
5G OCH DIGITALA TJÄNSTER FÖR GODSFORDON



2021-06-14

SWECO

**Thomas Sjöström
Petter Eistrand
Alva Larsson**

SAMMANFATTNING

Tekniken för 5G kallas ofta digitaliseringens ryggrad eftersom det är en förutsättning för Sakernas Internet (Internet of Things, IoT, på engelska), automatiserade fordon och en hållbar ekonomisk tillväxt. Potentialen med 5G är stor, då tekniken medför många funktioner som kan vara värdefulla redan nu men framförallt i framtiden. Några av dessa är högre datahastighet, mer kapacitet och lägre fördröjning. 5G möjliggör en reducering av fördröjning som är omöjlig att uppnå med 4G. Just fördröjning är en kritisk faktor för utvecklingen av fullt självkörande bilar (SAE 5) vars digitala tjänster förväntas generera data som av säkerhetsskäl behöver ageras på i nästintill realtid. 5G innebär även en säkrare uppkoppling vilket är en av de större fördelarna med 5G nätverk för användningsområden som är beroende av uppkoppling, säkerhetsmässigt.

Dessutom kan funktionen *Network Slicing* tillämpas i nätet som tillåter operatörer att reservera eller begränsa bandbredd och kapacitet. Denna funktion kan bli mycket användbar för just självkörande fordon i ett kommersiellt skede även om det idag hindras av juridiska skäl. Ytterligare en egenskap hos 5G är spektrumdelning som möjliggör införandet av 5G på frekvenser som idag är reserverade för 4G.

Kommersiella aktörer anser att digital infrastruktur är en nödvändighet för att införa automatiserade godstransporter och prioriterar god täckning, stabil och säker uppkoppling med utlovad bandbredd samt pålitligt data både privat och offentligt. Andra avancerade tilläggstjänster är mer beroende av korrekt data än prestanda i nätverket. Respondenterna menar att valet av kommunikationsteknik (5G, 4G, ITS G5, etc.) är oväsentligt så länge ovanstående kriterier möts. Dock innebär olika kommunikationslösningar olika funktionalitet och därmed olika prestanda vilket man måste ta hänsyn till vid utbyggnation av digital infrastruktur.

Listan på digitala tjänster för autonoma godsfordon kan bli lång även om de flesta ännu befinner sig i testverksamhet med få fordon i låga hastigheter. De flesta tjänsterna idag behöver därmed inte den prestanda som kan uppnås med 5G. Detta kommer sannolikt ändras i framtiden eftersom fler fordon i högre hastigheter medför högre krav på nätverket än dagens testverksamhet. Den tjänst som säkerligen kräver 5G är fjärrstyrning av fordon, där kraven på säker uppkoppling och låg fördröjning är avgörande.

Förstudien visar att en fördröjning på omkring 100ms duger för i princip alla dagens digitala tjänster i testverksamhet i en hastighet på omkring 20-30km/h. Denna fördröjning uppnås med dagens 4G LTE nätverk, dock enbart för maximalt

en handfull fordon. 5G möjliggör här en kapacitetsökning som innebär att flertal fordon kan verka på sträckan på samma gång, samt i betydligt högre hastigheter.

Fordonstillverkare och mjukvaruleverantörer argumenterar att ett nätverk med bättre prestanda kan skapa förutsättningar för nya tjänster och kan därför påskynda utvecklingen av automatiserade fordon.

Operational Design Domain (ODD) beskriver egenskaperna för den trafikmiljö som krävs för att framförandet av självkörande fordon av en viss automatiseringsgrad ska vara möjlig. Det finns ett stort behov från kommersiella aktörer att definiera ODD för både fysiska och digitala åtgärder för att underlätta en implementation av automatiserade godsfordon. Detta är främst relevant i ett implementeringsskede då det med tiden kommer krävas allt mindre anpassningar av den fysiska infrastrukturen när tekniken närmar sig den högsta SAE nivån.

Utveckling av ODD baserat på typ av fordon samt hur 5G - eller andra tekniker - kan stödja införandet av nya tjänster blir därmed relevant inför den planerade demonstrationen med automatiserade godsfordon vid Northvolts nya batterifabrik i Skellefteå längs väg 372.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	4
1.1	Syfte och frågeställningar	5
1.2	Avgränsning och metod	6
2	Lokala förutsättningar vid Northvolts nya fabrik	7
3	Hur fungerar 5G?	8
3.1	Femte generationens mobila nätverk	8
3.2	Frekvensband – funktioner och nyttor	8
3.2.1	Lågfrekvensbanden (700MHz–2.6GHz)	9
3.2.2	Mellanfrekvensbanden (3.4–4.2GHz)	9
3.2.3	Högfrekvensbanden (26-31GHz)	10
3.2.4	Millimeterbanden (24 - 31GHz), (37–42.5 GHz), (70–80 GHz)	10
3.2.5	Jämförelse	10
3.3	Basstationer	12
3.3.1	Transmission	13
3.4	Uppladdning och nedladdning	14
3.5	Frekvenser har inga nationsgränser	14
3.6	Framtidens spektrum	15
3.7	Nyttor med 5G	15
3.8	5G vs. 4G	17
3.9	Alternativa lösningar för kommunikation	19
3.9.1	DSRC och ITS 5G	19
3.9.2	Meshnätverk (uppkopplingskedjor)	20
3.9.3	Externa sensorer i vägnätet	20
4	Digitala tjänster för automatiserade godstransporter	21
4.1	Digitala tjänster	21
4.2	Krav och önskemål på fysisk och digital infrastruktur	22
4.2.1	Digital infrastruktur	22
4.2.2	Fysisk infrastruktur	24
5	Fallstudie: Northvolt	25
5.1	Att bygga en basstation	25
5.2	Potentiell placering av basstationer längs väg 372	26
6	Fortsatt arbete	30

1 Inledning

Föreliggande rapport är en fristående fortsättning på Fol projekt Tvärförbindelse Södertörn som bedömde systemeffekter för självkörande fullängdsbussar genom tre scenarios bestående av olika fysiska och digitala åtgärder. Den generella slutsatsen från projektets inledande arbete är att tekniken helt enkelt inte är mogen idag för självkörande fullängdsbussar. Efter ett antal genomförda förstudier och demonstrationer i Sverige med självkörande fullstora bussar är det tydligt att de tekniska utmaningarna är mer svårlösta än förväntat. Det inledande arbetet uppskattar ett införande till omkring 2030.

Därmed skiftar projektet nu fokus från kollektivtrafik till godstransporter där det idag råder intensiv aktivitet. Teknikutvecklingen går framåt och flera fordonstillverkare gör nu strategiska tekniska vägval för sina produkter och utvecklar nya digitala tjänster för att möjliggöra självkörande godsfordon. Digitala tjänster inkluderar platooning, fjärrstyrning, digitala tvillingar och HD-kartor, för att nämna några. Industrin satsar enorma resurser för att inom snar framtid kunna introducera nya koncept, däribland Tesla, Volvo, Scania och Einride.

Trenden idag är att godstrafiken driver utvecklingen framåt vilket även är fördelaktigt för kollektivtrafiken då både självkörande bussar och godstransporter kommer att kunna använda gemensamma digitala tjänster, som exempelvis prioritet vid trafiksignaler.

Givet den bakgrunden fokuserar denna avslutande del i Fol projektet nu på godstransporter och bidrar med ny kunskap inför en planerad demonstration i Skellefteå på väg 372 vid Northvolts nya fabrik för elbatteritillverkning. Northvolt har etablerat samarbeten med fordonstillverkare som ska tillhandahålla självkörande lastbilar inför en pilot och där Northvolt tillhandahåller batterier. Batteriutvecklingen har skett oväntat snabbt de senaste åren och förväntas ha stor genomslagskraft i framtiden.

För att undersöka möjligheterna att genomföra en praktisk demonstration utreds därför både de fysiska och digitala förutsättningarna. Trafikverket har nyligen publicerat en rapport ("Grön transportkorridor - digitalisering väg 372 Bergsbyn-Skelleftehamn" som beskriver de fysiska förutsättningarna. En demonstration med självkörande godstransporter och nya digitala tjänster kräver även ett stabilt kommunikationsnätverk. Därför fokuserar denna avslutande del i Fol projektet på att undersöka nyttan och lämpligheten att implementera 5G längs väg 372.

I takt med att fordonstillverkare utvecklar alltmer automatiserade funktioner i moderna fordon ställs det högre krav på uppkoppling. Framtidens fordon kommer att behöva kommunicera med varandra och stora datamängder behöver samlas

in från varje enskilt fordon som stöd till automatiserade funktioner. Här spelar uppkoppling en nyckelroll. Exakt vilka uppkopplingskrav beror på automationsgrad, datainsamling och vilka typer av digitala tjänster som blir nödvändiga.

Generellt betraktas ökad trafiksäkerhet och minskad klimatpåverkan som de stora fördelarna med ökad automatisering. Automatiseringen skapar dessutom stor potential för industri och näringsliv att genom effektivisering av transporter erbjuda bättre tillgänglighet och i förlängningen även kostnadsreducering. Det är därmed naturligt att näringslivets intressen driver utvecklingen av självkörande fordon, i form av godsfordon som ett första steg.

Samtidigt som industrin driver den tekniska utvecklingen framåt måste myndigheter och väghållare skapa förutsättningarna för att sådana fordon ska fungera i verklig miljö. Idag är det tyvärr oklart exakt vilka förutsättningar som krävs, och därmed svårt att förverkliga dessa. Följaktligen ämnar denna förstudie öka förståelsen för avancerade fordons och tjänsters krav på den omgivande digitala infrastrukturen med fokus på 5G tekniken.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet är att bidra med kunskap om 5G tekniken, dess funktion och nytta, som sedan teoretiskt tillämpas i en fallstudie. Fallstudien syftar till att översiktligt beskriva lämpligheten med att etablera 5G längst väg 372 Skellefteå stad och Skelleftehamn – via Northvolts batterifabrik. Resultatet blir ett underlag för att möjliggöra nya avancerade digitala tjänster för automatiserade godstransporter.

Följande frågeställningar hanteras:

- Vilka är nyttorna med 5G och vad är skillnaden mot 4G LTE?
- Vilka kostnader är kopplade till implementation av 5G på väg 372 med hänsyn till de lokala förutsättningarna?
- Vilka tjänster prioriterar fordonstillverkare och deras mjukvaruleverantörer i dagsläget?
- Vilka förväntningar har mjukvaruleverantörer på den digitala infrastrukturen?
- Vilka krav har fordonstillverkarna och mjukvaruleverantörer på prestandan i den digitala infrastrukturen? När blir bli 5G en nödvändighet?

1.2 Avgränsning och metod

Förstudien omfattas av följande avgränsningar:

- Projektet fokuserar på nätverksbaserad 5G-teknik, även om andra tekniska kommunikationslösningar nämns i jämförelsesyfte.
- Studien begränsas till självkörande godstransporter och relaterade digitala tjänster.
- Fallstudien är geografiskt avgränsad till 15 km på väg 372 i Skellefteå.

Trots dessa begränsningar anses resultaten från denna studie vara användbara för andra automatiserade transportmedel och geografiska platser.

Som metod i projektet genomfördes en kartläggning för områdena telekommunikationsnätverk, digitala tjänster för fordon och 5G. Befintlig litteratur om 5G kopplat till autonom körning är bristfällig och studien övergick därför till en planerad intervjufras med experter i branschen. Intervjuerna utgör den primära datainsamlingen i denna förstudie och respondenterna presenteras i tabellerna nedan:

Tabell 1 Intervjudeltagare inom området 5G teknik

Intervjudeltagare	Bransch	Organisation och position
Bo Andersson	Myndighet	Post och Telestyrelsen, Ekonomichef & ordförande i "5G Working Group", Radio Spectrum Policy Group
Stefan Myhrberg	Telecom	Ericsson, Business Development Manager Connected Vehicles
Magnus Johansson	Konsult Telecom	Sweco, Telecom konsult på Telenor
Peter Dahlberg	Mobilnätsoperatör	Tre, Radio Systems Manager

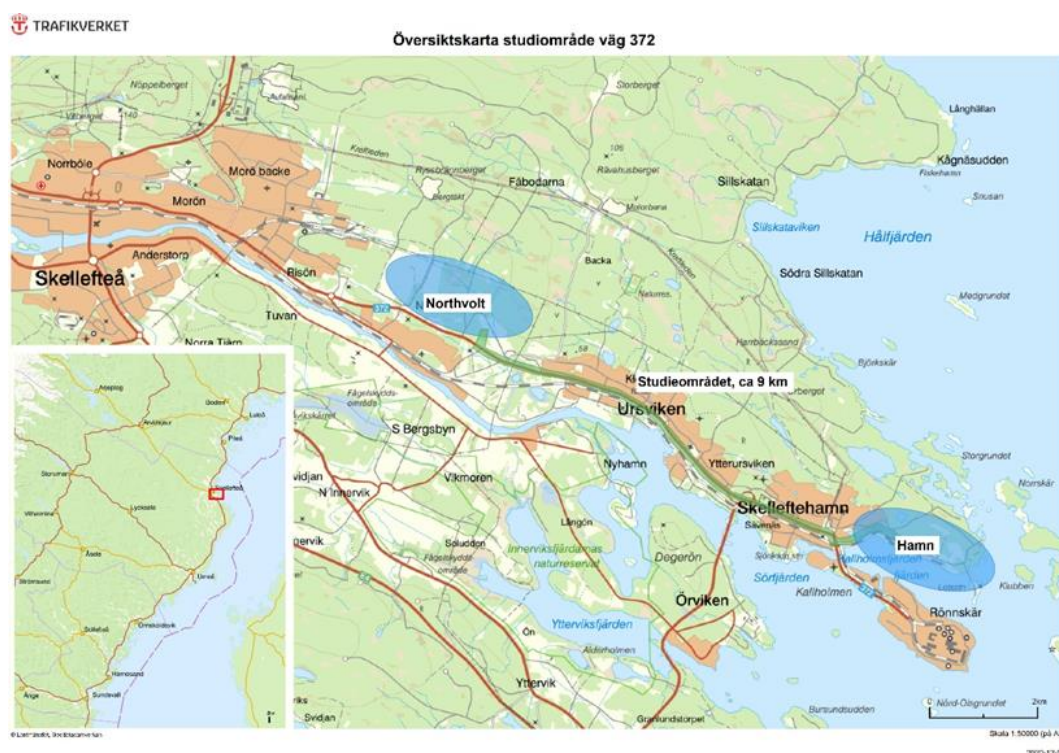
Tabell 2 Intervjudeltagare inom området digitala tjänster för fordon

Intervjudeltagare	Bransch	Organisation och position
Gunnar Tornmalm	Fordonstillverkare	Scania, Technology Leader Vehicle Automation
Stina Carlsson, Henrik Segesten	Fordonstillverkare	Volvo Car Corporation, Research Project Leader (Carlsson), System Architect (Segesten)
Andreas Allström	Teknikbolag, transportleverantör	Einride, Director of public funding and research collaborations
Rasmus Cornér	Mjukvaruleverantör	Wireless Car, Product manager
Erik Israelsson	Mjukvaruleverantör	Zenseact, Utvecklare

2 Lokala förutsättningar vid Northvolts nya fabrik

Sträckan på väg 372, mellan Skellefteå stad och Skelleftehamn är cirka 15 km lång (se kartbild i Figur 1 nedan). Vägen är en av Sveriges farligaste vägar och trafiksäkerhetshöjande åtgärder genomförs nu inom ramen för länstransportsplan 2018–2029. Vägen är utformad för transporter till och från hamnen samt industriverksamhet och årsmedeldygnstrafiken på vägen uppgår i max 7000 fordon per dygn. Skellefteå kommun bedömer att fordonstrafiken kommer att öka med 30–40% fram till 2030.¹

Northvolt AB etablerar en batterifabrik strax utanför Skellefteå stad som planeras vara klar år 2025 och kan skapa 3000 nya arbetstillfällen. Fabrikens placering förväntas öka transportbehovet till och från hamnen då Northvolt fraktar sina produkter till hamnen. Antalet godsfordon förväntas då uppgå i 80–100 lastbilar per dag. Dessutom planeras pilotförsök av autonoma godsfordon på sträckan 2023.²



Figur 1: Väg 372 Bergsbyn-Skelleftehamn.

¹ Ramström, Lena, *Grön transportkorridor: digitalisering väg 372*, Trafikverket, 2021

² Ramström, Lena, *Grön transportkorridor: digitalisering väg 372*, Trafikverket, 2021

3 Hur fungerar 5G?

3.1 Femte generationens mobila nätverk

Tekniken för 5G kallas ofta för digitaliseringens ryggrad och beskrivs som en förutsättning för bl.a. Sakernas Internet (Internet of Things, IoT, på engelska) automatiserade bilar och en hållbar ekonomisk tillväxt.³ 5G-tekniken utlovar mycket, varför länder och företag världen över tävlar om att erbjuda det trots att affärsmodellerna för 5G tekniken ännu inte sträcker sig längre än till mobilanvändare. Detta avsnitt förklarar begreppet 5G, vad det är, hur det fungerar och hur det skiljer sig från tidigare generationers mobila nätverk.

Inom telekommunikation används termen 5G som beteckning för femte generationens mobila nätverk, även kallat *cellulära nätverk*, som nätverksaktörer började distribuera globalt 2019. Liksom sin föregångare 4G, består 5G-nätet av ett antal basstationer som täcker ett visst område. Det område som täcks av en basstation kallas cell och för att täcka ett större område används flera celler. Varje basstation är knuten till andra noder i nätet, vilket möjliggör kommunikation mellan olika celler, genom det mobila nätverket.⁴

Kommunikation inom ett mobilt nätverk sker genom radiovågor, liknande de radiovågor som används för radio och TV. Enheter uppkopplade på ett sådant nätverk fungerar som både sändare och mottagare och kan därmed både skicka och ta emot information trådlöst med hjälp av radiovågorna som skickas från, eller mottages av, cellens basstation. Radiovågor rör sig genom luften med ljusets hastighet och dess frekvens uppmäts i enheten Hertz (Hz), antal vågor per sekund.⁵ Högre frekvenser implicerar alltså kortare våglängd, som är ett mått på avståndet mellan en våg och nästa. Våglängd och frekvens är alltså oskiljaktigt förenade – ju högre frekvens desto kortare våglängd.

3.2 Frekvensband – funktioner och nyttor

Eftersom radiofrekvenser är begränsade naturresurser har de flesta nationer en myndighet för att fördela och reglera tillstånd att använda frekvenser inom ett visst frekvensspektrum. Denna myndighet har även i uppgift att se till att det egna landets frekvenser används på ett effektivt sätt samt att koordinera användandet med angränsande nationer – dels för att sändare inte ska störa varandra men

³ Bjelvfénstam, Jonas, *Vägen till självkörande fordon – del 1*, SOU:2018:16, 2018.

⁴ Post- och Telestyrelsen (PTS), *Om mobila basstationer*

⁵ Strålsäkerhetsmyndigheten, *Mobilstrålning är radiovågor*, 2017

även för att enheter med radiosändare ska kunna användas i flera länder (t.ex. mobiltelefoner, TV-mottagare, etc.)⁶

I Sverige är det Post och Telestyrelsen (PTS) som är ansvarig myndighet för frekvensanvändandet och de verkar för att fördela frekvenser genom auktion. PTS möjliggör frekvenserna, som enligt EU-regering är teknikneutrala, sedan får aktörerna bestämma hur de vill använda dem. Dock är PTS skyldiga att agera i enlighet med spektrumpolicyn och fördela frekvenser där de gör störst samhällsekonomisk nytta.⁷

Radio Spectrum Policy Group (RSPG) verkar för att skapa EU standarder gällande radiofrekvenser, så att radiotekniken fungerar sömlöst över nationsgränserna. Denna grupp har beslutat att dela upp, eller kategorisera, radiofrekvenserna i olika s.k. frekvensband: lågfrekvensband, mellanfrekvensband och högfrekvensband (millimeterband). Denna standardisering är skapad för att tillgodose olika användningsområden av 5G.⁸

3.2.1 Lågfrekvensbanden (700MHz–2.6GHz)

Lågfrekvensbanden inom 5G har ett frekvensomfång som kan liknas vid 4G, omkring 700MHz. Enligt fysikens lagar kan lägre frekvenser, dvs. frekvenser med längre våglängd, färdas längre i rummet. Därmed har lågfrekvensband längst räckvidd och täckning, då radiovågorna kan färdas ostört genom materia som träd, väggar och betong. Däremot har de lägre frekvensomfånget begränsningar gällande datavolymer – kapacitet och bandbredd.⁹ Fördröjningen motsvarar under optimala förhållanden 7-8ms i lågfrekvensbanden.¹⁰

3.2.2 Mellanfrekvensbanden (3.4–4.2GHz)

Mellanfrekvensbanden, även kallat pionjärbanden, innefattar frekvenser omkring 3.4–3.8GHz och är användbara för de aktörer som behöver höga datavolymer. Räckvidden minskar med högre frekvenser alltså innebär mellanfrekvensbanden en kortare räckvidd än lågfrekvensbanden. Frekvenser i detta frekvensband kallas även mikrovågor på grund av dess korta våglängd.¹¹ Mellanfrekvensbanden uppnår samma fördröjning som lågfrekvensbanden, 7-8ms under optimala förhållanden.¹²

⁶ Intervju, Bo Andersson, PTS

⁷ Intervju, Bo Andersson, PTS

⁸ Intervju, Bo Andersson, PTS

⁹ Intervju, Bo Andersson, PTS

¹⁰ Intervju, Peter Dahlberg, Tre

¹¹ Intervju, Bo Andersson, PTS

¹² Intervju, Peter Dahlberg, Tre

3.2.3 Högfrekvensbanden (26-31GHz)

Högfrekvensbanden innebär frekvensomfång kring 26GHz i Europa och runt 28GHz i USA och har en extrem bandbredd och kapacitet. Dessa extremt höga frekvenser verkar med millimetervågor och ingår därmed i millimeterbanden. Dock innebär dessa höga frekvenser en begränsad räckvidd - vilket kräver många basstationer. Millimetervågorna kan även hindras eller blockeras av material i väggar eller fönster, av träd eller av suboptimala väderförhållanden (som blötsnö). Det är därmed en utmaning att bygga täckning med millimeterbanden då millimetervågorna endast kan färdas några hundra meter och hindras av byggnader, träd eller regn. Detta beror inte på 5G tekniken, utan är en konsekvens av millimetervågornas fysikaliska egenskaper.^{13, 14}

3.2.4 Millimeterbanden (24 - 31GHz), (37–42.5 GHz), (70–80 GHz)

De frekvensband som ingår i högfrekvensbandet (se 3.2.3) och ännu högre frekvensband samlas under begreppet millimeterband på grund av dess extremt korta våglängd. Dessa frekvensband inkluderar högfrekvensbanden (se 3.2.3), med extremt höga frekvensbanden (37–42.5 GHz) samt de så kallade 'E-banden' (70–80 GHz) etc. Millimetervågorna möjliggör den riktigt låga fördröjningen omkring millisekunder.¹⁵

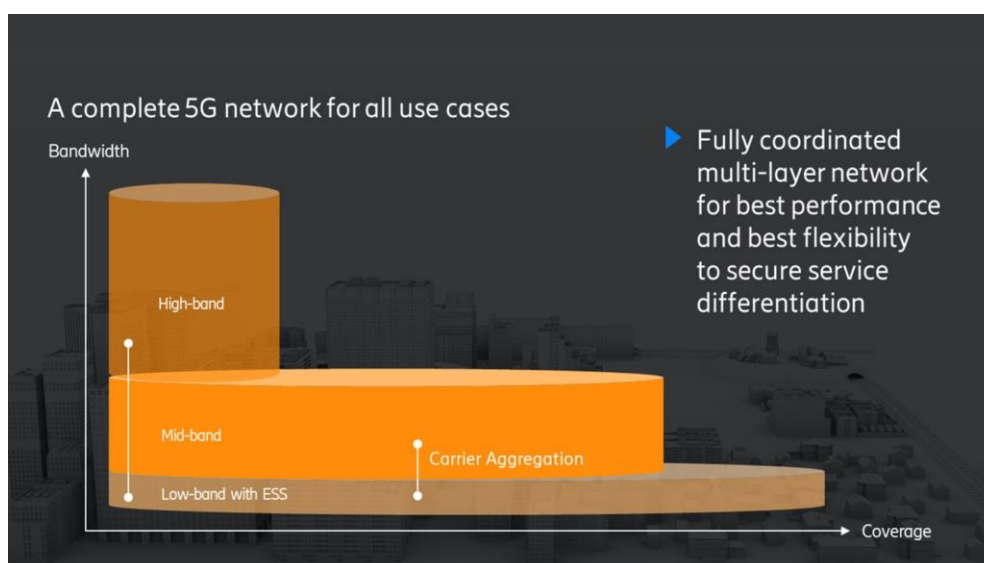
3.2.5 Jämförelse

Som beskrivet i respektive frekvensband finns det en koppling mellan ökad bandbredd och därmed kapacitet hos frekvenserna som resulterar i mindre räckvidd och täckning. Detta motsatsförhållande illustreras i Figur 2 nedan.

¹³ Intervju, Bo Andersson, PTS

¹⁴ Intervju, Peter Dahlberg, Tre

¹⁵ Intervju, Peter Dahlberg, Tre



Figur 2. Illustration av förhållandet mellan bandbredd och täckning hos de olika frekvensbanden.¹⁶

En nyhet med 5G är att företag och industrier har möjlighet att förvärva egen infrastruktur och tillåts köpa egna frekvenser för att implementera lokala 5G nätverk. Detta har PTS möjliggjort i och med de högre frekvensernas användningsområde samt dess kortare räckvidd som medför att frekvenserna är enklare att geografiskt begränsa.

Lågfrekvensbanden (700MHz-2.6GHz) används redan i tidigare generationers mobilnät varför dessa frekvenser redan är fördelade och används av mobiloperatörer i 4G nätet. Tillgången på tillgängliga frekvenser i lågfrekvensbanden är därför nästintill obefintlig.¹⁷ Frekvenserna från och med mellanfrekvensbanden (3.4–4.2GHz) är nya för 5G tekniken (därav kallas de även pionjärbanden) och dessa tillgängliggörs därmed kontinuerligt. Däremot är de högre frekvensbanden ännu inte tillgängliga. PTS möjliggjorde 3.4–3.8GHz-bandet den 31 oktober 2020, och till den 30 juni 2023 kommer de dessutom tillgängliggöra 3.8–4.2GHz bandet samt millimeterbanden. PTS har för intention att tilldela lokala tillstånd i frekvensutrymmet 3.72–3.8GHz.¹⁸ Om man vill ha tillgång till frekvenser för privat bruk måste man alltså upp till pionjärbandet eller högre.

¹⁶ Ericsson, *Ericsson Spectrum Sharing (ESS)*

¹⁷ Intervju, Magnus Johansson, Sweco/Telenor

¹⁸ Spektrumplan, PTS, <https://www.pts.se/sv/bransch/radio/5g/spektrumplan-5g-tester/>

Bilden nedan sammanfattar de olika frekvensbanden: dess användning; dess fördelningsintervall (dvs. hur stort frekvensintervall som tilldelas en aktör inom bandet); hur mycket av frekvensbandet som är tillgängligt (dvs. inte redan tilldelat/utropat) samt; maximal räckviddsradie för frekvensbandet i fråga.

Main spectrum bands	700MHz–2.6GHz	3.5GHz, 5GHz	27.5–31GHz ('28GHz')	37–42.5GHz ('39 GHz')	70–80GHz ('E-band')
Usage	Traditional mobile bands	New bands to be released for 5G			
			mmWave		
Multiples of assignments	Tens of MHz		100s of MHz		
Amount available	<1GHz		45GHz		
Maximum cell radii	Tens of kilometers	~1km	Tens to hundreds of meters, depending on LoS		

Source: Analysis Mason Study

Figur 3. Frekvensbandens egenskaper: användning, fördelningsintervall, tillgänglighet och räckvidd i radie. De tre frekvensbanden längst till höger går under samlingsnamnet millimeterbanden.

3.3 Basstationer

En basstation består av en sändare, mottagare och antenn. Således kan basstationen sända och ta emot radiovågor till och från mobila enheter uppkopplade på det mobila nätverket inom basstationens täckningsområde. För implementering av 5G i Sverige planeras i första hand återanvändning av redan befintlig infrastruktur för mobilnät, det vill säga existerande sändarplatser på tak och i master/torn. På längre sikt kommer antagligen fler nya sändarplatser behöva etableras för att förtäta näten och därmed möjliggöra ytterligare kapacitet.¹⁹

Varje enskild basstation är beroende av ett nätverk andra basstationer, antingen i en kedjestruktur eller som ett stjärnnätverk, för att kunna kommunicera till en annan basstation eller central nätverksnod. Denna förbindelse bakåt i nätet, så kallad *transmissionsledning*, är nödvändig för att överföra information från en cell till en annan och kräver att el och fiber är framdragen till basstationen. Det är denna förbindelse som möjliggör kommunikation mellan olika celler i cellulärt nätverk.

¹⁹ Ramström, Lena, *Grön transportkorridor: digitalisering väg 372*, Trafikverket, 2021

Avståndet mellan basstationerna i ett nätverk beror på vilket frekvensband som planeras att tillämpas, eftersom de olika frekvensbanden har olika räckvidd, samt de lokala förutsättningarna.

I 5G nätet kan man arbeta med *redundans*, alltså någon slags säkerhet i nätet. Ett cellulärt nätverk är ju beroende av transmission och el för att fungera, varför man i viktigare och större noder bygger redundans för detta. Hur man jobbar med redundans i nät varierar vilket ändamål nätet har. Är det extremt viktigt att alltid ha täckning – då bygger man basstationer som överlappar täckningsområde, är det viktigt att ingen basstation någonsin går ner – då bygger man dubbla el- och transmissionsledningar.^{20, 21}

I 5G, precis som i 4G nätet, kommunicerar en enhet endast med en basstation, nämligen den starkaste basstationen inom täckningsområdet. 3G hade en arkitektur som gjorde att en enhet kunde koppla till 3 basstationer, men detta byggdes alltså bort i modernare mobilnät av effektivitetsskäl.²²

3.3.1 Transmission

De högre frekvenserna (>26MHz) som introduceras i samband med 5G mobila nätverk möjliggör trådlös transmission via så kallad *Fixed Wireless Access (FWA)*, eller *radiolänk* på svenska. I och med den enorma kapaciteten i de högre frekvensbanden skapar man en fast radiolänk - en stråle - mellan två basstationer som fungerar som en alternativ transmissionsledning. Detta innebär i praktiken att FWA kan ersätta fiber, vilket ger en mer kostnadseffektiv lösning då man slipper arbetet att gräva fiber till varje basstation. En radiolänkförbindelse har en räckvidd på maximalt en mil under optimala förhållanden men betydligt mindre i de flesta fall. Antennerna måste i princip vara inom siktlinje utan föremål emellan för att detta ska fungera.

Att dra ut fiber till basstationerna är idag det vanligaste sättet för transmission trots att radiostrålning är mest kostnadseffektivt. Dock är FWA stort i USA där man har sämre fiberutbyggnad. I framtiden kommer vi antagligen se hybridlösningar eftersom fiber är en säkrare lösning i och med att det ger en stabilare uppkoppling men att man kan använda FWA dit man inte kommer åt med fiber.^{23, 24, 25}

²⁰ Intervju Peter Dahlberg, Tre

²¹ Intervju Magnus Johansson, Sweco/Telenor

²² Intervju Magnus Johansson, Sweco/Telenor

²³ Intervju Bo Andersson, PTS

²⁴ Intervju Peter Dahlberg, Tre

3.4 Uppladdning och nedladdning

Inom 5G tekniken används samma frekvens för både uppladdning och nedladdning, där fördelningen är tidsbaserad. Detta innebär att nätet har som standard att ladda ner data, data från nät till en enhet, 80% av tiden, medan endast 20% används för att ladda upp, data från en enhet till nätet. Denna funktion är viktig att beakta, då man kan bygga till mer upplänk på nätet genom att öka antal sändare och mottagare på basstationen – dock på bekostnad av räckvidden. 5G nätet är alltså nedlänksorienterat, eftersom nätet är effektiviserat genom att prioritera nedladdning primärt. Därmed är det av stor vikt att klarlägga relativt exakta kommunikationskrav innan man bygger ett nät.

I ett 5G nät som verkar på mellanfrekvensbanden (~3.5MHz) har ungefär 100Mbit/s i nedlänk och 0.5Mbit/s i upplänk vilket ger en räckvidd på cirka 2.5km. Om man skulle bygga om nätet att klara 50 Mbit i upplänk skulle detta innebära en räckvidd på 170-200m i samma band. I jämförelsesyfte streamar en 4K video i 15-25Mbit/s.

3.5 Frekvenser har inga nationsgränser

PTS verkar för att fördela frekvenser inom Sverige och denna fördelning ser lite olika ut beroende på behov och nytta. Fördelning av frekvenser till operatörer, samt hur infrastrukturen byggs och används, ser olika ut i olika länder. För att undvika frekvensstörningar måste man dels samverka länder emellan, men även operatörer emellan. PTS samverkar med systemmyndigheter i grannländer för att komma överens om frekvensgränser. De frekvenser som delas ut av PTS har dämpningskrav, alltså krav på att radiovågorna ska upphöra. Sådana begränsningar finns alltså för att radiovågorna inte ska störa varandra, operatörer och nationer emellan.²⁶

Frekvenserna fördelas geografiskt olika beroende på efterfrågan i syfte att maximera nyttan av varje frekvens. De frekvenser som sålts (låg- och mediumfrekvensbanden) gäller nationellt. Det innebär att den operatör som köpt en frekvens har rätt att verka på denna frekvens över hela landet. Gällande högre frekvenser diskuteras den geografiska begränsningen fortfarande. I och med dess korta räckvidd och (idag) specifika användningsområden kan dessa komma att säljas för lokala ändamål. Det innebär i förlängningen att samma frekvens kan användas på ett vägområde utanför staden, samt i den mest tätbefolkade delen av staden, utan att de stör varandra eller ens distribueras av samma operatör.

²⁵ Intervju Magnus Johansson, Sweco/Telenor

²⁶ Intervju, Bo Andersson, PTS

Denna lösning verkar just nu tillföra mest nytta men inget beslut i frågan är ännu fattat.²⁷

3.6 Framtidens spektrum

Spektrum är en begränsad naturresurs och det finns därmed ett ändligt antal frekvenser. 5G tekniken har skapat användning för extremt höga frekvenser som tidigare inte använts i detta syfte, eftersom bandbredden inte behövts tidigare. Det har inte, och finns ännu inte, affärsmodeller som stödjer de högsta frekvenserna som nu utreds – men det finns planer på att dessa kommer främja tjänster och produkter som kräver extrema datamängder och hastigheter. Just nu utreder PTS frekvensband över 70GHz (som ska auktioneras i Sverige innan 30 juni 2023) och vilken utrustning samt vilka användningsområden som finns för dessa. Mot denna bakgrund kan det tyckas svårt att motivera kommande generationers cellulära nätverk och dess förbättringar.²⁸

I diskussioner kring olika generationers mobilnät gäller det att skilja frekvenser och cellulära nätverk åt. Ett mobilnät verkar genom frekvenser, men ett mobilnät är inte dess frekvenser. Detta innebär att mobilnätet i sig kan förbättras rent tekniskt i och med ett generationsbyte och sedan verka på samma frekvenser som tidigare generationers mobilnät, men med nya egenskaper och funktioner. Lågfrekvensbandet inom 5G kan använda samma frekvenser som 4G använt sig av, till exempel, och förvärva de fördelar som tekniken innebär.²⁹

Det inte farligt med ännu högre, eller lägre, frekvenser än de som finns idag. Det är nämligen effekten som avgör om frekvenserna är farliga, alltså om frekvenserna kan vara skadliga för människor, eller ej. I enlighet med detta kommer frekvenserna att öka så länge det är möjligt men kommande generationer mobilnät kommer framförallt handla om mer kapacitet och bandbredd. Dessutom blir nätet mer hållbart och energieffektivt för varje generation, vilket i sig är en anledning att fortsätta mot nya generationers cellulära nätverk. Framförallt finns det höjd för det som vi ännu inte har affärsmodeller för – låg fördröjning och hög kapacitet.³⁰

3.7 Nyttor med 5G

5G som teknik möjliggör extremt många olika saker som kan vara värdefullt redan nu men framförallt i framtiden - i synnerhet större bandbredd och mer

²⁷ Intervju, Bo Andersson, PTS

²⁸ Intervju, Bo Andersson, PTS

²⁹ Intervju, Bo Andersson, PTS

³⁰ Intervju, Bo Andersson, PTS

kapacitet. Detta bidrar till ett nät med högre hastighet, eftersom högre frekvenser resulterar i högre datahastighet, mer kapacitet och lägre fördröjning. Dock innebär en högre frekvens ett kortare brukbart fysiskt område, vilket kräver mindre geografiska celler och därmed tätare basstationsinfrastruktur.

5G innebär även en säkrare uppkoppling än vad WiFi har idag, vilket kan ha många användningsområden för teknik som kräver en stabil och säker uppkoppling. Ytterligare en fördel med 5G tekniken är dess extremt låga fördröjning, så kallade *latens*.³¹ Latens innebär fördröjningen i överföringen av data från sändare till mottagare och är, till skillnad från många andra egenskaper, teknikberoende istället för frekvensberoende. Således förbättras fördröjningen i och med implementation av 5G tekniken (se 3.8 för jämförelse av fördröjning mellan 4G och 5G).

Fördröjningen sägs vara kritisk för utvecklingen av fullt självkörande bilar vars digitala tjänster förväntas generera stora mängder data som behöver ageras på direkt, helst i realtid, av säkerhetsskäl (exempelvis inom fjärrstyrningstjänster). Ovan nämnda egenskaper är identifierade som ett nytt användningsområde och ingår i en 5G standard för att tillgodose nya tjänster med hårda krav på just fördröjning och tillförlitlighet. Användningsområdet kallas *Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC)* och är ett av flera användningsområden framställt av 3GPP*. URLLC kan dock inte realiseras till dess att millimeterbanden tillgängliggörs.

Telekomaktörer har även utvecklat *Network Slicing*. Network Slicing är inte teknikberoende och kan därmed nyttjas såväl i 4G, som i 5G nätverk. Tekniken tillåter operatörer att reservera bandbredd och kapacitet till vissa enheter, en s.k. *slice* av nätverket. Denna funktion kan komma att bli mycket användbar, om inte ett krav, för just självkörande fordon i ett kommersiellt skede. Ett cellulärt nätverk innebär ju att alla enheter inom en cell är uppkopplade på samma nätverk. Praktiskt innebär detta att telefoner/andra uppkopplade enheter kan utnyttja extremt mycket uppkoppling (till exempel genom att streama videos i hög kvalitet eller spela online spel i realtid), så att det inte finns tillräckligt med uppkoppling till de fordon som är verksamma i samma cell. Syftet kan även inverteras – att man

³¹ Intervju, Bo Andersson, PTS

* 3GPP är en akronym för 3rd Generation Partnership Project som är telekombranschens samarbetsorganisation. 3GPP ansvarar för vilka krav som ska ingå i en mobilstandard, samt hur en standard ska utvecklas och underhållas

reserverar en viss kapacitet för att begränsa en tjänst som brukar för mycket data.^{32, 33} Network Slicing ger bättre Quality of Service (QoS) i nätet.

Ericsson utvecklar en tjänst för hur fordonstillverkare och tjänsteleverantörer i framtiden ska kunna köpa ett premiumabonnemang där man mot en avgift får en garanterad bandbredd och fördröjning. Nätverksoperatörerna har däremot inte köpt Network Slicing som en tjänst av Ericsson ännu och tekniken är därför inte i drift. Enligt EU lagstiftning har alla telekomoperatörer en skyldighet erbjuda alla enheter lika bra uppkoppling, och Network Slicing tekniken hindras av dessa juridiska utmaningar.³⁴

Vad OEM:er vill ha istället, om Network Slice inte går att köpa, är ett verktyg för att kunna övervaka och förutsäga uppkopplingen så att man har säker information om kapaciteten under dygnet.³⁵

Ytterligare en viktig egenskap hos 5G är *Spectrum Sharing*, eller spektrumdelning på svenska. Tekniken utvecklades av Ericsson (då kallat Ericsson Spectrum Sharing – ESS) men ingår numer i 3GPPs 5G standard. Spektrumdelning innebär att spektrum kan delas dynamiskt mellan 4G och 5G vilket kan underlätta i övergången till 5G. Detta är användbart eftersom 5G kan lanseras på frekvenser som idag är reserverade för 4G.

Till skillnad från tidigare generationers nätverk, som är väldigt centraliserade i sin teknik (all data går igenom en och samma central nod), har 5G en decentraliserad struktur – vilket är det som möjliggör millisekundsfördröjning. Denna lösning kallas *Mobile Edge Computing*.

3.8 5G vs. 4G

Skillnaden i teknik mellan 4G och 5G är inte revolutionerande menar respondenterna. De största innovationerna kopplade till den nya generationen mobilnät är dess förmåga att få ut data snabbt till slutanvändaren, minskad fördröjning, energieffektivitet samt trafikkapaciteten (se Figur 4). Fördröjningen i ett 4G nätverk går uppemot 40ms under normala förhållanden men kan i bästa

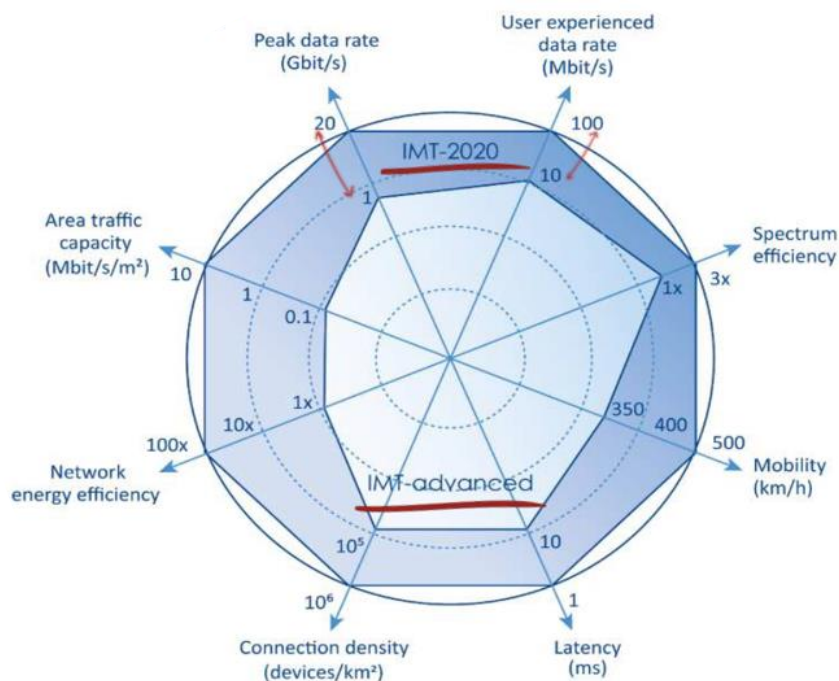
³² Intervju Magnus Johansson, Sweco/Telenor

³³ Intervju Stefan Myhrberg, Ericsson

³⁴ Intervju Stefan Myhrberg, Ericsson

³⁵ Intervju Stefan Myhrberg, Ericsson

fall ligga runt 14-20ms. I 5G nätet är fördröjningen i bästa fall 7-8ms i låg- och mellanfrekvensbanden, men kan komma uppemot 1ms i millimeterbanden.³⁶



Figur 4 Prestandajämförelse mellan 4G LTE och 5G teknik. Det inre nätet, IMT-advanced, motsvarar dagens 4G medan det yttre, IMT-2020, motsvarar 5G.

Figuren illustrerar en prestandamässig jämförelse mellan 4G LTE och 5G utifrån specifika KPI värden. Begreppet *User experience data rate (Mbit/s)* motsvarar ett snitt för den enskilde användarens datakapacitet, medan *Peak data rates (Gbit/s)* är den absoluta maxkapaciteten som kan uppnås (detta kan ske om en enskild enhet utnyttjar kapaciteten på en hel basstation). *Connection density (devices/km²)* anger hur många enheter som kan vara uppkopplade per kvadratkilometer och kommer till nytta i områden när många vistas och använder nätet samtidigt, såsom i en storstadskärna, på en konsert eller på ett fotbollsstadium. Denna relaterar till viss del till *Area traffic capacity (Mbits/s/m²)* som istället anger trafikkapaciteten per kvadratmeter i nätet. *Mobility (km/h)*

³⁶Intervju, Peter Dahlberg, Tre

anger hastigheten en enhet kan röra sig och upprätthålla en uppkoppling till ett cellulärt nätverk.³⁷

3.9 Alternativa lösningar för kommunikation

3.9.1 DSRC och ITS 5G

En teknik som delvis konkurrerar med 5G gällande kommunikation i transportsystem är IEEE 802.11p. Denna bygger på samma standardbas som WLAN/WiFi/IEEE 802.11, men har utvecklats för att klara kraven inom ITS och kallas i Europa för ITS G5, standardiseras av ETSI och använder frekvensen 5,9 GHz.

Som bas för det då tämligen nya verksamhetsområdet C-ITS definierades ett antal standardiserade datameddelanden till grund för kommande tekniker/tjänster där fordon och infrastruktur kommunicerar och samverkar. Detta gjordes av standardiseringsorganisationen Society of Automotive Engineers SAE och sammanställdes i standarden J2735, under namnet "Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary". Den första versionen utkom 2006.

Meddelandena var tänkta att kunna utbytas snabbt fordon-till-fordon (V2V) eller fordon-till-infrastruktur (V2I) och användas för diverse tjänster, bl. a säkerhetsrelaterade där det krävs låg fördröjning. Den rådande telekomteknik under denna tid innebar inte så korta överföringstider som önskades varför den samtidigt utvecklade ITS G5. ITS G5 är i sin utformning gjord för att kommunicera på korta avstånd, s.k. korthållskommunikation.

ITS G5 har, när denna rapport skrivs, ännu inte implementerats i större volymer och med åren har telekomtekniken utvecklats och antas kunna konkurrera med ITS G5 i överföringshastighet. Speciellt gäller detta 5G.

Det är viktigt att hålla isär datat som definieras i J2735 från bäraren/kommunikationskanalen ITS G5. Från början var meddelande och kommunikationskanal tätt sammanknutna. Men meddelandena kan transporteras med såväl långhålls- som korthållskommunikation (ITS G5 eller C-V2X). Hur långt utvecklingen har kommit när det gäller enheter som kan hantera C-V2X är inte kartlagt inom ramen för detta projekt.

³⁷ Intervju Magnus Johansson, Sweco/Telenor

3.9.2 Meshnätverk (uppkopplingskedjor)

Ett *Meshnätverk* är ett lokalt nätverk där varje nod har en förbindelse till så många andra noder som möjligt, en s.k. *meshtopologi* eller uppkopplingskedja. Ett helt sammankopplat meshnätverk syftar till ett nätverk där alla noder är förbundna med varandra. På detta sätt skapar man ett säkert nätverk eftersom ingen nod är beroende av någon annan.³⁸

Ett meshnätverk resulterar i bra täckning och är extremt skalbara, det är lätt att koppla på fler noder. Ett meshnätverk innebär dock större arbetsbelastning för varje nod eftersom de har två uppgifter, fungera som en router och skicka meddelanden vidare till nästa nod. Detta innebär att nätverket blir mer komplext för varje nod som tillkommer, och detta i sin tur skapar ännu mer belastning på varje nod. Att öka nätverkets räckvidd kan därför innebära stora konsekvenser. Ett meshnät som upptar ett stort område kan även ha fördröjningsproblem. Varje nod har en hög energiförbrukning – vilket kan innebära en stor kostnad i stora meshnätverk. Dessutom krävs mycket hårdvara och meshnät anses dyra att implementera.^{39, 40}

3.9.3 Externa sensorer i vägnätet

Ericsson har undersökt konceptet att upprätta kameror och externa sensorer i vägnätet, vilket har genererat intressanta resultat enligt dem. Genom användningen av externa sensorer uppnår man nämligen V2X ("fordon-till-allting") funktionen 20 år tidigare än vad som är möjligt om man endast sätter kameror och sensorer på bilarna. Dessa externa sensorer kan nämligen detektera andra (icke-uppkopplade) fordon, cyklisterna och fotgängares positionering och därmed få kännedom om dess existens innan fordonet själv kan upptäcka det. På detta sätt kan fordon få en helhetsbild av omgivningen i realtid, hela tiden.⁴¹

En funktionalitet som diskuteras mycket inom självkörande fordonsteknik är "Augmented Reality" (AR) som man vill tillämpa för att se hela trafiksituationen, istället för bara vägen som visas av HD kartan, när man använder fjärrstyrning. AR tillåter fjärrförare (de som kör ett förarlöst fordon genom fjärrstyrning) att se vad som händer i en trafiksituation, i realtid, tex andra fordons position. På detta sätt kan sensorer i vägsystemet påskynda tillämpningen och därmed utvecklingen av självkörande fordon.⁴²

³⁸ Wikipedia, *Mesh Networking*

³⁹ Get Internet, *What is a Mesh Network?*, 2020

⁴⁰ Wave Direct, *The Future of Networking*, 2019

⁴¹ Intervju Stefan Myhrberg, Ericsson

⁴² Intervju Stefan Myhrberg, Ericsson

4 Digitala tjänster för automatiserade godstransporter

Detta kapitel beskriver vilka digitala tjänster som kan levereras från tillverkare av fordon (OEM) eller företag som levererar mjukvara för installation i fordonet eller till dess ansluta system.

4.1 Digitala tjänster

I intervjuerna har respondenterna svarat följande frågor:

- Vilka digitala tjänster prioriterar ni, vilka kommer ni att leverera/ och i vilken ordning?
- Vilka krav ställer detta på den digitala infrastrukturen?
- Vad är er syn på 5G och vilka tjänster kräver detta?

Respondenterna har resonerat kring när olika nivåer enligt SAE skalan kan bli möjliga. Att nå högre nivåer kräver utveckling av såväl fordonets teknik som den omgivande fysiska och digitala infrastrukturen. Nedan är utdrag från intervjuerna:

- Första implementation av autonom körning blir på avgränsade områden. Sådana tjänster finns redan i kommersiell drift.^{43, 44}
- En tidig tillämpning för autonom körning är mellan logistikcentraler (hub-to-hub).⁴⁵
- Autonom körning kommer implementeras stegvis allteftersom tekniken i fordonet utvecklas. Detta kan påskyndas genom förbättringar i trafikmiljön.⁴⁶
- Någon typ av trafikledning kommer krävas.⁴⁷

Andra tjänster i samband med självkörande fordon och närmast till implementation är Emergency Vehicle Approaching och Hazardous Location Warning. Det förutsätter dock att finns tillgängligt i gällande standards.⁴⁸ Givet standardiserat data kan även Green Light Optimal Speed Advisory och Time-to-Green bli tillgängliga.⁴⁹ De nämnda tjänsterna är C-ITS-tjänster som finns definierade i de EU-harmoniserade specifikationer som ges ut av C-Roads.

⁴³ Intervju, Andreas Allström, Einride

⁴⁴ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁴⁵ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁴⁶ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁴⁷ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁴⁸ Intervju Stina Carlsson och Henrik Segesten, Volvo Car Corporation

⁴⁹ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

För tjänster som platooning är korthållskommunikation (fordon-till-fordon, V2V) tillräcklig och kräver ingen infrastruktur utöver vad som installerats i fordonen.⁵⁰

Det finns idéer om att utveckla tjänster för att underlätta ägande av elbilar genom att ge fordonsägaren information om befintlig laddinfrastruktur. Dock saknas det såväl standarder för dataformat som accesspunkt där sådan data kan hämtas. Sådan data borde finnas i en nationell dataaccesspunkt, exempelvis NordicWay:s Interchange Node-struktur.⁵¹

Fjärrstyrning är en tjänst där en säkerhetsförare tar över körningen av ett eller flera fordon enligt SAE 4:s högsta nivå från vägsidan. Det kan ske vid riskfyllda situationer, tex en operatör i en trafikledningscentral. Sådan styrning kräver 5G, i övrigt är den prestanda som kan uppnås med 5G för närvarande inte nödvändig (Scania). Om en operatör behöver ingripa kommer ett kommando skickas ut till fordonet som själv får lösa uppgiften. Som alternativ till fjärrstyrning kan fordonet istället köra åt sidan, stanna och analysera situationen och därefter ta beslut om korrekt åtgärd.

För att möjliggöra fjärrstyrning behöver den digitala infrastrukturen klara av: många simultana fordon; ha nära 100 % driftsäkerhet, samt; ge maximal tid på ca 100ms från säkerhetsförarens rörelse till utslag på hjulet.⁵²

4.2 Krav och önskemål på fysisk och digital infrastruktur

Ganska omgående i intervjuerna har Operational Design Domain⁵³ (ODD) kommit upp. ODD är en beskrivning av egenskaperna för den trafikmiljö som krävs för att självkörande fordon av en viss automatisering grad enligt SAE ska vara möjlig. För full autonomi enligt SAE-nivå 5 krävs ingen definierad ODD eftersom denna nivå skall klara alla upptänkliga trafikmiljöer. Däremot blir det relevant för SAE nivå 1–4. Flertalet av respondenterna anser att trafikmiljön ska anpassas så att trafikmiljön kan utgöra ODD för deras fordon. Nedan följer exempel på anpassningar för både den digitala och fysiska infrastrukturen.

4.2.1 Digital infrastruktur

Flera anger liknande krav på den digitala infrastrukturen:

⁵⁰ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁵¹ Intervju, Rasmus Cornér, Wireless Car

⁵² Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁵³ Siddhartha Khastgir, The Curious Case of Operational Design Domain, 2020, <https://medium.com/@siddkhastgir/the-curious-case-of-operational-design-domain-what-it-is-and-is-not-e0180b92a3ae>

- Uppkoppling krävs för att ha en uppdaterad karta och generellt för att kunna leverera olika tjänster.^{54, 55}
- En god täckning är viktigare än hög bandbredd.^{56, 57, 58}
- Det behövs ett digitaliserat regelverk för regler som inte syns på skyltar, t.ex. väjning och hur föraren ska bete sig kring utryckningsfordon.⁵⁹
- Det behövs en korrekt spegling av den synliga verkligheten, s.k. "digital tvilling".⁶⁰
- Trafiksignaldata bör ingå i det digitala kartmaterialet.⁶¹
- Prestandakraven i nätverket kommer variera utefter sträckans längd. Detta delvis kopplat till vilken nivå av autonomi som ODD:n kan ge stöd för på den aktuella sträckan, för det aktuella fordonet.⁶²
- Diskrepans mellan data och verklighet måste hanteras. Detta avgör om kraven för att utgöra ODD uppfylls eller ej för det aktuella fordonet.
- Redundans är viktigt för säkerhetsrelaterade funktioner i fordon, men även för kommunikationen.⁶³
- Roaming är viktigt för att inte tappa uppkoppling vid landsgränser. Det tycks finnas affärsmodeller och regler som hindrar detta mer än tekniken.⁶⁴
- Vilken kommunikationsteknik (4G, 5G, ITS G5) som används spelar ingen roll, det är datat som är intressant.⁶⁵
- Det är viktigt att utveckla data och tjänster innan 5G finns på plats.^{66, 67}
- ITS G5 kan användas för tidskritiska applikationer.⁶⁸

⁵⁴ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁵⁵ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁵⁶ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁵⁷ Intervju, Rasmus Cornér, Wireless Car

⁵⁸ Intervju Stina Carlsson och Henrik Segesten, Volvo Car Corporation

⁵⁹ Intervju Stina Carlsson och Henrik Segesten, Volvo Car Corporation

⁶⁰ Intervju Stina Carlsson och Henrik Segesten, Volvo Car Corporation

⁶¹ Intervju Stina Carlsson och Henrik Segesten, Volvo Car Corporation

⁶² Intervju, Andreas Allström, Einride

⁶³ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁶⁴ Intervju Stina Carlsson och Henrik Segesten, Volvo Car Corporation

⁶⁵ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁶⁶ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁶⁷ Intervju Stina Carlsson och Henrik Segesten, Volvo Car Corporation

Flera respondenter anger att dagens bandbredds- och datamängdskrav uppfylls av 4G. Dock förutspås att tjänster, tex fjärrstyrning ⁶⁹, kommer att kräva mer data framöver, vilket kan leda till att 5G blir nödvändigt.^{70, 71, 72}

4.2.2 Fysisk infrastruktur

Krav och önskemål på den fysiska infrastrukturen relaterar främst till trafikmiljön och kan bidra till att en vägsträcka kan utgöra ODD:

- Eget körfält är den högsta nivån på önskemål.⁷³
- Motorväg är en enkel miljö för autonomt fordon.⁷⁴
- Planskilt och mötesfritt är stor fördel.⁷⁵
- De flesta ODD kräver idag låga hastigheter.⁷⁶
- Definition och mätmetod för vägkvalitet är önskvärt och bråttom.⁷⁷

Likformighet, förutsägbarhet och tydlighet är viktigt, till exempel att vägmarkeringar behöver vara tydliga.⁷⁸ På- och avfarter behöver designas så att de ser likadana ut överallt.⁷⁹ Reflexmarkeringar för att markera vägkanten är en annan tänkbar lösning.

Autonom körning utförs huvudsakligen lokalt i fordonet och kräver ingen kommunikation, men vägsidesutrustning av typen "fyrar" skulle kunna leverera förbättrade data för navigering.⁸⁰ Tekniken LPWAN⁸¹ kan användas för att på ett enkelt och billigt sätt upprätta kommunikation från vägsidesutrustning såsom sensorer och liknande.⁸² En avslutande spaning är att det med tiden kommer krävas mindre och mindre anpassningar av den fysiska infrastrukturen då tekniken närmar sig den högsta SAE nivån.⁸³

⁶⁸ Intervju Stina Carlsson och Henrik Segesten, Volvo Car Corporation

⁶⁹ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁷⁰ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁷¹ Intervju, Rasmus Cornér, Wireless Car

⁷² Intervju, Andreas Allström, Einride

⁷³ Intervju, Andreas Allström, Einride

⁷⁴ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁷⁵ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁷⁶ Intervju, Andreas Allström, Einride

⁷⁷ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁷⁸ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁷⁹ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁸⁰ Intervju, Erik Israelsson, Zenseact

⁸¹ Wikipedia, *LPWAN*, <https://en.wikipedia.org/wiki/LPWAN>

⁸² Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

⁸³ Intervju, Gunnar Tornmalm, Scania

5 Fallstudie: Northvolt

Kartläggning av de lokala förutsättningarna på den utsedda sträckan på väg 372, mellan Skellefteå hamn och Skellefteå stad via Northvolts batterifabrik visar att det finns fullgod 4G-täckning på sträckan. Däremot är det omöjligt att avgöra hur robust denna täckning är och vilken kapacitet det befintliga nätet har utan att genomföra vidare utredningar och platsbesök på vägsträckningen.

Intervjustudien påvisar att en robust 4G täckning verkar vara tillräcklig för de digitala tjänster som är funktionella *idag* (obs, dessa tjänster används enbart i testverksamhet med låga hastigheter och få fordon) men att det dessvärre inte är skalbart. Undersökningen visar även på intressanta nyttor med 5G tekniken som många tror kommer vara avgörande för den tekniska utvecklingen. Denna sektion syftar därför reda ut praktiska åligganden som är kopplade till implementation av 5G på sträckan med hänsyn till de lokala förutsättningarna.

5.1 Att bygga en basstation

För att bygga ett 5G nätverk på en 15km vägsträcka, utan befintlig infrastruktur, behövs ett antal master. Först måste en täckningsberäkning utföras på sträckan utifrån det frekvensband som planeras att användas. Därefter sonderas lämpliga platser för placering av master och först då kan den administrativa delen av byggprocessen initieras. Först måste man ta kontakt med markägare för att få köpa upp mark och sedan upprätta en detaljplan. Under detaljplaneprocessen är det länsstyrelsens ansvar att ta tillvara och samordna de statliga intressena - länsstyrelsen ska alltså samråda, granska och slutligen godkänna detaljplanen för masten.⁸⁴ Enligt svensk lag måste man även göra en flyghinderanmälan till Luftfartsverket (LFV) och Försvarsmakten, liksom alla föremål över 45 meter i tätbebyggt område eller 20 meter inom annat område.⁸⁵ Slutligen måste man även ha ett antaget bygglov från kommunen. Härfter har man alltså godkännande att bygga masten.^{86,87}

Mastkonstruktionen beställer man av tillverkare (exempelvis Transmast AB i Mora) och till denna måste man bygga, eller koppla på, ett nätverk.⁸⁸ Markarbetet som krävs för att gräva el och fiber till basstationerna (röjning, grävning,

⁸⁴ Boverket, *Länsstyrelsen*, 2017

⁸⁵ Transportstyrelsen, *Flyghinder*, 2016

⁸⁶ Boverket, *Radio-, telemaster och torn*, 2018

⁸⁷ Intervju Magnus Johansson, Sweco/Telenor

⁸⁸ Intervju Magnus Johansson, Sweco/Telenor

kanalisation av el och fiber, gjutning, osv) utgör cirka 50–65% av den totala kostnaden för en basstation.⁸⁹

Enligt uppgifter från tre oberoende intervjudeltagare uppgår schablonpriset för en standardbasstation till totalt cirka 1 miljon kronor, där cirka 50–60% av kostnaden utgörs av plan- och markarbete. Vidare nämnde intervjudeltagarna att basstationer för högfrekvensbanden, som måste placeras tätare och därmed även vara mindre, är betydligt billigare. I förlängning kommer dessa endast behöva el, eftersom radiolänkstrålning kommer möjliggöras med de högre frekvenserna. Dessa mindre basstationer kostar runt 20–25 000 kronor från en bra tillverkare idag. Denna kostnad innefattar endast antennkonstruktionen och mer kostnader tillkommer beroende på utplacering av denna. Det finns olika alternativ för att placera antenner: inplacering på ett högt hus/skorsten (cirka 40-50kkr per år); inplacering i en befintlig mast (cirka 100-300kkr per år). De mindre basstationerna för högfrekvensbanden planeras även kunna implementeras på lyktstolpar. Kostnaderna beror framförallt av antennens vikt samt vindlast och varierar beroende på ägare eller operatör. Det finns många fördelar att placera basstationer på höga byggnader, primärt eftersom det finns tillgång till el och ofta även fiber.^{90, 91, 92}

5.2 Potentiell placering av basstationer längs väg 372

Nedan visas en karta hämtat från lantmäteriet kartdatabas som visar väg 372 mellan hamnen och staden via Northvolts batterifabrik. I kartan är det möjligt att utläsa omgivande geografiska förutsättningar av intresse för var och hur många basstationer som behöver placeras ut för att uppnå en god täckning längs sträckan. Att placera basstationer på hög höjd, tex berg eller på skorstenar, eller att hyra en plats på en redan befintlig mast är vanligt förekommande. Genom att placera en basstation på hög höjd för god täckning där det ofta redan finns framdragen el kan kostnaden minska för en nyetablering. Dock måste man i dessa fall själv stå för transmissionen (fiber). Höga höjder kan identifieras genom höjdkurvor i kartan och nedan visas kartecken för sannolikt befintliga master (kryss i Figur 5) och skorstenar (ring i Figur 5), dvs av människan speciellt framställda föremål.⁹³

⁸⁹ Intervju Bo Andersson, PTS

⁹⁰ Intervju Magnus Johansson, Sweco/Telenor

⁹¹ Intervju Peter Dahlberg, Tre

⁹² Intervju Bo Andersson, PTS

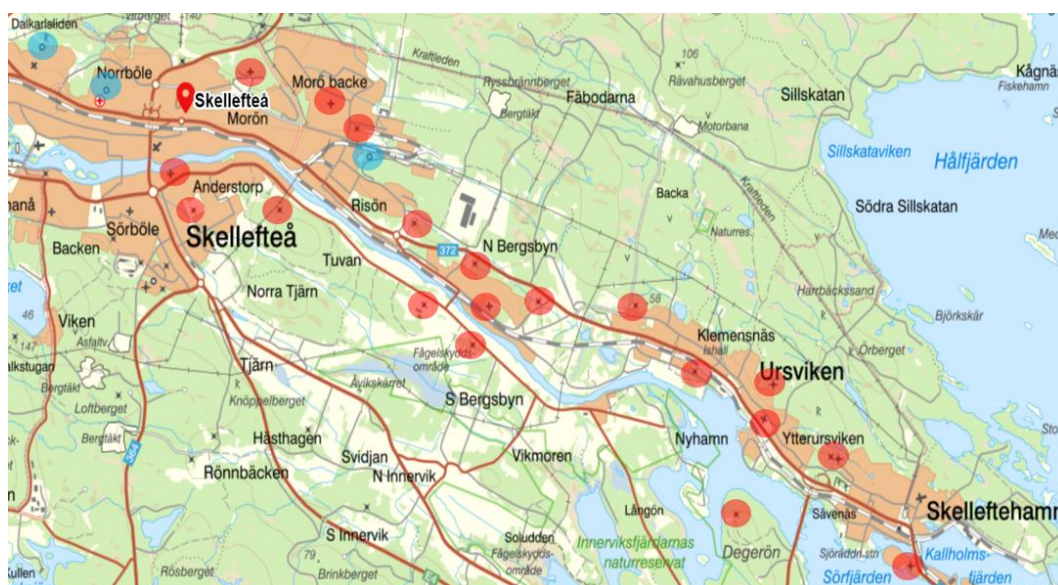
⁹³ Stenström, Tomas, *Kartecken*, Orientering [Kartecken \(orientering.se\)](http://Kartecken.orientering.se)



Figur 5 Karttecken för master och skorstenar.

För att exakt veta de geografiska förutsättningarna kring väg 372 behöver en inspektion utföras på plats. Dock, givet att järnvägen går parallellt med vägen är det sannolikt att det finns en befintlig infrastruktur som kan användas för att bygga upp 5G täckning på sträckan. Möjliga platser på befintliga master, vattentorn och skorstenar enligt nedan. Det bör dock noteras att endast för att infrastrukturen existerar är den nödvändigtvis inte tillgänglig att hyra sig in på då de kan ha andra syften och funktioner.

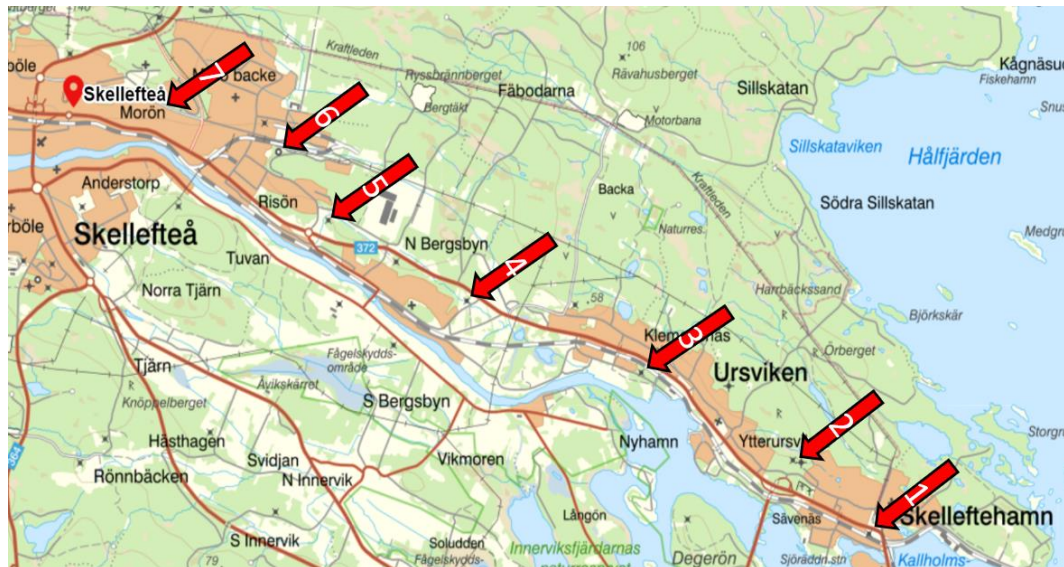
Givet ovan skulle en möjlig geografisk placering av basstationer med en räckvidd på ca 2 km i diameter se ut som nedan. Sträckan från hamnen till staden är ca 15 km lång.



Figur 6. Befintlig infrastruktur där basstationer i teorin kan placeras längst väg 372, på vattentorn och master (rött) samt skorstenar (blått).

Vi föreslår att placera ut en basstation i Skellefteå stad samt en vid hamnen som kompletteras med stationer på hög höjd emellan dessa. En vanligt förekommande strategi vid etablering är att börja med ett mindre antal stationer som vid behov kan utökas om det uppstår glapp i täckning mellan stationerna. Innan man börjar byggprocessen bör man göra en simulering av nätet som tar hänsyn till de lokala förutsättningarna och räknar ut exakt täckning på området. Det är alltså omöjligt att bygga ett nät genom att endast beakta teorin.

Givet ovan bild så kan en möjlig placering av 5G basstationer se ut som nedan:



Figur 7. Möjlig utplacering av basstationer längst väg 372 baserad på befintlig infrastruktur.

Avstånd mellan föreslagna punkter är:

- 1–2: 1,6 km
- 2–3: 2,7 km
- 3–4: 2,9 km
- 4–5: 2,5 km
- 5–6: 1,4 km
- 6–7: 2,2 km

Det är sannolikt att ovan föreslagna placering orsakar glapp i täckning givet att en 5G basstations räckvidd är ca 2,5 km, dvs drygt 1 km i radie på mellanbandet som då kräver fiber för transmission. Men enligt strategin att börja med få stationer och utöka vid behov kan det vara ett alternativ. För att placera ut basstationer på befintlig infrastruktur som i största möjliga mån uppfyller täckningen om 1 km radie blir det cirka 13 basstationer från hamnen in till staden.

Givet ovan blir en mycket grov uppskattning för inplacering i en befintlig mast mellan 700 kkr-2,1 MSEK/år för 7 basstationer och för 13 basstationer mellan 1,3 MSEK-3,9 MSEK/år.

Om Northvolt planerar för genomförandet av ett test 2023 kan det vara så att den operatör som idag har 4G täckning på sträckan redan uppgraderat nätet till 5G. Northvolt kan då använda det kommersiella nätet eller vid behov skapa ett privat nät för genomförandet av test.

Föreliggande studie visar att en fördröjning på omkring 100ms duger för i princip alla digitala tjänster som testas idag om fordonen kör kring 20-30km/h. Denna fördröjning uppnås med dagens 4G LTE nätverk, fast enbart för maximalt en handfull fordon. 5G möjliggör här en kapacitetsökning som innebär att flertal fordon kan verka på sträckan på samma gång, samt i betydligt högre hastigheter. Det är relevant då ca 80–100 godsfordon förväntas leverera gods till Northvolts batterifabrik per dag.

6 Fortsatt arbete

Undersökningen har genererat flera slutsatser och förslag på fortsatt arbete. Kortfattat kan vi konstatera att digitala tjänster kommer att ha en central roll i framförandet av automatiserade fordon, därför är det viktigt att kartlägga vilka behov och krav dessa ställer på den digitala infrastrukturen för att inte hindra utvecklingen. Framöver borde man därför studera digitala tjänster för godsfordon mer ingående och vad det faktiskt kräver av nätverket och vilka nyttor som uppstår. Behovet av prestandafaktorer som bandbredd, kapacitet, fördröjning samt upp- och nedladdningshastighet står i direkt koppling till nätets utformning, utrustning och därmed kostnad. Om nya tjänster kräver att stora datamängder laddas upp kommer design av nätet se helt annorlunda ut med betydligt kortare räckvidd som kräver fler basstationer.

För att förverkliga testverksamhet med automatiserade godsfordon vid Northvolts fabrik kring år 2024 rekommenderar vi att kartlägga vilken utveckling som krävs av området (jämför ODD) avseende både fysisk och digital infrastruktur. Ett fortsatt arbete bör skapa och resultera i en handlingsplan med tidsatta mål och konkreta aktiviteter för ett framgångsrikt genomförande. Givet ett formulerat mål och det befintliga utgångsläget kan eventuella kunskapsluckor identifieras med förslag på hur de kan överbryggas.

Framöver vore det dessutom intressant att fördjupa kunskapen kring alternativa tekniker, utöver 5G, för att kunna dra en objektiv slutsats kring vilken teknik som är bäst lämpad på väg 372.

Slutligen är det intressant att inför framtiden utveckla SAE skalor uppdelat på fordonsslag som godsfordon, bussar och personbilar eftersom de har olika egenskaper och förutsättningar och hur det påverkar utformning av ODD.