en standardiseringsorganisation som bland annat är verksam inom fordonsindustrin (SAE, 2020) och deras automatiseringsnivåer har blivit en vedertagen standard. I nuläget är nivå 4, då lastbilarna kan köra sig själv under de flesta men inte alla situationer, mest intressant att undersöka då det är något som utvecklas och testas just nu. Nivå 3 har fortfarande en förare som styr under en stor del av resan och är därför inte intressant då denna studie fokuserar på fordon som huvudsakligen styrs utan förare. Nivå 5 är intressant men utvecklingen för denna typ av system ligger långt in i framtiden och bedöms inte vara färdigt innan 2030 (Walker, 2019). Benämningarna autonoma, automatiserade, samt självkörande fordon används ofta för att beskriva samma sak. Denna rapport kommer att använda begreppet automatiserade fordon vilket har rekommenderats från SAE (Skoglund, T m.fl., 2019).

Studien kommer fokusera på information som är relevant för svensk infrastruktur. För identifiering av lämpliga sträckor kommer främst det statliga vägnätet i Sverige att studeras. Statliga vägar skiljer sig från kommunala vägar genom att de underhålls av Trafikverket och inte av kommunen. De kännetecknas av att ofta vara numrerade medan

kommunala vägar tenderar att vara namngivna. En lämplig sträcka kan dock fortfarande inkludera vägar från det kommunala vägnätet. Automatiserade lastbilar i privat miljö som används i korta sträckor exempelvis från gruvor till hamnar är intressanta men är inte relevanta för just denna studie.

1.3 Disposition

För att läsaren ska få en grundläggande förståelse av ämnet så ger rapporten i kapitel 2 en bakgrund om automatiserade fordon och dess funktionalitet. Kapitel 3 förklarar hur rapportarbetet gått tillväga. Kapitel 4 går igenom information från en litteraturstudie som bedöms vara relevant för att identifiera vilka faktorer som gör en sträcka lämplig. Kapitel 5 sammanfattar svaren från intervjuer som genomförts med aktörer inom området. Kapitel 6 besvarar de tre frågeställningarna som ställs i syftet. Kapitel 7 diskuterar föregående resultatet utifrån den teori som samlats. Kapitel 8 beskriver vilken slutsats som kan dras utifrån resultatet.

2. Bakgrund om automatiserade godstransporter

Det här avsnittet är tänkt att ge läsaren en grundläggande förståelse om automatiserade fordon. Detta inkluderar dess definition, funktionalitet, samt vilka aktörer som finns inom området. En läsare som inte har tidigare kännedom om detta har störst nytta av att läsa detta avsnitt.

2.1 Definition

Enligt SAE finns det sex nivåer av automatiserad körning, från att en mänsklig förare har full kontroll över fordonet till att fordonet styrs helt av sig självt (SAE International, 2018). Dessa nivåer jämförs i tabell 1. Vid nivå 0 kan systemet bara ge varningar till föraren och tillfälligt ingripa, men aldrig styra fordonet. Vid nivå 1 kan styrningen av fordonet delas mellan föraren och systemet. Så kallad Cruise Control kan exempelvis kontrollera hastigheten av fordonet så att den håller en specifik hastighet. Vid nivå 2 kan systemet ta full kontroll av fordonet men det är fortfarande nödvändigt att föraren koncentrerar sig på körningen och inte gör något annat, ifall att en situation skulle uppstå som inte systemet kan hantera. Från nivå 3 tar systemet över ansvaret för att övervaka körningen från den mänskliga föraren. Nivå 3 är i princip samma som nivå 2, med skillnaden att den mänskliga föraren inte längre behöver koncentrera sig på körningen utan kan göra något annat under tiden. Om en situation dock uppstår som systemet inte kan hantera kommer det att be föraren att ta över styrningen. Vid nivå 4 behöver inte längre en mänsklig förare vara närvarande i fordonet. Systemet kan dock inte hantera alla situationer utan är begränsat till särskilda scenarion av lägre komplexitet, exempelvis vägar med hög kapacitet och utan fotgängare. I situationer då fordonet inte längre kan styra sig självt på ett säkert sätt så kan körningen avbrytas och fordonet parkeras inom ett nära avstånd. Från nivå 5 tar systemet över all kontroll och fordonet ska då kunna hantera alla former av situationer. Det hela kan sammanfattas med att nivå 0-2 främst består av förarstödfunktioner vars syfte är att stödja den mänskliga föraren snarare än att styra fordonet, medan systemet över det huvudsakliga ansvaret av fordonets styrning vid nivå 3-5.

Tabell 1. Översikt av de 6 olika SAE-nivåerna

SAE nivå	Typ	Styrning och acceleration	Överseende av miljön	Nödkontroll	Situationkapacitet
0	Ingen automatisering	Mänsklig	Mänsklig	Mänsklig	-
1	Förarassistans	Mänsklig och systemet	Mänsklig	Mänsklig	Vissa situationer
2	Delvis automatisering	Systemet	Mänsklig	Mänsklig	Vissa situationer
3	Situationsbaserad automatisering	Systemet	Systemet	Mänsklig	Vissa situationer
4	Hög automatisering	Systemet	Systemet	Systemet	Flesta situationerna
5	Full automatisering	Systemet	Systemet	Systemet	Alla situationer

För att beskriva vilka situationer ett automatiserat system kan hantera används begreppet Operational Design Domains (ODD). Relevanta faktorer inkluderar vägtyp, hastighetsgräns, samt omgivningsfaktorer som väderlek och tid på dygnet (Ertrac, 2019). Typiskt är att ett system med högre SAE nivå har ett större ODD än ett system med lägre SAE nivå, då det kan hantera fler situationer utan en människas närvaro. ODD är inte relevant för SAE nivå 0 eller 5, då sådana system antingen inte har någon automation alls eller kan hantera alla möjliga situationer (Ertrac, 2019).

2.2 Funktionalitet

Designen av automatiserade fordon skiljer sig åt beroende på det tilltänkta användningsområdet. Vissa automatiserade lastbilar utvecklas exempelvis för användning i avstängda gruvområden (Scania, 2019), medan andra är tänkta att användas på allmänna vägar (Einride, 2019). Styrningen kan också skilja sig i och med att vissa fordon är tänkta att delvis styras med mänskliga förare med målet att fasa ut dessa i framtiden (Davies, 2017). Det finns dock redan idag fordon som inte har något

förarsäte alls och kontrolleras med hjälp av fjärrstyrning (Einride, 2019). Den huvudsakliga automatiserade funktionaliteten är dock densamma och de ställer likvärdiga krav på infrastrukturen.

För att ersätta mänskliga förare så använder automatiserade fordon inbyggda sensorer för att läsa av omgivningen. Sensorerna tar bland annat in data om vägnas linjemarkeringar och närliggande bilar rörelser. Sensorerna kan se olika ut och skiljer sig i funktionalitet:

Sensor	Beskrivning
Kameror	Ger visuell information om miljön. Exempelvis var vägmarkeringar är och vad det är för färg på trafikljuset (Dholakia, 2020).
Lidarsystem	Mäter avstånd till objekt genom att beräkna hur lång tid det tar för emitterade laserstrålar att returneras till avsändaren (Anderson m.fl., 2016). Eftersom dessa sensorer är ljus-baserade begränsas de av att bara fungera optimalt vid bra väder (English, 2020).
Radarsystem	Fungerar ungefär likadant som lidarsystem. I stället för laserstrålar använder de dock radiovågor, vilket innebär att de inte reflekteras på icke-metalliska objekt (Anderson m.fl., 2016) och blockeras därför inte av dåligt väder. Upplösningen av datan är dock lägre än den som ges av Lidarsystem, vilket innebär att det med enbart denna information är svårt att avgöra vad det är för objekt som omgivningen består av (English, 2020).

Automationssystemet kombinerar all data från sensorerna för att få en fullständig bild av omgivningen (Dholakia, 2020). Om exempelvis kameran avgör vad ett objekt har för färg och lidarsystemet avgör materialet kan systemet räkna ut vad det är för objekt och hur långt borta det är. Genom denna information kan automationssystemet ta egna beslut om fordonets färd, gällande styrning, bromsning och acceleration (Anderson m.fl., 2016). För att systemet ska veta var fordonet är lokaliserat kombineras data från sensorerna med GPS-data. Sensor-data kan ta fram den exakta positionen på lokal nivå medan GPS-data används för att ta fram den globala positionen (Dholakia, 2020). Den data som tagits fram tolkas sedan av maskininlärningsalgoritmer som beslutar hur fordonet ska styras. Hela denna process sker kontinuerligt och tar bara några millisekunder att slutföra (English, 2020).

Då sensorernas funktionalitet begränsas vid oväder som regn och dimma eller vid branta vägar då sikten begränsas, så föreslås så kallad V2I- (Vehicle-to-infrastructure) och V2V- (Vehicle-to-vehicle) kommunikation som komplement (Anderson m.fl., 2016). För att referera till båda typerna av kommunikation kan begreppet V2X (Vehicle-to-everything) användas. Denna typ av kommunikation innebär att ett fordon delar data

med andra fordon och infrastrukturen i sig för att få en bättre överblick. Genom att kommunicera med infrastrukturens sensorer kan fordonen få information som de egna sensorerna inte hade kunnat ta fram, exempelvis länge fram på vägsträckan gällande olyckor eller trafikträngsel. Genom att kommunicera med andra fordon blir det lättare att bibehålla höga hastigheter och förminska avståndet mellan varandra. För att dessa kommunikationsmetoder ska vara funktionella krävs att fordonen och infrastrukturen också installerar tekniken som möjliggör detta. En nackdel är den höga kostnaden både för att installera och upprätthålla tekniken. Då autonoma körningssystem är anslutna till internet finns det också en risk att för intrång av obehöriga aktörer.

2.3 Tidigare och pågående fall i Sverige

Den 15 maj 2019 rullade startup-företaget Einride ut den första automatiserade lastbilen på svensk allmän väg. Sträckan som valdes ut är mellan fraktföretaget Schenkers lagerhus och terminal i Jönköping och är i kommersiellt syfte. Fordonet, den så kallade t-podden, är elektriskt driven och styrs utan mänskliga förare i och med avsaknaden av en förarhytt (Schenker, u.å.). I säkerhetssyfte så övervakas körningen av en mänsklig operatör från distans, som kan ta över kontrollen i nödfall. Potentiellt kan denna operatör övervaka upp mot 10 fordon samtidigt. Enligt SAE uppfyller detta fordon automationsnivå 4 då den är helt automatiserad men kan inte hantera alla ODDs. Själva sträckan är på totalt 300 meter varav 100 meter är på allmän väg. Detta bör ses som en väldigt kort sträcka vilket är förståeligt då det är en av de första i kommersiell drift och det är viktigt att det sker på ett säkert sätt. Sträckan är fördefinierad och fordonet vet exakt vilken väg den ska ta när det rullar ut. Eftersom vägarna går genom ett logistikområde kan man bedöma att det är låg komplexitet och anta att det är få fotgängare.

Volvo presenterade strax efter Einride rullade ut det första automatiserade fordonet i kommersiellt syfte, den 13 juni 2019, en liknande lösning (Volvo, 2019). Deras fordon, kallat Vera, är i likhet med Einrides t-pod också utan förarhytt och övervakas av en operatör på distans. Sträckan som valts ut i detta fall är mellan ett logistikcenter och en hamnterminal i Göteborg, vilket även det är en kort sträcka med bara ett hundratal meter på allmän väg med en maxhastighet på 40 km/h. Även Scania introducerade en autonom lastbil, Scania AXL, som är helt autonom utan förarhytt. Denna är dock till skillnad från tidigare nämnda varianter ämnad att främst användas inom produktionsområden som gruvor och inte på allmänna vägar.

2.4 Tidigare studier om optimala sträckor

Inrix utförde år 2018 en studie som undersökte vilka trafikkorridorer i USA, Storbritannien, samt Tyskland som är mest lämpade för automatiserade godstransporter (Ash m.fl., 2018). Metodiken som användes för att ta fram dessa korridorer var att studera sträckans längd, volymen av gods som transporteras på sträckan, hur högt trafikflödet är, samt mängden olyckor som typiskt sker. Korridorer med litet trafikflöde

och en lång längd på sträckan ansågs vara de med mest potential för automatiserade godstransporter på kort sikt.

3. Metod

I denna del presenteras den metodik som använts för att besvara rapportens frågeställningar. Rapporten är av kvalitativ natur och har genomförts med hjälp av en litteraturstudie och intervjuer.

3.1 Litteraturstudie

Större delen av teorin i denna rapport kommer från den litteraturstudie som genomförts. Källmaterialet består av tidsskrifter, konferensrapporter, pressartiklar, litteratur, samt nyhetsartiklar. Då detta är ett område som snabbt förändras så fokuserades det på att få fram nyligen utgiven information, helst från de senaste fem åren. Resurser som utnyttjades för att hitta artiklar var främst Googles sökmotor, Google Scholar och Uppsala universitetsbibliotek. Tips på artiklar mottogs även från handledaren för rapporten och av personer som blev intervjuade. Genom att studera källhänvisningen i vissa artiklar kunde ytterligare relevanta artiklar hittas.

3.2 Intervjuer

Intervjuer gjordes med personer som är verksamma inom transportbranschen. Målet var att prata med personer som arbetar för aktörer som har ett stort intresse vad gäller vilka sträckor som automatiserade fordon rullas ut på. Dessa bedöms vara myndigheter, forskningsvärlden, samt fordonstillverkare. Genom dessa intervjuer mottogs svar på mer specifika frågeställningar, vilket gav information som inte togs fram genom litteraturen. Detta gav också information och en insyn i ämnet som man inte hade förväntat sig behöva. Urvalet av personer som intervjuades baserades på referenser som mottagits av bland annat handledaren, tidigare intervjurespondenter, samt genom kontaktformulär på företagens webbsida. Personer från följande aktörer intervjuades:

- Trafikverket (myndighet), två personer
- ITRL (forskningsinstitut), en person
- VTI (forskningsinstitut), en person
- Einride (Fordonstillverkare), en person
- Volvo (Fordonstillverkare), en person

Frågorna som ställdes till respondenterna handlade om vilka faktorer som de anser påverkar framtagningen av lämpliga sträckor för automatiserade godsfordon. Eftersom intervjuerna var av mer kvalitativ natur snarare än kvantitativ, resulterade det i mer diskussionsliktande samtal. Valet av detta semistrukturerade format motiveras av att det ger insikter i frågor som intervjuaren inte tänkt på, men som är relevanta för ämnet.

Respondenterna intervjuades vid olika tillfällen utspridda mellan april och maj. Då intervjuarens kunskaper inom området ökat gradvis under rapportens gång påverkade detta delvis kvalitén på diskussionerna, då mer givande följdfrågor kunde ställas vid de senare intervjuerna eftersom det fanns en bättre förståelse av ämnet. Även om de grundläggande frågorna varit i princip de samma under alla intervjuerna så omformulerades de till viss del mellan olika intervjuer.

Eftersom den globala pandemin COVID-19 var pågående under rapportens gång så var det uteslutet med fysiska möten då social distansering var uppmanat av myndigheterna. Detta ledde till att samtliga av intervjuerna utfördes från distans, antingen genom Skype eller vanliga telefonsamtal. Planen var att spela in intervjuerna om respondenterna godkände detta, vilket de alla också gjorde. Detta var oproblematiskt vid Skype-intervjuerna men vid telefonintervjuerna uppstod oförutsedda hinder. På grund av tekniska problem kunde intervjun med VTI-representanten inte spelas in alls och första halvan av intervjun med Volvo-representanten försvann.

3.3 Bestämning av relevanta faktorer för en identifieringsmodell

Relevanta faktorer för bestämning av lämpliga sträckor för automatiserade godstransporter togs fram genom litteraturstudien och från intervjuer. Utifrån dessa faktorer kan man besvara frågeställningen: *”Vilka faktorer är relevanta vid bestämning av sträckor för utrullning av automatiserade godstransporter?”*.

I början av rapportens arbete låg mest fokus på att ta reda på vilken typ av infrastruktur som krävs av de automatiserade fordonen. Detta fokus breddades dock allt eftersom det blivit tydligt att det finns fler relevanta faktorer. Andra frågor som undersöktes var vad automatisering har för påverkan på säkerhet, kostnader, trafikflödet och vägarna, då detta påverkar vilka incitament det finns för att rulla ut automatiserade fordon. Hur transportkedjan ser ut och vilka tillämpningar av automatiserade godstransporter som finns bedömdes också vara viktigt för förståelsen av ämnet. Urvalet av faktorer bygger till stor del på vad författaren av denna rapport har bedömt vara mest avgörande utifrån teorin.

3.4 Framtagning av intressanta sträckor

Med hjälp av de framtagna faktorerna och genom att se var i Sverige de största godsnoderna är lokaliserade (hänvisning till frågeställningen *”Vilka är de största godsnoderna i Sverige?”*) kan man besvara frågeställningen *”Vilka sträckor i Sverige är lämpliga för automatiserade godstransporter?”*.

Olika angreppssätt har använts under studiens gång för att ta fram de intressanta sträckorna. Initialt var det tänkt att ta fram så kallad ÅDT (årsmedeldygnstrafik) för svenska vägar genom Trafikverkets verktyg NVDB, vilket är en nationell vägdatas som är tillgänglig online. Med hjälp av detta kan man ta fram vilka vägar som har en hög kvot av tung trafik i avseende mot den totala trafiken, samtidigt som den totala

trafiken inte är på en allt för hög nivå då det orsakar högre komplexitet. Att få en översiktlig bild av dessa vägar visade sig dock inte vara praktiskt genomförbart då det inte fanns något lämpligt sätt att importera denna data från databasen för att sedan bearbeta den. Att manuellt gå igenom alla vägarna var uteslutet då det finns över 100 000 mätpunkter. Ett annat problem med denna metod är att den inte hade tagit fram mellan vilka punkter sträckorna skulle gå, utan bara var det finns ett lämpligt trafikflöde. För att ta reda på dessa punkter är det viktigt att kartlägga de större godsnoderna i Sverige. Dessa kan definieras som de punkter i landet som det ansluts mest godstrafik till, vilket oftast är stora omlastningsterminaler samt privata lagerhus. Att ta reda på detta var inte heller problemfritt då det inte finns någon tillgänglig kartläggning av godsnode i landet. Det mest optimala vore att se mellan vilka noder det sker högst godsflöde. Ett försök gjordes för att få tillgång till data från undersökningar som Trafikanalys gör varje år för att kartlägga godstransporter i landet. Dessa undersökningar inkluderar postnummer för transporternas start- och slutpunkter vilket skulle kunna identifiera godsnode med stor mängd anslutningar, delvis på grund av att större terminaler ofta har egna postnummer. På grund av möjligheterna till identifiering var denna statistik sekretessbelagd och hade krävt en längre process för att få tag på, vilket inte bedömdes falla inom tidsramen för denna rapport.

Det tillvägagångssätt som i stället antogs var att manuellt ta fram statistik om vilka de största godsnoderna är i Sverige och se vilka som är lokaliserade relativt nära varandra. Största godsnoderna kan definieras som de punkter som trafikeras av mest lastbilar. Denna statistik är inte alltid tillgänglig så ett alternativ är att undersöka de punkter som lastar mest tonmängd eller de platser som har störst lastningsyta. Därefter kan ett antagande göras att dessa platser också trafikeras av en stor mängd lastbilar. Eftersom det inte står publicerat var godsflödena från dessa noder är riktade så gjordes några antaganden. Om exempelvis en kombiterminal som omvandlar last från lastbilar till tåg är lokaliserad inom ett rimligt avstånd från en hamn, flygplats eller ett stort lagerhus, kan man anta att det sker ett relativt stort flöde mellan dessa punkter och att en sådan sträcka skulle vara intressant för automatisering. Vid framtagningen av sträckorna kunde ÅDT för vissa punkter på de statliga vägsträckorna tas fram vilket kunde vara relevant för att påvisa att det faktiskt finns ett stort godsflöde på vägarna.

3.5 Övriga kommentarer

Rapporten är utförd i uppdrag åt Trafikverket. Den skrevs mellan februari och augusti år 2020. Som stöd mottogs en dator av Trafikverket med uppkoppling till deras nätverk. Detta gav tillgång till vissa interna verktyg som dock inte visade sig vara till användning för den slutliga rapporten.

Under tiden som rapporten skrevs bröt den globala pandemin COVID-19 ut, vilket delvis påverkade arbetet. På grund av rekommendationer av Folkhälsomyndigheten till social distansering skrevs rapporten till stor del hemifrån, trots att det till en början fanns möjlighet att arbeta på plats hos Trafikverket. En fördel med att skriva mer på

plats hade varit att man haft lättare tillgång till ett nätverk av kunniga personer inom rapportens område.

4. Litteraturstudie

Detta kapitel går igenom teori från en litteraturstudie, som har bedömts vara relevant när det gäller utrullning av automatiserade lastbilar på allmänna vägar.

4.1 Transportkedjan i Sverige

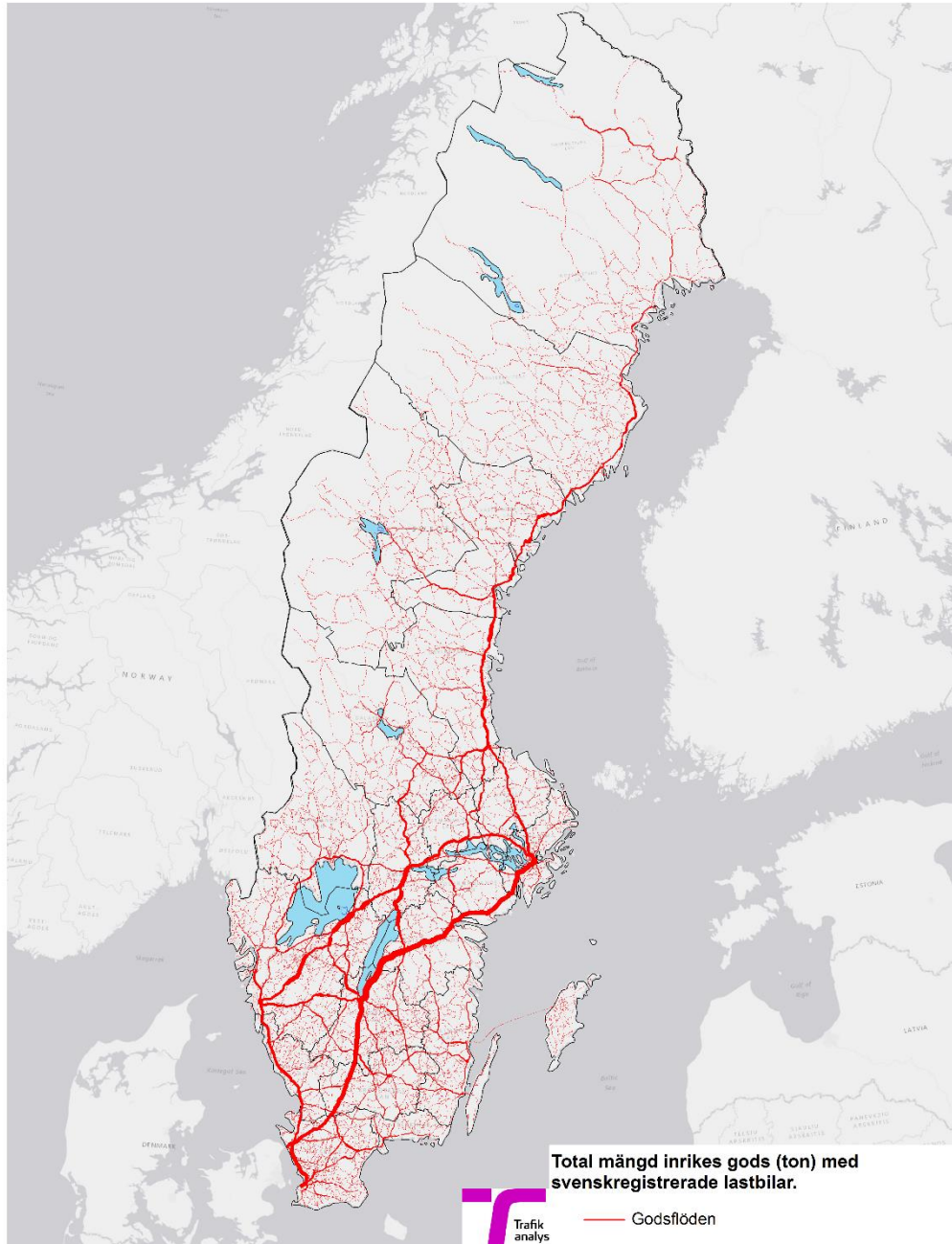
Godstransporter består av ett gods som förflyttas mellan avsändare och mottagare. Detta inkluderar inte personliga transporter så som hemkörning av varor från butik och förflyttningar av personer (Boverket, 2020). En sändning av ett gods består förutom en start- och en målpunkt, även av eventuella mellanpunkter som kallas för godsnoder. Dessa kan vara omlastningsplatser, lagerhus, samt andra terminaler.

Transportsystemet i Sverige består av fyra trafikslag, väg, sjöfart, järnväg, samt flyg (Transportanalys, 2016). I och med att dessa trafikslag interagerar med varandra så går en stor del av godsflöden till terminaler som växlar mellan dessa trafikslag, det vill säga hamnar, flygplatser och järnvägsstationer. Järnvägsstationer som växlar trafikslag till väg utan att godset berörs kallas för kombiterminaler. Dessa är ofta belägna i närhet av en hamn. Andra punkter med ett stort godsflöde är stora lagercentraler som oftast bedrivs av privata aktörer inom exempelvis försäljning, men även stora offentliga aktörer.

Inrikes så transporteras större delen av gods med hjälp av lastbilar. Produktion sker främst i norra delen av landet, främst vid Kiruna med dess järnmalmsbrytning, men också en hel del vid norrlandskusten och västra Götaland (Transportanalys, 2016). Konsumtion sker främst i södra delen av landet där den större delen av befolkningen lever. Vad gäller godstransporter så sker 43% av alla transporter inom samma kommun och därutöver 28% inom samma län. Den genomsnittliga körsträckan per enskild godstransport för svenskregistrerade lastbilar vid inrikestransporter låg år 2014 på 84 km, samtidigt som majoriteten av alla godstransporter är kortare än 50 km. Gällande fördelningen av godsvikt bestod 34% av det transporterade godset av gruvprodukter och 16% av jordbruksprodukter.

Vägnätet består till 46% av statliga vägar, medan övrigt är kommunala vägar och till viss del privata vägar. För de statliga vägarna som ansvaras av Trafikverket, finns det ett så kallat funktionellt prioriterat vägnät (FPV) som pekar ut särskilda vägar som är viktiga för nationell tillgänglighet (Trafikverket, 2014). Underlaget för utpekandet bygger på fyra olika funktioner: godstransporter, långväga personresor, dagliga personresor, samt kollektivtrafik. Vägar som är viktiga för godstransporter definieras som de med kopplingar till nationellt och regionalt viktiga noder. Mindre vägar som bara är viktiga för enskilda företag eller fungerar som matarvägar till större vägar inkluderas inte. För att mäta mängden godstrafik som går på de statliga vägarna har Trafikverket delat in dessa i fyra nivåer i ett så kallat ”Strategiskt vägnät för tyngre transporter” (Trafikverket, 2020a). Dessa nivåer är i fallande ordning: ”Större volymer

av tyngre transporter”, ”Stora volymer av tyngre transporter”, ”Kontinuerliga volymer av tyngre transporter”, samt ”Temporära volymer av tyngre transporter”.



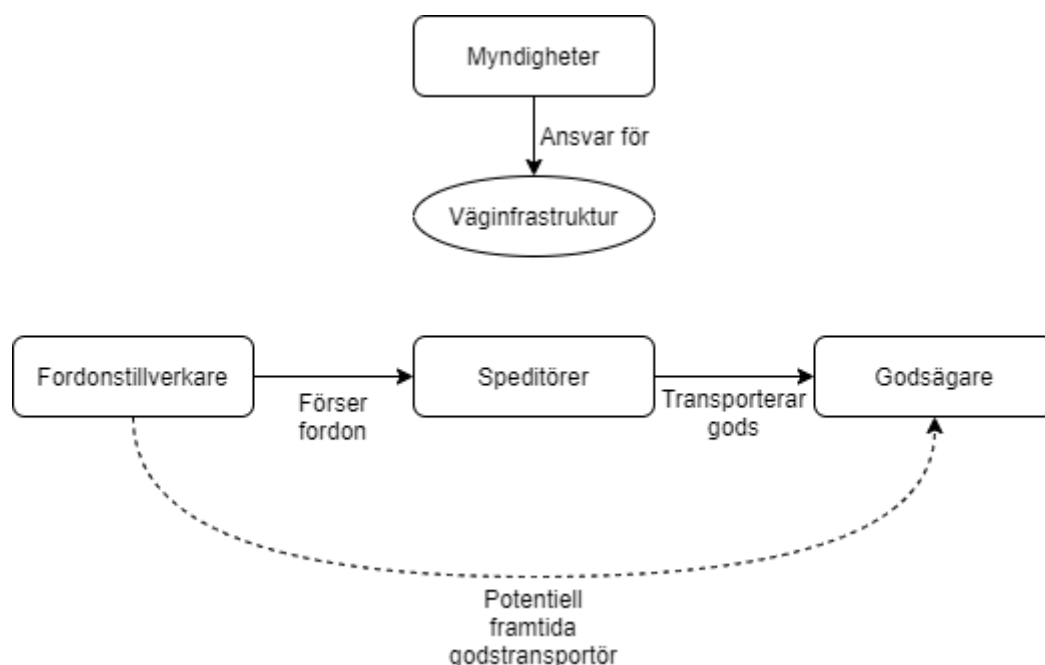
Figur 1. Godsflödet i Sverige (Trafikanalys, 2016)

4.1.1 Aktörer

I dagsläget utvecklas automatiserade fordon av företag från IT-industrin och av traditionella fordonstillverkare. Tillverkare av automatiserade lastbilar som är särskilt verksamma i Sverige inkluderar Volvo, Scania och Einride. Andra relevanta aktörer vid utvecklingen av automatiserade fordon är mjukvaruutvecklare som hanterar den programvara systemen använder. Väghållarmyndigheter som Trafikverket och kommuner är ansvariga för planering, byggande och underhåll av infrastrukturen som automatiserade fordon kommer trafikera.

Traditionellt så sköts godstransporter ofta av speditörer, det vill säga företag som transporterar gods åt kunder. Denna mellanhand kan dock komma att försvinna då fordonstillverkarna själva har börjat sälja transportservicen genom sina automatiserade lastbilar. En orsak till detta är det ökade behovet av att ha fordonstillverkare som är involverade i transportplaneringen. Ett scenario som målas upp av Monios (2019) är att ett färre antal stora aktörer sköter transporten på den längre motorvägssträckan, medan fler mindre aktörer sköter den första och sista delen av sträckan på lokala vägar. De olika transporterna kan ansluta till varandra genom så kallade byteshubbar. Redan nu har vissa aktörer börjat erbjuda sina automatiserade lastbilar som tjänster i kommersiellt syfte. I en gruva i Norge kör automatiserade lastbilar av Volvo mineraler till och från en hamn (Volvo, 2018). Detta är dock i en privat miljö och ett relativt okomplex scenario.

De relevanta aktörerna för denna rapport och dess koppling till varandra modelleras i Figur 2.



Figur 2. Modell av relevant aktörsnätverk och dess relationer

4.2 Tillämpningar av automatiserade godstransporter

Detta stycke går igenom olika tillämpningar av automatiserad godskörning som beskrivits av den litteratur som finns. Dessa beskriver hur automatiserade lastbilar kan framföras på vägarna. Tillämpningar som inte kommer beskrivas i detta stycke är de som innefattar körning på privata miljöer, exempelvis vid gruvor som är avstängda för allmänheten eller körning inom ett logistikområde där lastbilarna aldrig trafikerar allmänna vägar. Samtliga tillämpningar involverar en mänsklig operatör i någon form, det vill säga en SAE nivå upp mot 4. Detta kan förklaras av nivå 5-körning inte uppskattas existera i någon form annan än i testningssyfte innan år 2030 (Kulmala m.fl., 2019). Dessutom kan olika tillämpningar kombineras med varandra.

4.2.1 Fjärrstyrning

Byteshubb-modellen bygger på att lastbilarna styrs av det automatiserade systemet, men övervakas av mänskliga operatörer på distans som kan ta över styrningen av fordonet när som helst, exempelvis vid komplexa situationer som systemet inte kan hantera (Clevenger, 2018). Operatörerna är stationerade vid olika kontrollcenter och övervakar körningen genom att ta in realtidsdata från fordonets kameror (Viscelli, 2018). Den geografiska positionen av kontrollcentret har ingen påverkan, vilket innebär att kontrollen kan överföras från ett center till ett annat (Sawers, 2020). Fördelen med detta scenario är att det inte finns något behov av ett förarsäte då övervakningen kan skötas på distans. Detta kan också leda till en högre produktivitet då en mänsklig operatör på distans har potential att kontrollera flera fordon samtidigt. Einride, vars automatiserade lastbilar kontrolleras genom fjärrstyrning, har nyligen testkört två fordon med bara en operatör (Einride, 2020) och det finns även planer på att öka antalet till tio fordon per operatör (Clevenger, 2018). Risker som finns med fjärrstyrning inkluderar att kommunikationen mellan kontrollcentret och fordonet bryts, eller att en obehörig person får kontroll över styrningen (Viscelli, 2018).

4.2.2 Byteshubb-modellen

Detta scenario bygger på att ett gods fraktas av manuellt framförda lastbilar på lokala vägar, medan den längre körningen på motorvägar sköts av automatiserade lastbilar. För att överföra godset mellan de olika typerna av lastbilar föreslås bytestationer i närheten av motorvägarna (Clevenger, 2018). Det är platser där lastbilar kan parkera och byta trailrar mellan de olika lastbilstyperna, samt till för andra nödvändigheter som att tanka eller ladda lastbilen beroende på kraftkälla. För att undvika en negativ belastning på trafikflödet är det lämpligt att anlägga bytestationerna nära källan/destinationen för godset, vilket kan försvåras av dålig landtillgänglighet. Med denna modell tillkommer även en kostnad och tidstillägg av att byta färdmedel under rutten. Detta innebär att ett byteshubb-scenario är optimalt om rutterna täcker långa avstånd och fordonet har en stor mängd frakt, då priset per tonkm går ner (Monios, 2019).

4.2.3 Autopilot

I stället för att ersätta den mänskliga föraren så bygger autopilot på att lägga till fler funktioner som stödjer föraren vid körningen (Clevenger, 2018). En mänsklig förare styr vid de mer komplexa situationerna av körningen, så som körning på lokala vägar, tankning och lastning, medan systemet kan ta över körningen vid motorvägar. I praktiken så kan föraren aktivera/avaktivera systemet när som helst (Ulrich m.fl, 2020). En nackdel med detta scenario är att det bygger på att den mänskliga föraren ständigt ska vara redo att ta över vid svåra situationer. I praktiken så tappar människor fokus efter att ha varit inaktiva ett tag, vilket kan leda till säkerhetsrisker (Kulmala m.fl., 2019).

4.2.4 Platooning

Platooning bygger på att två eller flera lastbilar kör tätt efter varandra med samma hastighet och acceleration. På grund av ett mindre luftmotstånd så minskas bränslekonsumtionen (Viscelli, 2018). Denna minskning kan uppgå till 10% av den typiska bränslekonsumtionen, vilket förutom en mindre kostnad också innebär en mindre miljöpåverkan (Trafikanalys, 2017). För närvarande är platooning främst ämnat för motorvägar då det är där den största effekten av bränslesparande kan uppnås. Avståndet mellan lastbilarna bedöms behöva vara mindre än 22 meter (Viscelli, 2018), eller ner mot 0,2 sekunder (Trafikanalys, 2017), beroende på situationen, vilket skiljer sig från rekommendationen som finns för svenska vägar på 3 sekunder (Körtkortonline, 2020). Antalet lastbilar är optimalt vid två till tio, då det vid fler än tio lastbilar bedöms ha en allt för störande effekt på övrig trafik för att det ska vara hållbart (Trafikanalys, 2017). För att möjliggöra denna täta körning krävs att fordonen kommunicerar med varandra. Genom V2V-kommunikation kan fordonen dela information om deras acceleration, hastighet, retardation, samt vikt och längd på fordonen, med varandra (Dellerud, 2020). Detta innebär att om den ledande lastbilen börjar bromsa så gör även de efterföljande lastbilarna det utan någon mänsklig reaktionstid, vilket innebär att inbromsningen för samtliga fordon sker i princip samtidigt (Trafikanalys, 2017). För att möjliggöra för lastbilar att ansluta till en så kallad platoon så kan de ansluta till ett kontrollcenter som utifrån faktorer som plats, lastbilens vikt, samt dess bromskapacitet beslutar vilken platoon som är lämplig (Viscelli, 2018).

Förutom att platooning minskar bränslekonsumtionen så leder det till att fordonen i en platoon använder en mindre vägyta. Detta beror på att det krävs mindre tidsluckor mellan fordonen och därmed kan fler fordon få plats på en vägsträcka än vad som skulle få plats av konventionella fordon. Detta skulle bland annat minska trängseln och förbättra framkomligheten. År 2016 såg Trafikverket det som en möjlighet att bedriva platooning på fyrfiliga vägar men inte på 2+1 vägar då de anser att påverkan på övrig trafik blir för stor (Trafikanalys, 2017).

Den ledande lastbilen i en platoon uppskattas under de första åren styras av en mänsklig förare. De efterföljande lastbilar kan dock styras av mänskliga förare eller vara

automatiserade. I ett scenario med automatiserade lastbilar skulle en mänsklig förare först köra lastbilen till en byteshubb för att vidare koppla trailern till en automatiserad lastbil. Sedan kan den automatiserade lastbilen ansluta till en platoon med en mänskligt styrd lastbil i förarledet. Detta skulle leda till ett simplare beslutstagande då bara en person fattar beslut. För att uppnå maximal effekt av platooning krävs att fordon från olika tillverkare kan kommunicera med varandra för att ingå i konvojer. En annan utmaning är för fordon att behöva vänta in andra fordon för att bilda konvojer.

4.3 Lämplig infrastruktur

Rekommendationer på viss typ av infrastruktur för automatiserade fordon anges av olika aktörer. Samarbetsorganisationen för europeiska trafikmyndigheter, CEDR (Conference of European Directors of Roads), har angett förslag på ODD-attribut relaterat till infrastruktur (Ulrich m.fl, 2020), se Tabell 2. Dessa kan beröra fysisk eller digital infrastruktur. Andra attribut som tas med men som inte hör till infrastruktur är tid, väderlek och trafikflöde. Dessa sägs vara dynamiska då deras tillstånd ständigt förändras, till skillnad från infrastrukturen som har ett konstant tillstånd och är därmed statiskt.

Tabell 2. Olika ODD attribut

ODD attribut	Fysisk/Digital infrastruktur	Statisk/Dynamisk
Vägtyp	Fysisk	Statisk
Hastighetsgräns	Fysisk	Statisk
Vägren	Fysisk	Statisk
Vägmarkeringar	Fysisk	Statisk
Traffikskyltning	Fysisk	Statisk
Vägutrustning	Fysisk	Statisk
Trafikflöde	-	Dynamisk
Tiden	-	Dynamisk
Väderlek	-	Dynamisk
HD-karta	Digital	Statisk
Satellitpositionering	Digital	Statisk
Kommunikation	Digital	Statisk
Informationssystem	Digital	Statisk

4.3.1 Fysisk infrastruktur

Tydliga vägmarkeringar krävs för att de automatiserade systemen ska bibehålla en rak körning (Vantomme, 2018). Annan vägutrustning som behöver vara synlig inkluderar vägs skyltning, hastighetsskyltning samt trafiksignaler. Detta är viktigt för att fordonets sensorer ska kunna läsa av informationen (Nasri, 2018). I framtiden kan dock vägmarkeringar och trafiksignaler komma att bli obsoleta då V2X-kommunikation blir standardiserat (Kulmala m.fl., 2019). För att vidare stödja positioneringen av fordonen rekommenderas det att installera särskilda landmärken vid vägarna om det inte redan finns tydliga landmärken som staket, lyktstolpar eller byggnader vid sidan om vägen. Dessa landmärken känns av genom att reflektera radarsignaler från fordonens sensorer och kan på så sätt assistera i en bättre positionering.

Det är även rekommenderat att allokera dedikerade vägfiler för automatiserade fordon vid möjlighet (Zhang, 2019). Detta beror på de säkerhetsrisker som finns med att låta de automatiserade fordonen dela infrastruktur med konventionella fordon. Ett mindre kostsamt alternativ än dedikerade vägfiler, är att ge de automatiserade fordonen dedikerade tidsluckor med mindre trafik för att minska säkerhetsrisken (Nasri, 2018). Gällande vägtyp så rekommenderar CEDR främst körning på motorvägar eller vägar relevanta för godstrafik. Detta syftar på raka sträckor och inte körning vid tullar, rampar, samt vägkorsningar. Vägrenar rekommenderas då det automatiserade fordonet i nödfall behöver stanna inom ett kort avstånd (Ulrich m.fl, 2020). En stor utbredning och ett gott underhåll av stängsel kring vägarna är nödvändigt för att minska risken för oförutsedda händelser som de automatiserade fordonen inte klarar av (Ulrich m.fl, 2020). Studier har funnit att rondeller är mer optimala för automatiserade system än korsningar med trafikljus (Kulmala m.fl., 2019).

4.3.2 Digital infrastruktur

I ett tidigt skede finns det krav på att HD-kartor och satellitpositionering finns tillgängligt. För situationer av högre komplexitet är det nödvändigt med kommunikation- och informationssystem på vägnätet, vilket inkluderar V2X-kommunikation. Sensorer som bland annat trafikkameror, kan öka säkerheten genom att skicka information till fordonen som deras egna inbyggda sensorer inte kan ta fram på grund av för kort räckvidd, exempelvis om vad som händer längre fram på vägen. Det kan gälla bland annat incidenter, vägarbeten, event, trafikstockningar, och andra störningar. Detta skulle framför allt öka säkerheten i trafiken.

För kommunikation mellan fordon och infrastrukturen föreslås antingen Wi-Fi eller 5G-anslutning. Fördelen med 5G är att det ger en högre räckvidd än Wi-Fi. Även om det är möjligt att kommunicera med fordonen genom 4G-uppkoppling så är 5G-uppkoppling att föredra då det innebär mindre latens. 5G-nätverk är något som främst väntas utvecklas runt storstäder där det är högre efterfrågan, samt vid andra ställen där det är kommersiellt hållbart. (Combs, 2020)

4.3.3 Dynamiska attribut

CEDR rekommenderar att automatiserade fordon på allmänna vägar framförs på nattetid då det är lägre trafiknivå (Ulrich m.fl, 2020). Oväder, inklusive regn och snöfall, samt om vägen är täckt med en stor mängd snö, vatten, dimma, solbländning och mörker utan belysning, ökar komplexiteten.

4.3.4 Elektrifiering av godstransporter

Då automatiserade lastbilar till stor del utvecklas för att drivas med elektricitet i stället för fossila bränslen, uppstår problemet att dessa inte klarar av att bära med sig den el som behövs för långa transportsträckor på grund av begränsad batterikapacitet (Trafikverket, 2017). Förslag finns på att medföra extra energilager som bränsleceller ombord. Det andra alternativet är att strömförsörja lastbilen kontinuerligt under transportsträckan genom så kallade elvägar. Dessa laddar fordonen medan de drivs på vägen. Var elvägarna är lokaliserade kan påverka planeringen kring var automatiserade fordon kommer framföras.

Trafikverket har inlett ett pilotprojekt för att elektrifiera vägar för tung godstrafik (Trafikverket, 2020b). Två potentiella pilotsträckor utreds vidare för att i nästa steg besluta om var tekniken ska testas för att verifiera att elektrifieringssystemet fungerar. De två sträckorna som valdes ut är E20 mellan Hallsberg och Örebro, samt väg 73 mellan Västerhaninge och Nynäshamn. Faktorer som gjorde att dessa sträckor valdes ut är bland annat höga trafikvolym, stora godsvolymer, möjligheten att vidga sträckan till att ansluta de två största städerna i landet, en väletablerad logistiksträcka med många aktörer som är intresserade av en elväg, nära anslutning till andra stora transportstråk, två körfält i båda riktningar, samt lagom mängd trafik. Tanken är att senare koppla ihop dessa sträckor med andra elvägssträckor för att bygga ett större elvägssystem. Andra vägar har också testats, bland annat väg 893 mellan Rosersberg och Arlanda (Trafikverket, 2017).

4.4 Automatiseringens påverkan

4.4.1 Säkerhet

Enligt den amerikanska myndigheten för trafiksäkerhet, NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration, 2020) beror 94% av alla trafikolyckor på den mänskliga faktorn. Automatiserade fordon har därför en stor potential att öka säkerheten i trafiken. Mänskliga förare kan bland annat bli utsatta för distraktion, alkoholpåverkan samt trötthet. Dessa säkerhetsrisker skulle försvinna i och med automatiserade fordon (Fagnant, 2015). Cirka 20% av omkomna i trafiken varje år var involverade i olyckor där tung lastbil var inblandad (Trafikverket, 2020c), vilket kan ses som ett incitament till att automatisera lastbilar.

I ett tidigt skede finns det även stora risker med automatiserade fordon. Dessa system kan ha svårt att identifiera människor och andra objekt på vägarna, något som är naturligt för mänskliga förare. Dåligt väder kan även ha en negativ påverkan på fordonens sensorer. Initialt kan det vara svårt för fotgängare att anpassa sig till automatiserade fordon då de inte finns någon ögonkontakt som det gör med mänskliga förare (Kulmala m.fl., 2019). Experter menar dock att automatiserade system kommer förbättras med tiden vilket kommer leda till att säkerhetsriskerna kommer vara mindre än med mänskliga förare (Fagnant, 2015).

4.4.2 Trafikflöde

Bilköer leder både till bortkastad tid och högre bränslekonsumtion på grund av ett ostabilt trafikflöde (Paddeu m.fl., 2019). Automatiserade fordon har potential att optimera trafikflödet, genom V2V- och V2I-kommunikation. Genom att fordonen och infrastrukturen kommunicerar med varandra, kan de automatiserade systemen känna av eller förutspå de framförande fordonens bromsningar/accelerationer och därefter mjukare justera de egna hastigheterna. Detta i sin tur möjliggör ett mindre avstånd mellan fordonen. Förutom att detta leder till ett bättre trafikflöde leder det även till ytterligare minskad bränslekonsumtion på grund av det minskade luftmotståndet. Då V2X-kommunikation ännu inte är etablerat kan det dröja innan de automatiserade fordonens positiva effekter på trafikflödet börjar synas (Paddeu m.fl., 2019).

Svårigheter kan uppstå med platooning då långa led av lastbilar kan, beroende på den vägfyl som de kör på, blockera andra fordon som vill köra om eller köra ut från en motorväg (Kulmala m.fl., 2019).

4.4.3 Kostnader

Förarkostnader står för den största kostnaden vad gäller lastbilstransporter. År 2015 uppskattades förare utgöra 34% av kostnaden per km för en dieseldriven lastbil på 60 ton (Transportstyrelsen, 2014). Denna andel minskar om vikten ökar och vice versa. En annan stor kostnad vid samma scenario är dieselkostnaden. I detta fall står den för 25% av kostnaden per km. På grund av att automatiserade system kan planera körningen bättre än mänskliga förare så leder det till en minskad bränslekonsumtion och därmed minskad kostnad (Paddeu m.fl., 2019). Genom platooning kan bränslekonsumtionen minskas ytterligare.

En automatiserad lastbil kan drivas dygnet runt, till skillnad från om den hade drivits av en människa som begränsas av sina arbetstider (Kulmala m.fl., 2019). Detta leder till en ökad effektivitet. Slutligen så råder det en stor brist på lastbilschaufförer i Sverige (Höök, 2018) och även i övriga världen.

Initialt lär automatiserade lastbilar vara dyrare än manuellt drivna lastbilar, men långsiktigt finns det potential för en motsatt utveckling då automatiserade fordon inte kommer behöva en förarhytt (Kulmala m.fl., 2019).

4.4.4 Vägarna

Eftersom automatiserade fordon körs på ett mer kontrollerat sätt så kommer de också att slita ut asfaltunderlaget snabbare då fordonen alltid kör över samma yta, medan mänskliga förare sägs sprida ut sig med avvikelse på 40 cm på 3,5 breda vägfiler (Kulmala m.fl., 2019). Detta märks framför allt av på tunt asfaltsunderlag på under 200 mm. Dock så kan det förhindras om de automatiserade systemen simulerar en mer manuell körning med fler ytor av underlaget som exponeras.

Då automatiserade fordon är bättre på att hålla sig inom sitt körfält än vad mänskliga förare är, så finns det potential att förminska bredden på körfälten (Farah, 2018). Med den överblivna ytan kan nya filer skapas eller ge ökad yta för fot- och cyklisttrafik (Kulmala m.fl., 2019). Nackdelen med minskade körfält är dock att asfaltunderlaget kommer att slitas ut snabbare då det begränsar de alternativa körvinklarna.

En konsekvens av platooning är att de kortare avstånden mellan fordonen innebär en större belastning på vägunderlaget (Kulmala m.fl., 2019). Broar är exempelvis konstruerade för att kunna hantera ett begränsat antal tunga fordon samtidigt och inte täta led av dessa. Nya anpassningar behöver göras för att kunna hantera denna typ av belastning.

5. Intervjuer

I detta kapitel sammanfattas resultatet av intervjuerna som genomfördes med personer som representerar relevanta aktörer inom området. Eftersom fordonstillverkarna som representanter intervjuades från, designar sina fordon för att kontrolleras med hjälp av fjärrstyrning, så blev det mest fokus på denna tillämpning.

5.1 Sammanfattning av intervjuer

Fordonstillverkarna använder sig av olika tekniker för sina fordon, vilket ger olika förutsättningar. Beroende på hur fordonen styrs, exempelvis genom fjärrstyrning eller med en mänsklig förare närvarande, leder detta till olika ODDs som påverkar vilka sträckor som är lämpliga. Vid exempelvis fjärrstyrning är det lämpligt med kortare sträckor av låg komplexitet vid tidig utrullning av automatiserade fordon (Rosenquist, 2020). Vägarna bör vara inhägnade, utan stort trafikflöde eller annan mänsklig rörelse. Industriområden och hamnar anses som ytor med särskilt låg komplexitet på grund av detta. Detta beror delvis på att det finns lagliga begränsningar på vilken hastighet som automatiserade fordon kan drivas med. Även om det finns mänsklig rörelse i dessa områden så är dessa personer oftast mer uppmärksamma kring fordonen än vad som skulle vara fallet i allmänna miljöer (Rosenquist, 2020). På grund av dessa begränsningar är det i ett tidigt skede inte möjligt att driva automatiserade fordon på motorvägar då de är till för höga hastigheter. Urbana miljöer bör undvikas på grund av de potentiella riskerna. Dessa krav gäller dock inte om det finns en mänsklig förare närvarande som kan hantera dessa situationer. Generellt så skiljer sig kraven på infrastruktur beroende på scenariot. Digital infrastruktur som V2X-kommunikation är inte nödvändig i ett tidigt skede (Wallbecks, 2020).

I allmänhet jobbar fordonstillverkarna efter var kunderna behöver automatiserade fordon. De sträckor som anses vara mest lämpliga är de som har ett högt godsflöde, samtidigt som de inte går genom bostadsområden (Wallbecks, 2020). Samtidigt som det bör vara ett högt godsflöde är det lämpligt att inte ha ett för högt trafikflöde. Ett högt godsflöde är dock viktigt för att en sträcka ska vara relevant överhuvudtaget. Vägarna bör vara av låg komplexitet, där exempelvis korsningar och övergångar bör undvikas. Generellt ska det vara så få omgivningsfaktorer som möjligt och en förutsägbar trafik (Wallbecks, 2020). Tidsmässigt är det lämpligt med drift av automatiserade fordon utanför rusningstid. Om fordonen är elektriskt drivna bör det finnas laddningsmöjligheter i närheten av sträckorna (Wallbecks, 2020). I ett tidigt skede menar fordonstillverkarna att typiskt sannolika sträckor i ett tidigt skede går mellan olika terminaler. En fördel är om det är ett repetitivt flöde vilket det oftast är mellan exempelvis ett centrallager och en distributionscentral. Väginfrastrukturen bör hålla en hög standard, exempelvis tydliga vägmarkeringar och skyltar, samt inget som blockerar dessa. Dock menar fordonstillverkarna att svensk infrastruktur i allmänhet håller en hög standard och att detta inte varit ett problem hittills (Wallbecks, 2020). Däremot kan detta vara mer avgörande i andra länder.

Fordonstillverkarna menar att de incitament som finns för att automatisera godstransporter är kostnadsbesparingen av att ta bort föraren, samt bristen på förare runt om i världen (Wallbecks, 2020). En stor fördel med automatiserade system är att de till skillnad från mänskliga förare kan driva fordonet dygnet runt vilket leder till en högre produktivitet. Ur förarens perspektiv är det gynnsamt att inte längre behöva köra vissa obekväma sträckor som är väldigt monotona, exempelvis korta sträckor mellan terminaler. På sikt är även den ökade säkerheten av automatiserade fordon en fördel, uppskattningsvis om 10 till 15 år. Kostnaden för att köpa in automatiserade lastbilar bedöms inte vara stor. Förutom den initiala kostnaden för att köpa fordonet behöver det finnas laddningsstationer för elektriskt drivna fordon och för fjärrstyrning behöver det finnas operatörer som kan kontrollera fordonen. De aktörer som bedöms gynnas mest är de som har brist på förare och de som bedriver godstransporter på sträckor av låg komplexitet (Wallbecks, 2020). En fördel med fjärrstyrning i ett tidigt skede är kostnadsfördelen av att låta en mänsklig operatör kontrollera flera fordon samtidigt i stället för en mänsklig förare som styr ett fordon. Arbetsmiljön blir också annorlunda för föraren då det är mer komfortabelt att sitta i ett kontor än i fordonet självt för att kontrollera det.

I allmänhet har respondenterna bedömt att fjärrstyrning är den mest troliga tillämpningen av automatiserade fordon. En anledning till detta är delvis att dagens infrastruktur är redo för denna tillämpning, medan den ännu inte är redo för exempelvis byteshubbar. Vissa av respondenterna var kritiska till platooning då fördelarna av detta sågs vara för små för att vara det komplexa arbetet att få fram en platoon. Bland annat syftar man på att bränslebesparingen på 10% är för liten. Framför allt så kräver platooning ett stort trafikflöde i och med att ett visst antal lastbilar ska åka åt samma håll vilket inte alltid är fallet i ett litet land som Sverige. Att ta fram en affärsmodell för platooning är också komplext, då det inte är tydligt vilka som ska tjäna på vinsterna av bränsleminimeringen om lastbilarna i en platoon drivs av olika företag (Asp, 2020). Platooning är lämpligt om det finns situationer som möjliggör detta, men det är inte nödvändigt att bygga om infrastrukturen för att den ska hantera platooning.

Nya affärsmodeller kommer att introduceras i och med att fordonstillverkarna kan sälja en service direkt till kunderna, vilket kringgår speditörerna som mellanhand (Engholm, 2020).

6. Framtagning av vägsträckor

Denna del tar fram de faktorer som bedöms vara relevanta för att identifiera vilka sträckor som är lämpliga för automatiserade godstransporter, samt vilka godsnoder i Sverige som är intressanta för dessa sträckor. Slutligen så presenteras vilka sträckor i Sverige som är lämpliga. Detta besvarar studiens frågeställningar.

6.1 Urval av faktorer för att identifiera sträckor

Utifrån litteraturstudien och de intervjuer som genomförts bedöms dessa faktorer vara relevanta för att identifiera lämpliga sträckor för automatiserade godstransporter på kort sikt.

- Vägsträckor av låg komplexitet. Detta inkluderar:
 - Undvikande av oskyddade trafikanter och bostadsområden
 - Minimering av antalet vägkorsningar och övergångsställen
- Vägsträckor med lämpligt trafikflöde. Detta inkluderar:
 - Hög andel tung trafik gentemot det totala trafikflödet, mätt i ÅDT
 - Undvikande av ett högt totalt trafikflöde.
- Vägsträckor med god standard på infrastrukturen. Detta inkluderar:
 - Tydliga vägmarkeringar
 - Synliga vägskyltar
 - Inhägnade vägar
 - Vägunderlag i gott skick
- Vägsträckor mellan stora godsnoder

6.2 Större godsnoder i Sverige

Godsnoderna som undersöktes presenteras i detta avsnitt. Noderna kan delas in i lagerbyggnader, flygplatser, kombiterminaler, samt hamnar.

6.2.1 Lagerbyggnader

En avgränsning gjordes på lagerbyggnader i Sverige som har en area på över 50 000 m². Att notera är att detta är enskilda byggnader och att det finns fastigheter med separata huskroppar som har större areal. Det är värt att notera att det kan finnas fler byggnader

med större yta som inte fångats upp genom kartläggningen, delvis på grund av att de är nybyggda och att information om dessa därför inte publicerats ännu. Dessutom så kan vissa byggnader ha expanderat sedan den utvalda statistiken publicerades.

*Tabell 3. Lagerbyggnader i Sverige med störst lageryta (Fastighetsvärlden, 2015)
(Fastighetsaktien, 2015)*

Lagerhus	Företag	Lageryta, m ²	Plats
Gjutaren 6	Jula	141 500	Skara
Rusta Centrallager	Rusta	117 000	Norrköping
Kolven 2	ICA	113 805	Långeberga/Helsingborg
Jordbromalm 3:1	Axstore	97 018	Haninge/Stockholm
Barnarps-Kråkebo 1:49	Elgiganten	95 378	Torsvik/Jönköping
Barnarps-Kråkebo 1:37	IKEA	92 900	Torsvik/Jönköping
Lagret 1	IKEA	88 284	Älmhult
Flahult 80:3	DHL/Schenker/Papyrus	81 823	Torsvik/Jönköping
Nedre Heden 9:101	Clas Ohlson	78 735	Insjön/Leksand
Omlastningen 1	Ahlsells	70 250	Hallsberg
Åstorp 112:96	Frode Laursen	65 529	Åstorp
Fåglabäck 2:21	Expert Nordic Logistics	62 700	Skillingaryd
Vindrosen 8	Wilfast	54 735	Borås
Örja 1:21	Hemfosa	53 663	Landskrona
Halmstad 2:48	Biltema	51 200	Halmstad
Stubben 2	Jysk	51 170	Nässjö
Jordbromalm 4:3	Dagab	50 741	Haninge/Stockholm
Landvetter 3:286	Schenker	50 398	Landvetter/Göteborg
Vrangelbro 5:5	Biltema	50 000	Halmstad

6.2.2 Flygplatser

En avgränsning gjordes på flygplatser med en fraktmängd på minst 1 000 000 kg (1000 ton) per år. Statistiken var tänkt att hämtas från 2019 men på grund av att det saknades statistik för de statliga flygplatserna detta år så hämtades det från 2018 istället. Se tabell 4.

Tabell 4. Flygplatser i Sverige med högst fraktflöde (Transportstyrelsen, 2018)

Flygplats	Fraktmängd, kg	Plats
Arlanda	90 674 670	Stockholm
Malmö	23 323 137	Malmö
Landvetter	17 356 503	Göteborg
Örebro	9 172 400	Örebro
Jönköping	3 427 359	Jönköping

6.2.3 Kombiterminaler

Kartläggningen av kombiterminaler som finns i Sverige försvårades av att det inte finns någon officiell statistik om detta. Inte heller kan man avgöra vilka terminaler som är störst vad gäller fraktmängd, då vissa terminaler inte publicerar vad deras kapacitet är. Därför kartlades alla kombiterminaler som gick att identifiera i Sverige utan att sortera efter storlek. Om alla dessa är i drift eller inte, eller om det finns fler kombiterminaler utöver dessa, är inte tydligt. Se tabell 5.

Tabell 5. Kombiterminaler i Sverige (Hersle och Moback, 2019)

Kombiterminaler		
Alvesta	Katrineholm	Jönköping, Torsvik
Borlänge	Luleå	Trelleborgs hamn
Eskilstuna	Malmö	Umeå
Gävle, Fredrikskans	Norrköping	Vaggeryd, Båramo
Gävle, Granudden	Nybro	Västerås
Göteborg	Nässjö	Älmhult
Hallsberg	Stockholm, Rosersberg	Örebro
Helsingborg	Stockholm, Årsta	
Insjön	Stockaryd	
Karlshamn	Sundsvall	
Karlskrona	Södertälje hamn	

6.2.4 Hamnar

Kartläggningen av hamnar i Sverige avgränsades till att enbart inkludera de som transporterar över 5 miljoner ton gods om året.

Tabell 6. Hamnar i Sverige med högst fraktflöde (Transportföretagen, 2018)

Hamn	Fraktmängd, ton
Göteborg	40 635 000
Trelleborg	11 224 000
Stockholm, Nynäshamn	9 441 000
Malmö	8 342 000
Helsingborg	7 932 000
Luleå	7 674 000
Gävle	5 457 000
Karlshamn	5 268 000

6.2.5 Kartläggning av identifierade noder

I appendix A presenteras den kartläggning som gjorts på de godsnoder som presenterats i detta kapitel.

6.3 Möjliga vägsträckor i Sverige

Exempel på intressanta vägsträckor för automatiserade godstransporter i Sverige anges i detta avsnitt, utifrån de faktorer och godsnoder som tagits fram i de tidigare delarna. Värt att upprepa är att en avgränsning gjorts för att fokusera på sträckor som till stor del går genom statliga vägar. Därför finns det många mindre intressanta sträckor som detta avsnitt inte går igenom då de till stor del koncentreras till kommunala vägar. Rutterna har kartlagts genom Google Maps, varifrån även längden på vägsträckorna har hämtats. Övriga detaljer har hämtats från NVDB.

6.3.1 Sträcka 1: Nynäshamn hamn – Västerhaninge, olika logistikcenter

Tabell 7. Statliga vägar som kan användas

Vägnummer	73	257	259
Vägtyp	Vanlig/Motorväg	Vanlig	Vanlig
Antal körfält	1-3	2	2
Längd (km)	31/35	1,5	2,7
ÅDT: Tung trafik	617-1 568	1 203	1 548-1 863
ÅDT: Total trafik	5 038-13 931	13 030	7 679-8 647
Genomsnittlig andel tung trafik mot total trafik i ÅDT	1/9	1/11	1/5
FPV godstransporter	Ja	Nej	Ja
Vägnät för tyngre transporter	Stora volymer	Temporära volymer	Stora volymer
Vägräcke	Delvis	Nej	Delvis
Korsningar	10 motorvägskorsningar	2 vanliga korsningar, 2 rondeller	1 vanlig korsning, 1 rondell

Övriga kommentarer: Sträckan kan gå genom väg 73 och väg 257 eller väg 73 och väg 259. Går mellan en av Sveriges största hamnar i Nynäshamn och flera stora logistikcenter i Västerhaninge, bland annat för Dagab och Axstore.

Exempel på dragen sträcka genom väg 73 och 257: Se figur 3.

6.3.2 Sträcka 2: Rosersberg kombiterminal – Arlanda Flygplats

Tabell 8. Statliga vägar som kan användas

Vägnummer	893	273	E4	E4.65
Vägtyp	Vanlig	Vanlig/ Motorväg	Motorväg	Motorväg
Antal körfält	2	2/4	4	4
Längd (km)	6,5	0,7/1,5	5	3
ÅDT: Tung trafik	213-837	1 203-1 857	2 560-3 951	1 274-1 294
ÅDT: Total trafik	1 115-2 594	8 733-16 952	26 954-38 309	13 486-13 883
Genomsnittlig andel tung trafik mot total trafik i ÅDT	1/4	1/8	1/10	1/11
FPV godstransporter	Nej	Ja	Ja	Ja
Vägnät för tyngre transporter	Temporära volymer	Temporära volymer	Större volymer	Större volymer
Vägräcke	Nej	Nej	Fullt ut	Nej
Korsningar	3 vanliga korsningar*	2 motorvägs-korsningar, 2 rondeller	3 motorvägs-korsningar	2 motorvägs-korsningar

Övriga kommentarer: Sträckan kan gå genom väg 893 och väg 273 eller E4, E4.65 och väg 27. Går mellan en av Sveriges största flygplats och en av landets största kombiterminaler. Enligt NVDB har väg 893 endast 3 korsningar men en visuell överblick på en karta talar för att vägen har betydligt fler korsningar.

Exempel på dragen sträcka: Se figur 4.

6.3.3 Sträcka 3: Helsingborg hamn/kombiterminal – ICA centrallager

Tabell 9. Statliga vägar som kan användas

Vägnummer	E4	E6
Vägtyp	4-fältsväg/Motorväg	Motorväg
Antal körfält	4	4
Längd (km)	7	5
ÅDT: Tung trafik	1 314-1 717	4 030-4 567
ÅDT: Total trafik	10 024-13 941	19 830-22 238
Genomsnittlig andel tung trafik mot total trafik i ÅDT	1/8	1/5
FPV godstransporter	Ja	Ja
Vägnät för tyngre transporter	Stora volymer	Större volymer
Vägräcke	Delvis	Delvis
Korsningar	4 motorvägskorsningar, 1 rondell	3 motorvägskorsningar

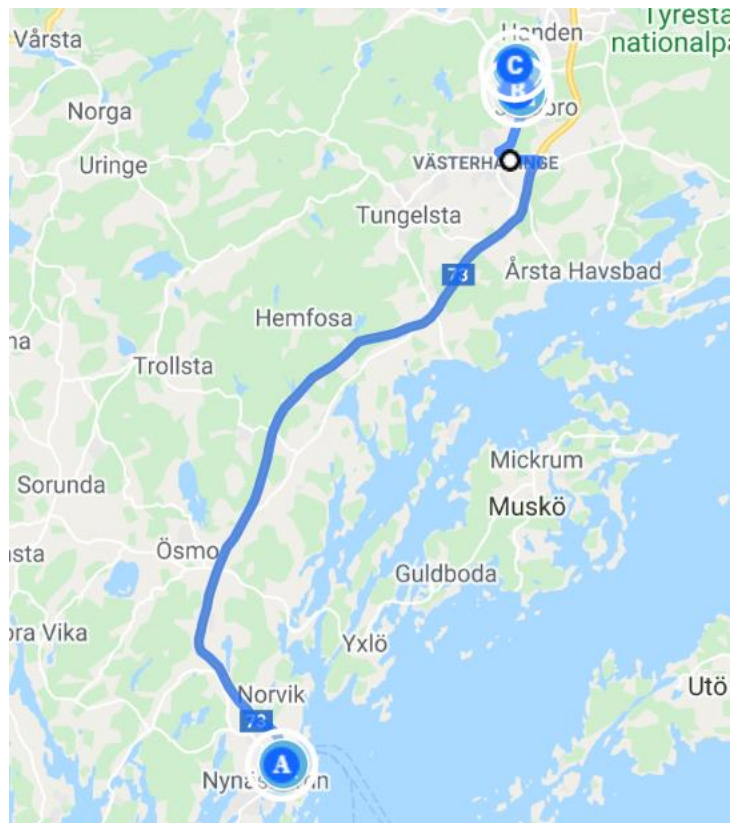
Exempel på dragen sträcka: Se figur 5.

6.3.4 Sträcka 4: Luleå hamn – Luleå kombiterminal

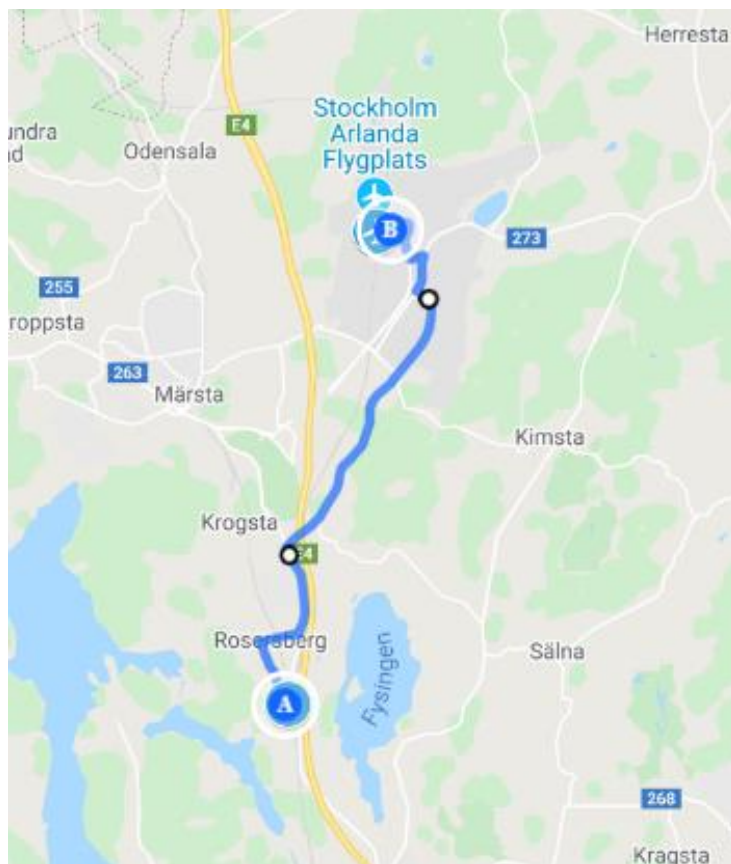
Tabell 10. Statliga vägar som kan användas

Vägnummer	Väg 97
Vägtyp	Motortrafikled
Antal körfält	2
Längd (km)	3,5
ÅDT: Tung trafik	415-976
ÅDT: Total trafik	4 915-9 626
Genomsnittlig andel tung trafik mot total trafik i ÅDT	1/10
FPV godstransporter	Ja
Vägnät för tyngre transporter	Större volymer
Vägräcke	Delvis. Mittbarriärer fullt ut
Korsningar	2 motorvägskorsningar

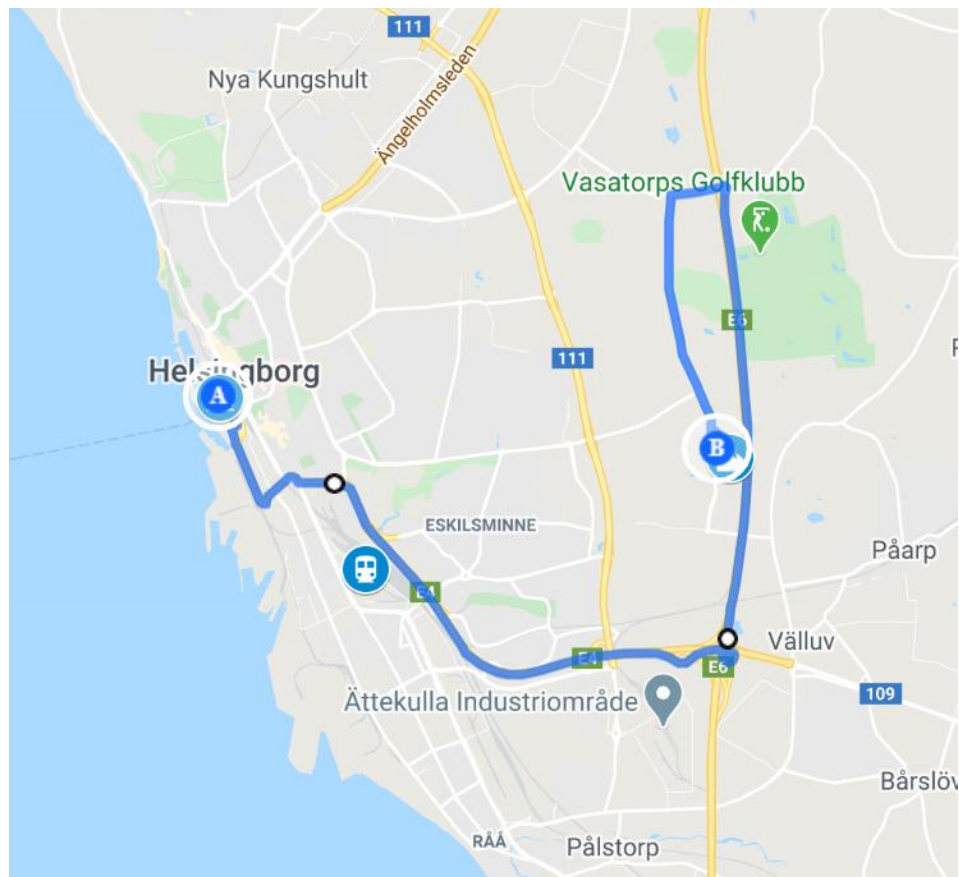
Exempel på dragen sträcka: Se figur 6.



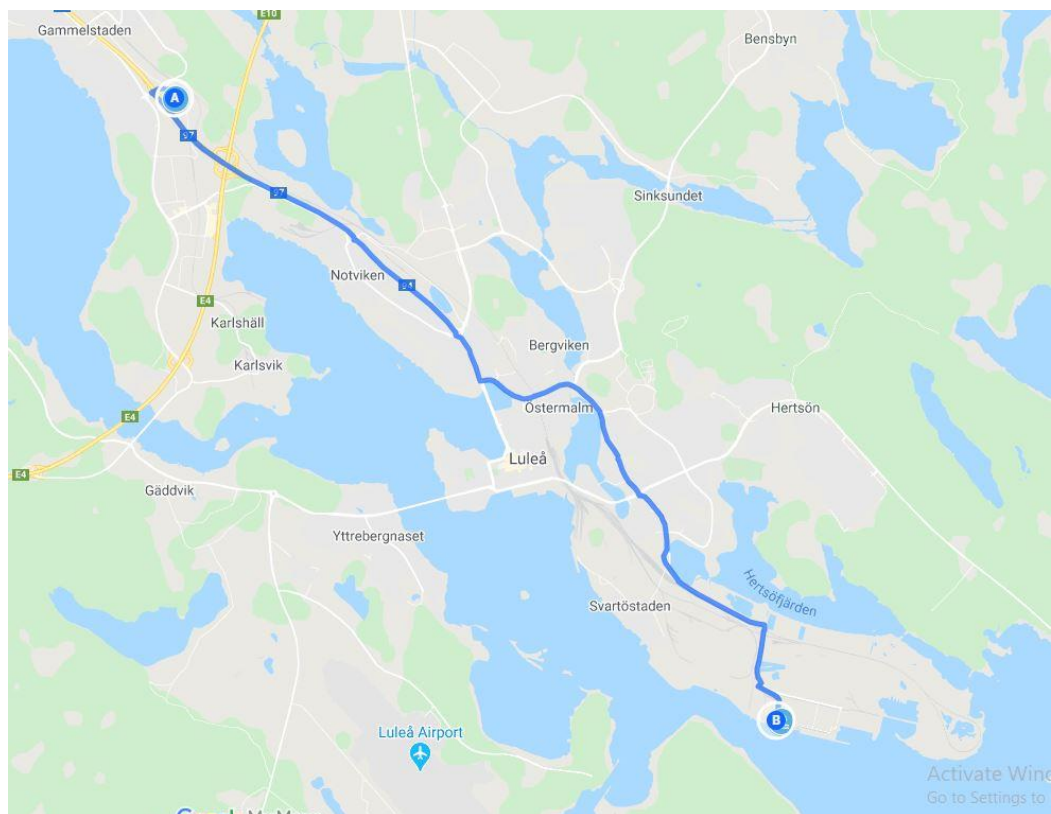
Figur 3. Föreslagen sträcka genom väg 73 och 257



Figur 4. Föreslagen sträcka genom väg 893 och 273



Figur 5. Föreslagen sträcka genom väg E4 och E6



Figur 6. Föreslagen sträcka genom väg 97

7. Diskussion

I detta avsnitt diskuteras resultatet i koppling till litteraturstudien och intervjuerna som genomförts.

7.1 Faktorer

Så länge som de automatiserade fordonen har en SAE-nivå på under 5 så kommer sträckorna de kan bedrivas på att vara begränsade. Denna begränsning är framför allt hög i ett tidigt skede då tekniken ännu inte är etablerad. Från allmänhetens sida finns det höga krav på att automatiserade fordon körs på ett säkert sätt med minimala olycksrisker, även om vissa hävdar att de redan idag drivs säkrare än mänskligt drivna fordon, vilket kan bero på att det bygger på en ny teknologi. Konventionella fordon har använts i över 100 år och därför har de hunnit bygga upp ett förtroende från allmänheten. Säkerhetsriskerna med de första automatiserade fordonen innebär att de bör fokuseras på sträckor av låg komplexitet, vilket inkluderar att undvika höga trafikflöden. Detta innebär att fordonen bör undvika sträckor som går igenom innerstäder. Samtidigt som automatiserade fordon i ett tidigt skede kommer att koncentreras på sträckor av låg komplexitet, så har de potential att bedrivas på de mest komplexa sträckorna i framtiden och sköta styrningen på betydligt säkrare sätt än mänskliga förare. Komplexitetsfaktorn skulle i ett sådant läge fortfarande vara relevant, men i stället hade det varit intressant att undersöka sträckor av hög komplexitet snarare än låg, av den anledning att man göra trafiken säkrare. Detta skulle också innebära att det inte längre är nödvändigt att undvika höga trafikflöden.

Ett av de största incitamenten till att automatisera lastbilar är den kostnadsminskning som orsakas av att inte längre betala löner till mänskliga förare. Med detta i åtanke kan man argumentera att de aktörer som kommer se den största kostnadsminskningen är de som bedriver en störst mängd godstransporter mellan samma punkter, då detta maximerar automatiseringen. Därför kommer troligtvis de första regelbundna sträckorna vara mellan stora godsnoder med monotona sträckor. Förutom att undersöka stora godsnoder är det intressant att se vilka sträckor som har ett högt godsflöde. Automatisering av högsta möjliga antal godstransporter är också en effektiv lösning för att åtgärda bristen på förare som råder.

I ett tidigt skede kommer automatiserade fordon vara utvecklade för att hantera befintlig typ av infrastruktur. Detta kommer primärt att ställa krav på den fysiska infrastrukturen bland annat att vägarna är i gott skick, att vägmarkeringarna är tydliga och att särskild utrustning som vägräcken finns tillgängligt. I framtiden kommer det dock troligtvis att ställas högre krav på digital infrastruktur, då V2X-kommunikation kommer att vara nödvändigt för att automatiserade fordon ska kunna hantera mer komplexa situationer och därmed få ett större ODD. I detta läge kommer kraven på den fysiska infrastrukturen att minska, då vägmarkeringar och skyltar blir mer obsoleta. En annan faktor vad gäller nödvändig infrastruktur skulle kunna vara att undersöka var befintliga

elvägar är lokaliserade, då automatiserade fordon som är elektriskt drivna enbart kan köra en längre tid på dessa sträckor. Detta är dock endast ett krav för detta specifika scenario och har därför inte listats i resultatet.

Det är möjligt att det finns andra faktorer som påverkar än de som tagits fram i denna studie. Om det hade funnits en möjlighet hade det varit intressant att följa en riktig process för att ta fram lämpliga sträckor för ett automatiserat fordon, exempelvis när fordonstillverkarna väljer teststräckor. Tyvärr hittades inte någon dokumentation om dessa processer. Bristen på dokumentation kan delvis förklaras av att det ännu är ett nytt forskningsområde.

7.2 Godsnoder

De studerade godsnoderna var stora omlastningsplatser och lagerbyggnader. Något som är tydligt av de godsnoder som tagits fram är att det finns mest potential i delar av landet som är geografiskt nära en större del av befolkningen, vilket i detta fall är södra delen av landet. Godsnoder som inte studerades var bland annat produktionsområden, som om de hade studerats hade inneburit fler godsnoder i norra delen av Sverige. Om man jämför de godsnoderna som tagits fram i appendix A med de vägar i Sverige som har högst godsflöde i figur 1, ser man en tydlig korrelation. De stora godsnoderna tenderar ofta att vara lokaliserade vid vägar med stort godsflöde, vilket styrker hypotesen att det är ett stort flöde mellan just de noderna.

Ett alternativ till att studera lagerbyggnader med stor yta hade varit om statistik fanns tillgänglig att undersöka vilka byggnader eller logistikområden som transporterar störst mängd gods, i likhet med vad som studeras på omlastningsplatserna.

7.3 Sträckor

Samtliga av sträckorna som tagits fram uppfyller kriteriet att de går mellan stora godsnoder. Sträcka 1 går mellan landets tredje största hamn i Nynäshamn till två av landets största lagerbyggnader i Västerhaninge, ett logistikområde med flera andra stora lagerbyggnader utöver dessa två. Sträcka 2 går mellan en av landets största kombiterminaler i Rosersberg och landets största flygplats, Arlanda. Sträcka 3 går mellan landets femte största hamn i Helsingborg och landets tredje största lagerbyggnad i samma stad med flera andra närliggande lagercenter. Sträcka 4 går mellan en av Sveriges största hamnar i Luleå och stadens kombiterminal.

Komplexiteten för sträckorna skiljer sig från varandra. Sträcka 1 bedöms ha lägst komplexitet då den till stor del går utanför stads kärnor och bostadsområden om den går genom väg 73 och 259. Väg 257 lär öka komplexiteten då den går i närheten av ett bostadsområde. Sträcka 2 undviker i stort sett bostadsområden, även om en rutt genom väg 893 kommer att ha en viss närhet till Rosersberg bostadsområde. Nackdelen med en rutt via E4 är det exceptionellt stora trafikflödet, vilket kan orsaka en högre komplexitet. Både sträcka 3 och framför allt sträcka 4 går igenom innerstäder med närliggande

bostadsområden, vilket lär fördröja utrullningen av automatiserade fordon på dessa sträckor. Sträcka 3, som med E4 går igenom Helsingborg, har dock fördelen att denna väg till stor del är avskild från omgivningen då det är en motorväg, vilket lär göra denna sträcka mindre komplex än sträcka 4. Oavsett vägval för sträckorna så hålls antalet korsningar lågt, där mestadels antalet motorvägskorsningar skiljer sig åt. Denna typ av korsning lär dock vara den minst komplexa och bör inte påverka valet av sträcka nämnvärt.

Samtliga av de studerade vägarna klassas inom FPV godstransporter förutom väg 257 för sträcka 1 och väg 893 för sträcka 2. Väg nätet för tyngre transporter antyder att alla de studerade vägarna har åtminstone stora volymer av godstransporter förutom just 257, 893, samt även 273. Utifrån den mätta andelen tung trafik av total trafik kan man bedöma att 1/5 är en hög andel medan 1/10 är en låg andel. Antalet undersökta vägar är dock väldigt lågt och det hade varit intressant att se hur högt eller lågt denna andel kan mätas till om fler vägar hade studerats.

Huruvida de föreslagna vägarna uppfyller kraven på infrastruktur är svårt att bedöma enbart utifrån statistik från NVDB. Om vägmarkeringar och vägskyltar syns tydligt på vägarna eller om vägunderlaget är i gott skick kräver snarare en visuell bedömning på plats, vilket sträcker sig utanför denna rapports räckvidd. Vad gäller vägräcken så är det bara E4 som ska ha dessa fullt ut på båda sidorna av vägfilerna. För de andra vägarna skiljer det sig åt från att inte ha vägräcken alls till att bara ha på vissa sidor av vägfilerna. Enligt intervjurespondenterna håller svensk infrastruktur i allmänhet en hög standard men det är möjligt att vissa av vägarna kan behöva ytterligare underhåll i förberedelse för automatiserade fordon. Även om det inte har ställts som ett kriterium i resultatet så skiljer sig sträcka 1 från de andra sträckorna i och med att väg 73 byggs om till en elväg, vilket gör den mer lämplig för elektriskt drivna fordon. Andra dynamiska faktorer som skulle kunna påverka är vägens geografiska breddgrad, där platser som är lokaliserade längre norrut generellt får en större mängd snö vilket är problematiskt för trafiken. Detta skulle potentiellt kunna försvåra en utrullning mer i Luleå än de andra föreslagna sträckorna.

Motivationen till att just dessa sträckor valdes ut är förutom att de alla till stor del uppfyller kriterierna som tagits fram, också att godsnoderna är inom ett rimligt avstånd från varandra. Detta gör det delvis enklare att analysera sträckorna då mindre mängd data behöver studeras. Dessutom bygger denna rapport på antagandet att det går ett stort godsflöde mellan de stora noderna, vilket är rimligt om det är ett kort avstånd mellan omlastningsplats och ett logistikcenter. Osäkerheten kring om det går ett stort flöde mellan dessa gods-noder ökar dock ju längre avståndet blir. Valet av sträcka 4 skiljer sig dock från de andra sträckorna i att det inte går mellan en omlastningsplats och ett logistikcenter, utan mellan en kombiterminal och en hamn. Här är motivationen att hamnar och kombiterminaler oftast är sammankopplade, vilket även bör gälla i Luleå och därför kan man anta att det går ett stort godsflöde mellan dessa punkter som kan automatiseras. Andra intressanta sträckor som hade kunnat dragits med gods-noder som

sticker ut i mängden med dess storlek är Göteborgs hamn, samt de stora lagerbyggnaderna i Skara och Norrköping. Delvis så hittades dock inga andra närliggande noder som de lämpligt kan länkas samman med. Ett annat problem är att de potentiellt skulle behöva gå igenom innerstäder vilket redan är ett problem för sträckan genom Luleå, men skulle bli än värre för en potentiell sträcka från Göteborgs hamn genom dess innerstad som har betydligt högre trafikflöde. Därför är det i regel mer intressant att undersöka sträckor strax utanför innerstäderna.

Gällande olika tillämpningar av automatiserade godstransporter är fjärrstyrning initialt mer lämpligt för sträcka 1 och 2 då de bedöms vara mindre komplexa än sträcka 3 och 4 som går igenom innerstäder. För dessa sträckor skulle det i ett tidigt skede därför vara mer passande med en lägre automationsnivå, exempelvis att en människa kontrollerar körningen i förarsätet och tar över styrningen vid svåra situationer. Då ingen av de föreslagna sträckorna har någon betydande längd så är det inte realistiskt med platooning mellan just dessa noder. Av figur 1 är det dock tydligt att det finns långa korridorer med stort godsflöde som är lämpliga för platooning, framför allt mellan Jönköping och Stockholm. Detta är dock inte något som denna rapport har tittat närmare då målet var att ta fram förslag på generella sträckor för automatiserade godstransporter. Detta kan ytterligare motiveras av det faktum att majoriteten av alla lastbilstransporter i Sverige transporteras på sträckor under 50 km. En framtida studie skulle dock kunna studera mer specifikt vilka sträckor som är lämpliga för särskilda tillämpningar av automatiserade godstransporter.

8. Slutsatser

Genom den litteraturstudie och de intervjuer som genomförts kan man avgöra att de vägsträckor som är mest lämpliga för automatiserade godstransporter på kort och medellång sikt är de som är av låg komplexitet, som har ett lämpligt trafikflöde, som har en god standard på infrastrukturen, samt som går mellan stora godsnoder. Det är möjligt att det finns andra faktorer som är relevanta men som inte har kunnat påvisats utifrån den framtagna teorin.

Utifrån de identifierade faktorerna och godsnoderna kan man ta fram fyra lämpliga sträckor för automatiserade godstransporter. Nynäshamn hamn – Logistikcenter i Västerhaninge, Rosersberg kombiterminal – Arlanda Flygplats, Helsingborg hamn/kombiterminal – ICA centrallager, Luleå hamn – Luleå kombiterminal. Med bättre tillgång till statistik hade dessa sträckor varit mer motiverade. I en framtida studie hade det varit intressant att studera vilka sträckor som har högst godsflöde mellan noderna.

Då detta är ett nytt forskningsområde där stora förändringar ständigt sker så är det möjligt att en stor del av teorin i denna rapport i framtiden kommer att vara utdaterad. Därför är denna rapport av störst värde inom kort sikt, vilket även poängteras av rapportens syfte att studera lämpliga sträckor inom kort sikt. Vilka sträckor som är lämpliga om 5 eller 10 år kan vara helt andra, då tekniken hinner utvecklas till dess.

Referenser

- Ash, A., m.fl. (2018), INRIX Automated Freight Corridor Assessment, Utgivare: INRIX. Tillgänglig online: <https://wstc.wa.gov/wp-content/uploads/2019/11/2018-1211-BP4-INRIXAutomatedFreight-CorridorAssessment.pdf> (2020-08-09)
- Anderson, J, m.fl. (2016), Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers, Utgivare: RAND. Tillgänglig online: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR400/RR443-2/RAND_RR443-2.pdf (2020-08-09)
- Boverket (2020), Godstransporter. Tillgänglig online: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/godstransporter-i-fysisk-planering/godstransporter/> (2020-08-09)
- CB Insights (2020), 40+ Corporations Working On Autonomous Vehicles. Tillgänglig online: <https://www.cbinsights.com/research/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/> (2020-08-09)
- Cheng, E. (2019) Self-driving trucks likely to hit the roads before passenger cars, Utgivare: CNBC. Tillgänglig online: <https://www.cnbc.com/2019/11/22/self-driving-trucks-likely-to-hit-the-roads-before-passenger-cars.html> (2020-08-09)
- Clevenger, S. (2018) How Drivers and Autonomous Trucks Could Work Together to Move Freight, Utgivare: Transport Topics. Tillgänglig online: <https://www.ttnews.com/articles/how-drivers-and-autonomous-trucks-could-work-together-move-freight> (2020-08-09)
- Combs, V. (2020) Autonomous vehicles need well-marked streets more than 5G, Utgivare: ZDNet. Tillgänglig online: <https://www.zdnet.com/article/autonomous-vehicles-need-well-marked-streets-more-than-5g/> (2020-08-09)
- Davies, A. (2017) Self-Driving Trucks Are Now Delivering Refrigerators, Utgivare: ZDNet. Tillgänglig online: <https://www.wired.com/story/embark-self-driving-truck-deliveries/> (2020-08-09)
- Dholakia, S. (2019) How Autonomous Vehicles Work, Utgivare: Medium. Tillgänglig online: <https://medium.com/@swaritd/how-autonomous-vehicles-work-1a54364463c6> (2020-08-09)
- English, T. (2020) How Do Self-Driving Cars Work?, Utgivare: Interesting Engineering. Tillgänglig online: <https://interestingengineering.com/how-do-self-driving-cars-work> (2020-08-09)
- Einride (2019) World premiere: First cab-less and autonomous, fully electric truck in commercial operations on public road. Tillgänglig online: <https://www.einride.tech/press/world-premiere-first-cab-less-and-autonomous-fully-electric-truck-in-commercial-operations-on-public-road>

- Einride (2020) Einride showcases one operator, multiple vehicle capability at a customer site. Tillgänglig online: <https://www.einride.tech/press/einride-showcases-one-operator-multiple-vehicle-customer-site> (2020-08-09)
- Ertrac (2019) Connected Automated Driving Roadmap, Utgivare: Interesting Engineering. Tillgänglig online: <https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id57/ERTRAC-CAD-Roadmap-2019.pdf> (2020-08-09)
- Fagnant, J. (2015), "Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations", Transportation Research Part A, vol. 77
- Farah, H., m.fl. (2018), "Infrastructure for Automated and Connected Driving: State of the Art and Future Research Directions", Road Vehicle Automation 4, Utgivare: Springer
- Fastighetsaktien (2017) NRP köper 117.000 kvm av Rusta. Tillgänglig online: http://fastighetsaktien.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=16387:nrp-k%C3%B6per-117000-kvm-av-rusta&Itemid=320 (2020-08-09)
- Fastighetsvärlden (2015) 18 största lagerbyggnaderna. Tillgänglig online: <https://www.fastighetsvarlden.se/analys-fakta/topplistor/18-storsta-lagerbyggnaderna/> (2020-08-09)
- Höök, P. (2018) Bristen på lastbilschaufförer akut, Utgivare: Transportochlogistik.se. Tillgänglig online: <https://www.transportochlogistik.se/20190803/7874/bristen-pa-lastbilschaufforer-akut> (2020-08-09)
- Monios, J. (2019), "The transport geography of electric and autonomous vehicles in road freight networks", Journal of Transport Geography
- Nasri, M. (2018) "Route and speed optimization for autonomous trucks", Computers and Operations Research, vol. 100
- NHTSA (2020) Automated Vehicles for Safety. Tillgänglig online: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety> (2020-08-09)
- Paddeu, D., m.fl. (2019) New Technology and Automation in Freight Transport and Handling Systems, Utgivare: Government Office for Science. Tillgänglig online: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/781295/automation_in_freight.pdf (2020-08-09)
- SAE International (2020) About SAE International. Tillgänglig online: <https://www.sae.org/about/> (2020-09-03)
- SAE International (2018), Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, vol. J3016
- Sawers, P. (2020) Einride demos a single teleoperator taking control of multiple autonomous trucks, Utgivare: Venture Beat. Tillgänglig online:

- <https://venturebeat.com/2020/04/07/einride-demos-a-single-teleoperator-taking-control-of-multiple-autonomous-trucks/> (2020-08-09)
- Scania (2019) Scania AXL Konceptfordon. Tillgänglig online: <https://www.scania.com/se/sv/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2019/09/scania-axl.html> (2020-08-09)
- Schenker (u.å.) Självkörande lastbil på allmän väg. Tillgänglig online: <https://www.dbschenker.com/se-sv/om-oss/presscenter/innovation/db-schenker-och-einride>
- Scott-Briggs, A (2019) Self-Driving Trucks are Here – What are the Economic Consequences?, Utgivare: TechBullion. Tillgänglig online: <https://techbullion.com/self-driving-trucks-are-here-what-are-the-economic-consequences/> (2020-08-09)
- Skoglund, T., m.fl. (2019) Analys- och modellverktyg i en framtid med mer uppkopplade, samverkande och automatiserade fordon, Utr 2018/39, Utgivare: Sweco. Tillgänglig online: https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/underlagsrapporter/2019/rapport_analys_modeller_for_automatiserade_fordon.pdf (2020-08-09)
- Tabora, V. (2019) ”The Reason We Need Self-Driving Trucks”, Utgivare: Medium. Tillgänglig online: <https://medium.com/datadriveninvestor/the-reason-we-need-self-driving-trucks-e5b85e4de402>
- Hersle, D., Moback, D. (2019) Styrmedel och åtgärder med syfte att öka andelen intermodala transporter, Utgivare: WSP. Tillgänglig online: https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/underlagsrapporter/2019/10277775_styr_medel_del1_marknad_20190215.pdf (2020-08-09)
- Kulmala, R., m.fl. (2019) The impact of automated transport on the role, operations and costs of road operators and authorities in Finland, Utgivare: Traficom. Tillgänglig online: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/EU_EIP_Impact_of_Automated_Transport_Finland_Traficom_6_2019.pdf (2020-08-09)
- Trafikanalys (2016) Godstransportflöden - Analys av statistikunderlag Sverige 2012-2014. Tillgänglig online: https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2016/rapport-2016_9-godstransportfloden---analys-av-statistikunderlag-sverige-2012-2014.pdf (2020-08-09)
- Trafikanalys (2017), Automatiserad kolonnkörning – en lösning för framtiden?, 2016:22. Tillgänglig online: https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2016/rapport-2016_22-automatiserad-kolonnkorning---en-losning-for-framtiden.pdf (2020-08-09)
- Trafikverket (2014) Funktionellt prioriterat vägnät. Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/contentassets/31713fffeeb94354b664d63f8d37ed6d/rapport_funktionellt_prioriterat_vagnat.pdf (2020-08-09)

- Trafikverket (2017) Nationell färdplan för elvägar. Tillgänglig online:
https://www.trafikverket.se/contentassets/b1c845c023e04a3fb61280d072e832cc/nationell-fardplan-for-elvagar_slutlig.pdf (2020-08-09)
- Trafikverket (2020a) Dataproduktspecifikation – Strategiskt vägnät för tyngre transporter. Tillgänglig online:
https://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Dataproduktspecifikationer/V%C3%A4gdataprodukter/DPS_S-T/1037strategiskt_vagnat_for_tyngre_transporter.pdf (2020-08-09)
- Trafikverket (2020b) Pilotprojekt elvägar Nynäshamn eller Örebro
<https://www.trafikverket.se/nara-dig/projekt-i-flera-lan/pilotprojekt-elvagar-nynashamn-eller-orebro/> (2020-08-09)
- Trafikverket (2020c) Analys av trafiksäkerhetsutvecklingen 2019
https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/75691/Ineko.Product.RelatedFiles/2020_120_analys_av_trafiksakerhetsutvecklingen_2019_malstyrning.pdf (2020-08-09)
- Transportföretagen (2018) Hamnstatistik. Tillgänglig online:
https://www.transportforetagen.se/contentassets/f579f131ea244968853cb65724344311/sveriges-hamnar-2018_q4.pdf?ts=8d785334c87a980 (2020-08-09)
- Transportstyrelsen (2014) Samhällsekonomisk analys av tyngre fordon på det allmänna vägnätet. Tillgänglig online:
<https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/press/bilaga-5.pdf> (2020-08-09)
- Transportstyrelsen (2018) Flygplatsstatistik. Tillgänglig online:
<https://transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Statistik/Flygplatsstatistik/> (2020-08-09)
- Ulrich, S., m.fl. (2020), “Consequences of automation functions to infrastructure”, MANTRA: Making full use of Automation for National Transport and Road Authorities – NRA Core Business, ver. 0.9.
- Zhang, Y. (2019) Area preparing for self-driving cars China Daily, Utgivare: China Daily. Tillgänglig online:
<http://global.chinadaily.com.cn/a/201904/01/WS5ca14f88a3104842260b38ca.html> (2020-08-09)
- Vantomme, J (2018) Towards cooperated, connected and automated driving in Europe, Utgivare: ACEA. Tillgänglig online: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Europe/Documents/Events/2018/5G%20Greece/Session%208%20Joost%20Vantomme.pdf> (2020-08-09)
- Viscelli, S. (2018), Driverless? Autonomous Trucks and the Future of the American Trucker, Utgivare: UC Berkeley. Tillgänglig online:
<http://driverlessreport.org/files/driverless.pdf> (2020-08-09)
- Volvo (2019) Veras första uppdrag: Volvo Lastvagnar presenterar en självkörande transportlösning mellan ett logistikcenter och en hamn. Tillgänglig online:

<https://www.volvotrucks.se/content/dam/volvo/volvo-trucks/markets/sweden/news-and-stories/press-release/2019/Pressmeddelande-Vera-190613.pdf> (2020-08-09)

Volvo (2018) Volvo Lastvagnar levererar transportlösning med självkörande fordon till Brønnøy Kalk AS. Tillgänglig online: <https://www.volvotrucks.se/sv-se/news/press-releases/2018/nov/pressrelease-181120.html> (2020-08-09)

Walker, J. (2019) Self-Driving Trucks – Timelines and Developments, Utgivare: Emerj. Tillgänglig online: <https://emerj.com/ai-adoption-timelines/self-driving-trucks-timelines/> (2020-08-09)

Intervjureferenser

Smeds, P. Trafikverket (2020) Skype-samtal.

Asp, T. Trafikverket (2020) Skype-samtal

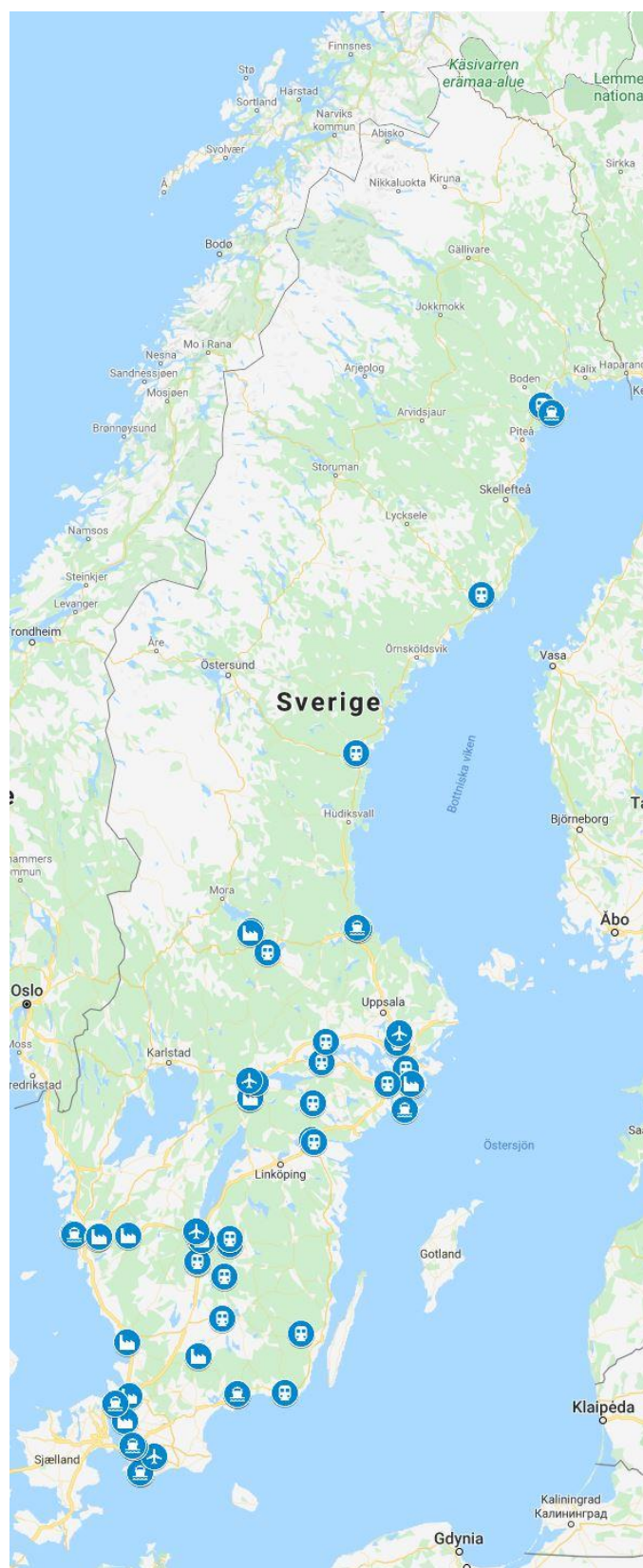
Engholm, A. ITRL (2020) Skype-samtal.

Wallbecks, C. Einride (2020) Skype-samtal

Rosenquist, M. Volvo (2020) Telefonsamtal

Skogsmo, I. VTI (2020) Telefonsamtal

Appendix A: Kartlagda godsnodeer i Sverige



Figur 7. Kartlagda godsnodeer i Sverige