



# Samspelet infrastruktur och autonoma fordon

Jan Welinder, Linda Olofsson - SP  
Arne Nåbo, Carina Fors -VTI

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

# Samspelet infrastruktur och autonoma fordon

Jan Welinder, Linda Olofsson,  
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Arne Nåbo, Carina Fors, VTI, Statens väg- och  
transportforskningsinstitut

Nyckelord: Automatiserade fordon, Infrastruktur, Vägutformning, ITS, Framtidens transportsystem

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2016:11  
ISBN 978-91-88349-17-0  
ISSN 0284-5172  
Borås 2016

# Innehållsförteckning

<b>Innehållsförteckning</b>	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>4</b>
<b>1 Inledning och bakgrund</b>	<b>5</b>
1.1 Syfte	6
1.2 Metod	6
<b>2 Sensorsystem och automatiska funktioner i bilar</b>	<b>7</b>
2.1 Inom synhåll	7
2.2 Position	7
2.3 Utom synhåll	7
2.3.1 Radio-access teknologi C-ITS (co-operativ ITS), V2x	7
2.4 Funktionssäkerhet	8
2.5 Bilen som tjänst och tjänster till bilkörning	9
2.6 Tjänstemarknaden	9
2.7 Ansvar och bilens beslutssystem	9
2.7.1 Ansvar	10
2.8 Fordonstillverkarnas syn	10
<b>3 Infrastruktur (2015-2030)</b>	<b>12</b>
3.1 Utformning av vägar och vägutrustning	12
3.2 Kapacitet och omfördelning av utrymme	13
3.3 Sensorsystem väg	14
<b>4 Krav på standardisering och certifiering</b>	<b>16</b>
4.1 Krav på väg för automatiserad körning	16
4.2 Krav på bil	17
<b>5 Internationell utblick</b>	<b>19</b>
<b>6 Scenarier 2020, 2030</b>	<b>21</b>
6.1 2016	21
6.1.1 Fordon	21
6.1.2 Infrastruktur	22
6.1.3 Regler och standarder	22
6.2 2020	22
6.2.1 Fordon	22
6.2.2 Infrastruktur	23
6.2.3 Regler och standarder	23
6.3 2030	23
6.3.1 Fordon	24
6.3.2 Infrastruktur	24
6.3.3 Regler och standarder	25
<b>7 Särskilda utmaningar i teknik och regelverk</b>	<b>26</b>
<b>8 Referenser</b>	<b>28</b>

## Sammanfattning

Samspelet infrastruktur och autonoma fordon är en förstudie som inventerar de utmaningar som väghållarna ställs inför när allt mer automatiserade fordon dyker upp på vägarna.

Det bedrivs en omfattande forsknings- och utvecklingsverksamhet kring automatiserad körning, där huvuddelen görs av eller i samarbete med bilindustrin. Ur väghållares och myndigheters synvinkel är huvudintresset ett effektivare utnyttjande av det befintliga vägnätet men samtidigt förväntas vinster i trafiksäkerheten.

Fordons sensorsystem har utvecklats snabbt under senare år. De används i förarstödssystem som hjälper föraren att uppfatta och handskas med trafiksituationer. Det krävs ganska små ytterligare tekniklösningar för att skapa automatiska funktioner. Redan idag finns t.ex. kökörning och automatisk parkering tillgänglig.

Infrastrukturen ska hjälpa till med automatisk körning. Biltillverkarna utvecklar automatiken mot det befintliga vägnätet men det är sannolikt att kraven på vägar och vägutrustning kommer att öka. Ska fordon kunna avläsa skyltar och vägmarkeringar krävs bättre underhåll och standardisering. I förlängningen krävs mer information om vad som händer utom synhåll i t.ex. korsningar.

Eftersom många parter är inblandade stiger kraven på vad som behöver standardiseras och certifieras.

Slutligen görs en beskrivning hur utvecklingen skulle kunna se ut fram till 2020 och 2030.

# 1 Inledning och bakgrund

Idag sker en intensiv utveckling inom området automatiserad körning och vi går mot en framtid där en stor del av trafiken kommer att köra helt eller delvis autonomt. Ett exempel på den utveckling som har skett är farthållaren, som har utvecklats från ett enkelt system som håller hastigheten konstant, till dagens förhållandevis avancerade system som anpassar fordonets hastighet till den omgivande trafiken, med hjälp av system för avståndsbedömning, styrning av gasreglage och nedväxling, och funktioner för att undvika kollisioner. Utöver avancerade farthållare finns idag ett flertal andra förarstödsystem där bilen tar över köruppgiften i specifika situationer, till exempel vid köbildning eller när bilen riskerar att köra av vägen eller kollidera med ett annat fordon. Kommande system förväntas möjliggöra en ännu högre grad av autonomi.

Utvecklingen drivs i huvudsak av fordonsindustrin där mycket av drivkraften ligger i att vara konkurrensförmålig och kunna erbjuda något nytt. Teknik säljer och det gäller att vara med i racet för att ta marknadsandelar och stärka varumärket. Gentemot kunderna (förarna) framhålls den ökade komforten och bekvämligheten som automatiserad körning ger. För lastbilsbranschen kan automatiserad körning till exempel innebära att föraren kan ägna sig åt andra arbetsuppgifter eller att tiden då fordonet kör autonomt eventuellt kan räknas som vilotid.

Sett ur ett samhällsperspektiv kan en ökad grad av automatisering av fordon ge fördelar. En utmaning inför framtiden är att skapa hållbara transportsystem och där kan automatiserade fordon spela en viktig roll. Dagens ständigt ökande behov av transporter, vilket bland annat beror på en ökande befolkning med ökade krav på individuell rörlighet, skapar trängsel och föroreningar som inte är hållbara på sikt. Automatisering förväntas leda till ett mer effektivt utnyttjande av ytor, genom effektivare trafikarbete (smalare körfält, trafikreglering), ett minskat behov av ytor för parkering (tätare placerade fordon, mer perifer placering av p-platser om fordonet kan parkera själv) och kanske mindre fordon. Andra tänkbara fördelar är minskade problem med köer, förbättrad mobilitet, ökad trafiksäkerhet och minskad miljöpåverkan (Pastor & Mackay 2015).

Automatiserad körning skapar möjligheter för nya synsätt på transporter och mobilitet. Ett exempel är innovationsprogrammet Drive Sweden, där automatisering inte bara handlar om automatiserad körning, utan om ett automatiserat transportsystem omfattande alla transporter, som förväntas omforma samhället (Drive Sweden 2016). Visionen är ett transportsystem där fokus ligger på tjänster snarare än på produkter, där man till exempel kan bli upphämtad av en förarlös bil och där varuleveranser sker med nya smarta lösningar.

Ur ett svenskt perspektiv ligger automatiserad körning väl i linje med de transportpolitiska målen:

*Det övergripande målet för svensk transportpolitik är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgare och näringsliv i hela landet. Under det övergripande målet finns funktionsmål och hänsynsmål.*

*Funktionsmålet handlar om att skapa tillgänglighet för människor och gods. Transportsystemet ska ge alla en grundläggande tillgänglighet med god kvalitet och användbarhet samt bidra till utvecklingskraft i hela landet. Transportsystemet ska också vara jämställt genom att likvärdigt svara mot kvinnors respektive mäns transportbehov.*

*Hänsynsmålet handlar om säkerhet, miljö och hälsa som är viktiga aspekter av ett hållbart transportsystem. Transportsystemets utformning, funktion och användning ska anpassas till att ingen ska dödas eller skadas allvarligt. Det ska också bidra till det övergripande generationsmålet för miljö och att miljökvalitetsmålen uppnås, samt bidra till ökad hälsa.”*

Utvecklingen av automatiserade fordon sker idag utan någon större inblandning från väghållare och vägmyndigheter. De funktioner och system som tas fram anpassas för att klara den vägmiljö som finns idag, och demonstrationsprojekt, såsom ”Google-bilen”, visar att det fungerar. För att kunna utnyttja potentialen i automatiserad körning till fullo är det dock sannolikt att det kommer att krävas förändringar och anpassningar i infrastrukturen. Det handlar dels om den fysiska utformningen, till exempel bredd på körfält, fördelning av utrymme mellan olika transportslag och utformning av vägutrustning som är anpassad till fordonets sensorer snarare än till det mänskliga ögat. Det kan också handla om att utveckla en digital infrastruktur för att till exempel tillhandahålla information och/eller styra trafiken. Ur ett väghållarperspektiv är det också viktigt att lyfta fram de vinster ett automatiserat transportsystem kan föra med sig. Till exempel kan behovet av hastighetsövervakning och hastighetsreducerande åtgärder förväntas minska. Det kan också finnas möjlighet att ”uppkopplade bilar” kan tillhandahålla data om vägstatus, vilket kan effektivisera vägunderhållet.

Ytterligare frågor som är kopplade till infrastrukturen och väghållarens roll är till exempel standarder, certifieringar och regelverk. Ett möjligt framtida scenario är att väghållaren kan komma att få en beslutande roll om var och när autonom körning ska vara tillåten. Omfattningen av ett sådant beslutande system kan sträcka sig från ett förhållandevis enkelt scenario där till exempel en viss väg eller en viss fordonsmodell godkänns för autonom körning, till ett system där väghållaren för varje givet fordon, position och tidpunkt avgör om autonom körning ska vara tillåten. Givet den snabba utveckling som pågår är det viktigt att klargöra den roll infrastrukturen spelar för automatiserad körning och hur samspelet mellan infrastruktur, förare och fordon ska se ut.

## 1.1 Syfte

Föreliggande rapport utgör en förstudie om samspelet mellan infrastruktur och automatiserade fordon, med syfte att ge en översikt av det aktuella forsknings- och utvecklingsläget samt identifiera behov av kunskapsuppbyggnad och de utmaningar som behöver adresseras framöver.

## 1.2 Metod

Informationssökningar har gjorts både via internet (Google) och i databaser för vetenskaplig litteratur (Summon). Information har också inhämtats från rapporter och presentationer från olika organisationer som arbetar inom området (t ex ERTRAC och NHTSA). Utöver informationssökningarna har intervjuer genomförts med nyckelpersoner inom områdena infrastruktur, trafiksäkerhet och automatiserade fordon. Internt i projektet har det genomförts en workshop där scenarierna i kapitel 6 diskuterades.

Eftersom studien är en mindre förstudie görs inga anspråk på att informationen ska vara heltäckande. Ambitionen har varit att ge en översikt av olika aspekter av samspelet mellan infrastruktur och automatiserade fordon, för att skapa en utgångspunkt inför fortsatt arbete inom området.

Studien har genomförts av SP och VTI.

## 2 Sensorsystem och automatiska funktioner i bilar

### 2.1 Inom synhåll

Fordonets sensorer skapar en alltmer komplett bild av sin omgivning 360° runt om. Objekt och strukturer identifieras (vanligtvis) med kamera. Kompletteringar görs med avstånds- och rörelsemätning med hjälp av ultraljud, lidar (laser) eller radar. Sensoreorna ser i princip samma omgivning som föraren ser. Mätningen av avstånd och medtrafikanters rörelser kan göras med god noggrannhet. Fordonet kan identifiera bilar, gående, cyklar och djur. Vägmarkeringar och skyltar avläses och identifieras. Sensorfunktionerna används sedan några år i förarstödsystem. Steget till att också använda samma omgivningsdata till att automatisera funktioner är ganska kort. Kan bilen identifiera och avläsa hastigheten till fordonet framför och dessutom identifiera vägmarkeringar är steget kort till att använda informationen till automatisk kökörning som finns tillgängligt idag.

### 2.2 Position

Den relativa positionen på vägen bestäms med hjälp av kameror och sensorer. Det används vid filkörning och parkering. Experiment pågår med hjälpmedel som magneter i vägbanan och skulle kunna ge ett robustare system oberoende av snö och slitage [<http://m3.idg.se/2.1022/1.551726/magneter-i-vagbanan-ska-ge-sakrare-forarlösa-bilar>]

Att ha kännedom om fordonets absoluta position ger nya möjligheter. I teorin skulle en noggrann positionsbestämning tillsammans med en noggrann karta kunna användas för att styra fordonet. Även om det ligger inom möjlighetens gränser är tekniken inte där idag. Den noggrannhet som krävs, ca 0,1 m, har varken kartor eller satellitnavigeringssystem. Däremot används positionsinformation till att förvarna om kritiska vägsträckor, kurvor, backar, korsningar och dylikt. Google och Tesla har egna databaser med sådan information som byggs upp också med hjälp information från deras fordon.

Eftersom väginformationen är gemensam är det i längden ineffektivt att bygga upp många databaser med liknande innehåll. En del av informationen borde med fördel kunna tillhandahållas av väghållaren. Den slutliga leverantören till fordonen kanske istället blir tjänsteföretag.

### 2.3 Utom synhåll

En helt ny dimension för trafiksäkerhet och hantering av trafikflödet ges av ITS-system som via radiokanal kan informera om vad som händer också utom synhåll.

#### 2.3.1 Radio-access teknologi C-ITS (co-operativ ITS), V2x

Den teknologi som valts av standardiseringen, mest känd som IEEE 802.11p, är utvecklad från lokala datornätverk. Anpassningar har gjorts för användning i ett mobilt och snabbt varierande nätverk. Ett omfattande standardiseringsarbete fogar in tekniken i ett C-ITS-system där information från infrastrukturen och mellan fordon används för ökad säkerhet och effektivare trafik. Färdplanen för introduktionen är tänkt som en evolution. Den

börjar med varningsmeddelande medan stöd för automatisk körning utvecklas efterhand. En tidig kandidat för automatisering kan vara fordonståg (platooning). Enligt publicerade planer skulle hårdvaran introduceras i fordon från 2015 och bli lagkrav i USA 2017 [<http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/NHTSA-issues-advanced-notice-of-proposed-rulemaking-on-V2V-communications>]. Uppgifterna idag (2016) är vagare. Ett antal stora forskningsprojekt och fältförsök som drev fram utvecklingen är till stor del avslutade men har inte lett till en omedelbar marknadsintroduktion. Forskningen har pekat på en del problem t.ex. att:

- räckvidden är ganska begränsad och osäker
- radiotekniken har svårigheter med snabbt varierande omgivningar
- säkerheten mot sabotage och intrång (security) är inte löst
- kapaciteten är begränsad

Blickarna har därför vänts mot standardiseringen av nästa generations telekomsystem, 5G, som inkluderar mobila tillämpningar med stora krav på säker kommunikation mellan många noder [<https://www.metis2020.com/>]. Detta skapar naturligtvis en stor osäkerhet kring introduktionen av C-ITS. Att välja en ny standard innebär överlägsen funktion till priset av åtskilliga års försening.

## 2.4 Funktionssäkerhet

Det finns ingen anledning att tro att systemen inte ska bli lika kapabla och i många avseende säkrare än föraren vid ”normal” körning. Kan en funktion beskrivas i detalj kan den också i allmänhet lösas med ett automatiskt system som fungerar snabbare och bättre än människan. En automatisk bil parkerar bättre och kommer t.ex. att klara en betydligt smalare fil än förare. Automatiken kommer att tillåta kortare avstånd mellan fordon och därmed öka vägkapaciteten.

Problemet är de ovanliga situationerna. Att lära automatiken att sortera ut komplexa trafiksituationer är en utmaning. På YouTube finns ett antal filmer [<http://fusion.net/story/218320/tesla-autopilot-fail/>] som visar hur Teslabilar fått problem och tvingat föraren att gripa in att förhindra allvarliga olyckor. På någon film kan man se att vägmärkningarna sett ovanliga ut. Tillverkarna förväntar sig idag att föraren inte släpper uppmärksamheten på vägen utan är beredd att ta över kontrollen vid behov.

Ambitionen är emellertid högre än så. Automatiken förväntas kunna frigöra föraren från den direkt kontrollen och tillåta vederbörande att göra annat. Det blir då svårt att förvänta sig att föraren ska finnas beredd inom ”x” sekunder. I projektet ”Drive Me” [<http://www.volvocars.com/intl/about/our-innovation-brands/intellisafe/intellisafe-autopilot/drive-me>] har Volvo deklarerat att deras bilar själv ska kunna avgöra när automatisk körning inte är möjlig och gå till ett säkert läge (t.ex. stanna vid väggkanten) om föraren inte griper in. Hur övergång från automatisk till manuell körning ska ske är inte klarlagt och är föremål för pågående forskning.

I ett autonomt fordon räcker det inte att hitta ett säkert läge. Automatiken måste kunna reda ut situationer för att kunna ta fordonet vidare. Här är det troligt med kompromisser där användningen av autonom körning begränsas till vissa områden och till en högsta hastighet.



## 2.5 Bilen som tjänst och tjänster till bilkörning

Bilägandet är under diskussion och intresset ökar för bilpooler och andra möjligheter att ha tillgång till bil man inte äger. Tankarna är vid det här laget gamla och utvecklingen går långsamt. Hushåll har råd med en och kanske två bilar och vi bor, arbetar och handlar på olika platser inom överskådlig framtid. I större städer där det inte längre finns plats för individuellt bilkörande styrs samhällsutvecklingen bort från bilkörande åtminstone i innerstaden. I ytterområden och mindre orter försvinner i stället service på nära håll och behovet av bilen ökar.

En allmänt förändrad syn på bilen som ett transportmedel bland andra är troligen inte näraliggande. Scenarierna i SEVS-projektet visar att utvecklingen kan ta olika vägar beroende på vilka drivkrafter som kommer att dominera [<http://www.sevs.se/>]. Men vi kommer att få se en ökad andel bilar som används kollektivt. Det innebär en ökad efterfrågan på kollektivtrafik för dagligt bruk.

För biltrafiken innebär det högre utnyttjande av varje fordon. Krav på parkering minskar. Har fordonen blivit autonoma kan de köra fram till beställningspunkten själva från närmaste centralgarage. När vi kommer så långt kan samhällsutvecklingen planera för bilar på ett annat sätt. Då kan också incitamenten till privat bilägande påverkas. Bilen har blivit en del av kollektivtrafiken.

## 2.6 Tjänstemarknaden

IT- och tjänsteföretag har blivit påtagligt intresserade av fordonsmarknaden. En anledning är naturligtvis de allt mer komplexa infotainmentsystemen i bilar tillsammans med väghållarnas ITS-system. Men företag som Apple och Google nämns också som egna bilproducenter. Vilka deras planer för framtiden är naturligtvis inte känt men det finns mycket mer än att enbart producera bilar. Vi ser att informationsbehovet till bilar kommer att öka enormt. Automatisk körning kräver detaljerad trafik- och väginformation. Passagerare och den annars sysslolöse föraren kommer att arbeta uppkopplade mot arbetsplats och internet. Vägkrogar, laddstationer, butiker m.fl. vill informera bilar i närheten om sina erbjudanden.

Den digitala uppkopplade världen görs tillgänglig för dem som sitter i bil. Här öppnas ett tjänsteutbud som egentligen inte skiljer sig så mycket från det vi möter i andra sammanhang, och självklart vill tjänsteföretagen ta hand om den. Varken biltillverkare eller väghållare är väl skickade för att svara för hela utbudet. Det är kanske troligare att företag som Google och Apple i samarbete med biltillverkare och väghållare blir de som konkurrerar på den marknaden.

## 2.7 Ansvar och bilens beslutssystem

Automatiseringen kan ha olika grader från förarstöd till full automatik. Likartade graderingar har definierats av SAE och NTHSA. ERTRAC använder SAE J3016 som tydliggör om det är föraren eller systemet som:

- kör bilen
- övervakar omgivningen
- tar hand om besvärliga situationer
- har kapacitet för alla körmoder

Beskrivningen är enbart funktionell och lutar sig inte mot något regelverk.

Biltillverkarna driver självständigt en utveckling mot allt högre automatiseringsgrader. Myndigheterna intar än så länge en avvaktande position avseende regler. Beslut om vilken grad av automatisering som ska tillämpas ligger därmed hos föraren med stöd från bilen. I teorin kan beslutet flyttas över till väghållaren. Bilen kan göras tekniskt beroende av signaler utifrån som begränsar eller tillåter funktioner.

### 2.7.1 Ansvar

Någon har det straffrättsliga ansvaret för ett fordon även när det kör automatiskt eller autonomt. Så länge det finns en förare på en förarplats kan den alltid hållas ansvarig. Vid förarlös körning finns det någon form av operatör som ska vara ansvarig och man kan tänka sig mellanvarianter. Nuvarande lagstiftning är förmodligen inte tillräcklig för alla situationer.

Det civilrättsliga ansvaret kan till stor del regleras via försäkringar. Körsätt som försäkringsbolag inte accepterar blir ointressanta för fordonsägaren. Marknadskrafterna kommer att, kanske inte utan svårigheter, ta fram lösningar.

Om väghållaren på något sätt deltar i besluten blir situationen komplex. Att aktivt tillåta automatisk körning innebär att ta på sig ett ansvar. Enklare blir det om väghållarens beslut inskränker sig till att begränsa eller förbjuda. Den naturliga vägen är snarast att nivån på automatisering kopplas till olika typer av vägar, t.ex. köautomatik på motorväg och automatisk körning på vägar med låg hastighet (t.ex. 40 km/h). Därefter får föraren avgöra vad som är lämpligt. Att generellt upplåta en väg för automatisk körning innebär att fordonsautomatikens krav på vägens standard vad gäller vägutrustning och ITS måste upprätthållas av väghållaren. Den kan däremot inte garanteras t.ex. vid snöfall.

Så småningom kommer fordonsautomatiken att mogna tekniskt. Då vet vi vad den kan göra och inte kan göra. Samspelet mellan väg och fordon är då tydligt från båda sidor och det går att skriva regler som fördelar ansvaret. Det blir möjligt att t.ex. separera trafiken mellan olika utrustade fordon. Smala filer får endast användas av fordon som kan hantera det.

Automatisk hantering av olyckssituationer kommer att bli en svårknäckt nöt. Om alla valmöjligheterna innebär en risk, t.ex. om valen är att köra på något, köra av vägen eller köra över på fel sida av vägen, måste styrautomaten fatta beslut med etiska vinklingar. När är tekniken mogen för det?

## 2.8 Fordonstillverkarnas syn

Fordonstillverkarna utvecklar nu automatiska funktioner och självkörande bilar utifrån den infrastruktur som finns idag. De ser att det inte kommer att gå tillräckligt fort att byta ut befintlig infrastruktur men på sikt kan fordonets funktioner förbättras om infrastrukturen utvecklas. Volvo cars har valt att fokusera på pendlartrafik dvs självkörande fordon på större vägar med låg grad av komplexitet och relativt höga hastigheter medan t ex Google har valt mer komplexa stadsmiljöer i lägre hastigheter som fokus.

Volvos automatik går bara att aktivera på vägar i en bra infrastruktur, vägar där de validerat sin flotta. Volvo rekognoserar lämpliga vägar, provkör för att verifiera och sedan ”certifierar” man vägen för automatisk körning. Informationen läggs in i kartdatabasen i Volvos moln. Denna proceduren fungerar i början när flottan är

begränsad. På sikt är det ohållbart om man vill sälja självkörande bilar på en global marknad. Då vill man nog se att certifieringar redan är gjorda för vägar lämpliga för automatisk körning.

Ett förslag skulle kunna vara att föraren och bilen i början själva bidrar till att validera en vägsträcka genom att bilen monitorerar funktionen på vägen ett antal gånger och rapporterar in data.

Det vore bra med en standardisering för vägsträckor, men det kommer att dröja för nu vill alla fordonstillverkare vara först och det är en tävling snarare än samarbete.

### 3 Infrastruktur (2015-2030)

Det finns förhållandevis lite litteratur och andra informationskällor som handlar om infrastrukturens roll i ett transportsystem där fordon kör autonomt. Informationen i avsnittet är därför spekulativ och bygger på idéer och förslag som lagts fram av olika intressenter, samt på demonstrationsprojekt och tester. Informationen kommer från både populärvetenskapliga texter och från vetenskapliga artiklar och rapporter.

En förklaring till att infrastrukturen än så länge har en förhållandevis perifer roll är att utvecklingen av autonoma fordon i huvudsak drivs av fordonsindustrin. Bamonte (2013) menar att fordonsindustrin inte kan vänta på att vägmyndigheter inför ”smart” elektronisk infrastruktur för att underlätta för autonoma fordon, men att det är sannolikt att infrastrukturen med tiden kommer att ta över en del av eller komplettera fordonens system för autonom körning. Exempel på vad en sådan ”smart” infrastruktur skulle kunna innefatta finns i avsnittet Sensorsystem väg nedan.

#### 3.1 Utformning av vägar och vägutrustning

Utöver den elektroniska infrastruktur som kan komma att bli nödvändig är det tänkbart att autonoma fordon kan innebära att den befintliga infrastrukturen behöver anpassas eller kan utformas på ett annat sätt än idag. Ett exempel är utformning av körfält. Fordon som kör autonomt kan köra närmare varandra än vad konventionella fordon kan, vilket ger en möjlighet att utnyttja vägutrymmet bättre, till exempel genom att ha smalare körfält eller kanske genom att det inte kommer att vara nödvändigt att dela in vägbanan i körfält (Bamonte 2013). Litman (2015) menar att det kommer att krävas dedikerade körfält för autonoma fordon för att fördelar såsom högre hastigheter, minskad trängsel och automatiserade korsningar, ska kunna uppnås. Litman (2015) påpekar samtidigt att det kan uppstå problem om fördelningen i utrymme mellan autonoma och icke-autonoma fordon upplevs som orättvis, vilket kan ge upphov till olycksrisker och ställa krav på nya regelverk.

Många av dagens förarstödsystem, såsom avåkningsvarnare och körfältsassistans, behöver (längsgående) vägmarkeringar för att fungera, och det är möjligt att även system för mer autonoma funktioner kommer att vara beroende av vägmarkeringar. Till exempel bygger Teslas nyligen lanserade funktion Autopilot, som möjliggör autonom körning under vissa förhållanden, på att systemets kameror kan detektera körfältsmarkeringarna. Det finns också exempel på forskning där man med hjälp av en kamera och bildanalys extraherar information från både längsgående linjer och från körfältspilar för att avgöra var och hur fordonet får köra (Vacek et al. 2007). Det uppenbara problemet med system som förlitar sig på vägmarkeringar är dock att markeringarna ofta har dålig synbarhet till följd av till exempel snö, väta, smuts, slitage eller väggeometri. Ett framtida scenario där autonoma fordon är beroende av vägmarkeringar skulle därför ställa helt andra krav på vägmarkeringars funktion och underhåll, än vad vi har idag. Nick Reed, professor vid TRL, ifrågasätter huruvida vägmarkeringar alls kommer att behövas i framtiden (Ballantyne 2015). Reed menar att detaljerade och uppdaterade kartor kan ersätta vägmarkeringarna, vilket ger nya möjligheter till exempel i form av dynamisk indelning i körfält och internationell standardisering (konventionella vägmarkeringar kan se olika ut i olika länder).

Det faktum att det i autonoma fordon är tekniska system, såsom kameror och radar, som ska se och läsa av omgivningen istället för det mänskliga ögat kan medföra att utformningen av vägar och vägutrustning kan behöva modifieras. Bamonte (2013)

nämner brofundament och vägmarkeringar medan Badger (2015) tar upp frågeställningar som relaterade till vägbelysning och vägskyltar där informationen är skydd av klotter.

Rodoulis (2014) förutspår att vägdesignen i stort sett kommer att förbli densamma som idag, men att det kan vara möjligt att till exempel på motorvägsavfarter och –påfarter ha mindre kurvradier och kortare ramper. Vidare menar Rodoulis (2014) att autonoma fordon kommer att minska behovet av hastighetsreducerande och säkerhetshöjande åtgärder, såsom fartgupp och räcken.

En möjlig konsekvens av att autonoma fordon introduceras är att det kan komma att ställas högre krav på en standardiserad vägutformning. I Sverige ges riktlinjer för vägutformning av *Vägars och gators utformning* (VGU). Dokumentet är tvingande för det statliga vägnätet, men fungerar endast rådgivande för kommunala vägar. Detta gör att det finns en viss variation i utformning och att det förekommer lokala trafiklösningar, till exempel färgad beläggning för att markera bussfiler eller cykelbanor, eller så kallade shared spaces där olika trafikantgrupper samspelar på en gemensam yta. Det är rimligt att anta att sådana variationer försvårar navigationen för autonoma fordon, och att det därför kan komma att krävas en ökad standardisering för att trafiken ska bli säker och effektiv.

## 3.2 Kapacitet och omfördelning av utrymme

En förväntad effekt av en ökad andel autonoma fordon är att kapaciteten på vägnätet ökar, beroende på att autonoma fordon kan köra närmare varandra än vad konventionella fordon kan (Pinjari et al. 2013). Bamonte (2013) menar att den ökade kapaciteten på det befintliga vägnätet kan minska behovet av att bygga nya vägar och att det därför kan vara ekonomiskt fördelaktigt för vägmyndigheter att stödja utvecklingen av autonoma fordon. Litman (2015) diskuterar hur autonoma fordon kan komma att påverka det totala trafikarbetet och drar slutsatsen – dock med viss reservation för att effekten av många faktorer kan vara svår att förutse – att trafikarbetet kommer att öka. Skäl till detta är bland annat att ökad komfort och möjlighet till andra aktiviteter under transporten gör det mer attraktivt att resa, att autonoma fordon ger ökade möjligheter till transport för körkortslösa personer, t ex barn och funktionshindrade, att självkörande taxibilar behöver förflytta sig mellan olika körningar, och att det kan bli mer attraktivt att resa till platser som inte är tillgängliga utan bil.

En ökad kapacitet och ett ökat trafikarbete, i kombination med att vägar och körfält kan göras smalare, kommer sannolikt att påverka kraven på vägunderhåll. Till exempel kan det finnas risk för att problem med spårbildning och slitage ökar. Vidare kan dåliga väderförhållanden utgöra ett problem för autonoma fordon, även om den tekniska utvecklingen av sensorer gör att problemet förväntas minska med tiden (Hodson 2015). Det innebär att till exempel kraven på snöröjning kan komma att öka. Å andra sidan menar förespråkare för autonoma fordon att olyckorna kommer att minska (Gitlin 2015), vilket kan leda till ett minskat behov av reparationer av till exempel räcken, stolpar och beläggning.

En ytterligare möjlig konsekvens av autonoma fordon är att behovet av parkeringsplatser kan komma att förändras. Om fordonet själv kan köra iväg och parkera minskar behovet av parkeringsplatser i direkt anslutning till bostäder, shoppingcenter och arbetsplatser (Bamonte 2013, Rodoulis 2014). Vidare kan parkeringsplatser göras mindre om passagerarna kan släppas av innan fordonet parkerar, eftersom det inte krävs utrymme för att kunna öppna dörrarna (Bertoncello & Wee 2014, Rodoulis 2014). En möjlig förändring i infrastrukturen till följd av självparkerande fordon är att det kan komma att behövas områden i vägmiljön avsedda för av- och påstigning.

Eftersom autonoma fordon kräver mindre utrymme, både på vägen och vid parkering, frigörs utrymme i vägmiljön. Detta utrymme kan till exempel utnyttjas för förbättrad gång- och cykeltrafik (Patel 2015) eller för att anlägga grönområden (Green 2015). Litman (2015) påpekar att aktörer inom infrastrukturområdet har en viktig roll att spela i utvecklingen av autonoma fordon, men menar också att förändringar i infrastrukturen endast bör göras efter att man har kunnat påvisa att autonoma fordon är fördelaktiga, att priset inte blir för högt och att det finns en allmän acceptans för autonom trafik.

### 3.3 Sensorsystem väg

Det är än så länge oklart vilken roll sensorer i vägmiljön kommer att ha i ett framtida autonomt transportsystem. Det som idag lyfts fram som den huvudsakliga nyttan med vägsensorer är att de kan komma att bidra till en högre effektivitet. De kan möjligen också bidra till ökad säkerhet och noggrannhet (Sung et al. 2013) eller utgöra ett komplement då väderförhållandena gör att fordonens egna sensorer fungerar dåligt (Bamonte 2013).

Ett exempel på där vägsensorer skulle kunna bidra till ett mer effektivt trafikflöde är korsningar, där autonoma fordon kan ha svårt att överblicka situationen, beroende på att andra fordon och trafikanter kan vara skymda sett från det egna fordonets sensorer. Det finns ett flertal forskningsprojekt som syftar till att ta fram system för styrning av autonoma fordon i korsningar eller andra komplexa miljöer. Rebsamen et al. (2012) beskriver ett system avsett för så kallade mobility-on-demand-fordon. Fordonen, som har ett minimalt antal egna sensorer och är avsedda att enbart köra i kända miljöer, navigerar med hjälp av kartdata och trafikkameror som är placerade i komplexa eller potentiella farliga trafikmiljöer. Författarna visar med hjälp av simuleringar att tillgång till information från trafikkameror ger ett bättre trafikflöde, eftersom fordonen kan agera mindre försiktigt än vad de skulle behöva göra utan informationen från trafikkamerorna. Ett system som liknar det som föreslås av Rebsamen et al. (2015), men som än så länge är avsett för manuella fordon testas just nu i verklig trafik i Tokyo (Watson 2015). Systemet syftar till att förbättra säkerheten i korsningar, genom att kameror och radar övervakar trafiken och skickar informationen trådlöst till fordon som befinner sig i eller nära korsningen. Parallellt med dessa tester pågår tester med autonoma fordon, och det är sannolikt att även de kommer att kunna utnyttja informationen från systemet.

Vid University of Texas at Austin pågår det mångåriga forskningsprojektet Autonomous Intersection Management Project, som syftar till att ta fram ett trafikledningssystem för korsningar, avsett för autonoma fordon (Utexas 2015). Forskarna menar att ett sådant system är både säkrare, enklare och mer effektivt än dagens trafikljus och skyltar. Till skillnad från systemen som beskrivits ovan använder sig inte detta system av kameror, utan styrningen baseras helt på information från fordonen. Ett liknande system presenteras av Wuthishuwong et al. (2015).

Kumar et al. (2012) föreslår ett molnbaserat system för trafikstyrning, där informationen från fordonens egna sensorer kombineras med information från statiska vägsensorer. Styrningen sker på ett mer generellt plan än enbart i korsningar och komplexa miljöer, där hänsyn tas till exempel till olyckor längre fram på vägen. Kumar et al. (2012) menar att ett sådant system ger en säkrare och mer effektiv styrning, än om fordonen agerar helt autonomt.

Information som kan eller bör tillhandahållas av digital infrastruktur är position för vägarbeten (Bamonte 2013, Guildford 2014), trafikflöde och köbildning (Bamonte 2013,

Guildford 2014), samt skyltning och trafikljus (Rodoulis 2014). Till exempel skulle en digital infrastruktur kunna tillhandahålla information om när trafikljus slår om, vilket skulle göra att autonoma fordon bättre kan anpassa sin hastighet och därmed ge ett jämnare trafikflöde (Bamonte 2013). Ett möjligt framtidsscenario är att konventionella trafikljus inte kommer att behövas (Rodoulis 2014, Patel 2015).

Volvo Cars har undersökt möjligheterna att använda magneter i vägbeläggningen för positionsbestämning, som ett komplement till fordonets GPS och kameror (Volvo Car Group 2014). Inledande tester har visat lovande resultat. Positionsbestämning är mycket viktigt för automatisering och här finns ett behov av förbättringar och innovationer.

En intressant frågeställning rörande sensorer och väg är att använda sig av fordonens sensorer för att effektivt få data om fordonens omgivning inklusive infrastrukturen. I framtiden skulle vi kunna ha tusentals bilar som samlar data överallt de kör, också på platser där ingen samlat data tidigare. Detta skulle kunna ge stora möjligheter till informationsdelning och kombinerad data vilket troligen kommer att göra att nya samband upptäcks som kan användas för att optimera trafik och miljö (Dahler & Vinel 2012).

Det finns även förslag på att använda mobila sensorer i fordonet för att samla information om vägens beskaffenhet (Vittorio et al. 2014, Eriksson et al, 2008). Vibrationsdata från en mobiltelefon i förarfönstret tillsammans med GPS-koordinater kan ge information om vägytans kondition. Data skulle kunna användas för att uppskatta och planera underhåll av infrastrukturen.

## 4 Krav på standardisering och certifiering

### 4.1 Krav på väg för automatiserad körning

Automatiserade system fungerar bäst och säkrast i en standardiserad omgivning. Detta gäller också för automatiserade fordon. Automatisering fungerar endast på det sätt som systemutvecklaren har programmerat den, och ju mer komplex omgivningen är och desto fler oförutsedda händelser som kan inträffa desto svårare har automatiseringen att fungera tillfredsställande med tanke på t.ex. komfort och säkerhet. Vissa gator och vägar är således inte lämpliga för automatiserad körning till en början. Men i och med utvecklingen av automatisering så blir denna mer och mer kompetent och man kan tänka sig att fler och fler gator och vägar blir tillgängliga för automatiserad körning.

De första systemen för automatiserad körning kommer att använda sig av fordonsmonterade sensorer (laser, radar, ultraljud). Ju tydligare dessa sensorer kan uppfatta omgivningen desto bättre funktion, och här kan vägen hjälpa till. Vägmarkeringar, skyltar och annan vägutrustning kan göras standardiserade (och ”inlärda” i fordonens system) och utformas för att ge bra signalstyrka (ljus, kontrast, radareko, etc.). Det är också viktigt med underhåll så att slitage, snö, etc. inte nedsätter vägens prestanda.

Vägledande för samspelet mellan fordonen och infrastrukturen måste vara att de är ”kompatibla”, dvs att automatiseringen klarar av att hantera vägens och omgivningens beskaffenhet. Det är alltså viktigt att det finns en samsyn mellan fordonstillverkare och väghållare om detta. Tillsammans bör man se vilka vägar och gator som inte är lämpliga för automatiserad körning, och tillsammans se vilka krav fordonen och vägen bör ha för att klara av automatiserad körning (av en viss nivå) tillfredsställande.

En första kravlista för väg ej olämplig för automatiserad körning skulle kunna se ut så här:

- Minst två körfält i samma riktning.
- Bred vägren med plats för ”nödstopgade” fordon.
- Mittseparerad väg med vägräcke.
- Standardiserade, tydliga vägmarkeringar och vägutrustningar.
- Inga korsningar (bara av- och påfartsramper).
- Frekventa P-platser, speciellt där ”automatiserad väg upphör”, för att kunna parkera fordon där föraren inte återtar kontroll över fordonet.

Givetvis måste också automatiseringen följa rådande trafikregler, t.ex. hålla hastighetsbegränsningar, säkra avstånd, underlätta för omkörning, göra väg för utryckningsfordon och följa polismans tecken.

I kommande versioner av automatisering, där man vill se ett utökat område, t.ex. kunna köra automatiserat i trafikreglerade korsningar, kommer ICT (Information and Communication Technology) att vara en viktig komponent. Med ICT kan samspelet mellan fordon och infrastruktur även omfatta utbyte av data. I en sådan utveckling är det fortsatt viktigt att fordon och infrastruktur är kompatibla. Här kommer det att vara viktigt att kunna deklarerat (och informera) vilken ICT-standard en väg har så att fordonen kan anpassa sin funktionalitet till detta.

Vid vissa speciella förhållanden kan väghållaren tänkas vilja påverka/rekommendera ett körbeteende, t.ex. vid halka, nedsatt sikt och rusningstrafik. Det kan vara att sänka



hastigheten eller öka avståndet till framförvarande, eller att avråda från automatiserad körning. En sådan lösning kan realiserars genom användande av ICT.

Länkar:

Vägar och gators utformning, VGU,  
<http://www.trafikverket.se/vgu>

Vägmärken,

<https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Vagmarken/>

Vägmarkeringar,

<https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Vagmarken/Vagmarkeringar/>

## 4.2 Krav på bil

Normalförfarandet för att få använda en bil i Sverige är att den typgodkänns av Transportstyrelsen eller motsvarande myndighet i ett annat EU-land. Godkännandet sker enligt UNECE-reglementen som förutom inom EU också används i ett antal andra länder. Samarbetsdiskussioner sker med ytterligare länder och så småningom kanske vi ser ett globalt godkännande.

UNECE-reglementena föreskriver granskningar och provningar av i första hand utrustning och funktioner som påverkar miljö och säkerhet. Sådant som funnits länge gäller t.ex. belysning och säkerhetsbälten. Myndigheterna anlitar utsedda tekniska expertorgan (t.ex. SP) för att granska kravuppfyllandet.

UNECE är naturligtvis medvetna om den pågående utvecklingen och har beskrivit sina aktiviteter 2012

([https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/publications/Intelligent\\_Transport\\_Systems\\_for\\_Sustainable\\_Mobility.PDF](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/publications/Intelligent_Transport_Systems_for_Sustainable_Mobility.PDF))

Arbetet beskriver ITS-utvecklingen som väsentligt för miljö och säkerhet men också för ekonomin och handlar till större delen om samhällsatsningar på andra områden än själva fordonen. 2012 ser man att utvecklingen gällande fordonen huvudsakligen handlar om förarstödsystem och nämner knappast automatiseringen. Ett tydligt tecken på att utvecklingen är snabb just nu.

På fordonsområdet har 135 olika reglementen publicerats (2015) som ställer typgodkännandekrav på olika fordonstyper från mopeder till tunga lastbilar. Två dokument handlar om förarstöd:

- R130 Lane Departure Warning Systems.
- R131 Advanced Emergency Brake System

Det kan noteras att R131 faktiskt handlar om en automatisk funktion där alltså bilen nödbromsar om inte föraren ingriper.

Dokumenterna skrivs av tekniska experter och kan vara ganska detaljerade i frågor om teknisk funktion. T.ex. är olika typer av vägmärken beskrivna i R130. Reglementena kommer i allmänhet när den aktuella funktionen redan är etablerad på marknaden. Det har fördelen att tekniken hunnit mogna och att kraven speglar verkliga behov. De flesta automatiska funktioner som nu finns eller är på väg ut på marknaden granskas alltså inte i samband med typgodkännandet. På sikt kommer det att krävas att funktionalitet och förarmiljö (HMI) standardiseras och också certifieras.

För de alltmer avancerade automatiska systemen gäller alltså något av djungelns lag. Det som inte är förutsett och infört i regelverket anses av biltillverkarna som tillåtet.

Den intressanta situationen har nu uppkommit att bilarna är alltmer välförsedda med sensorer och servon för förarstöd. För att gå från förarstöd till automation krävs då bara en mjukvaruuppdatering som kan laddas ner och sättas i drift fjärrstyrt.

Detta har till exempel gett myndigheterna i Hongkong bryderier. Där har man valt att förbjuda Teslas uppdatering till automatisk körning.

<http://www.info.gov.hk/gia/general/201510/30/P201510300979.htm>

Här finns alltså utrymme för såväl standardisering som certifiering.

Ett separat system tillämpas för radiosystem. PTS (Post- och Telestyrelsen) hanterar hur radiosystem får användas framför allt baserat på utnyttjandet av frekvensspektrum. För system som används för nödsignalering (för mobiltelefoner 112) ställs också långtgående funktionella krav. Den svenska lagstiftningen baseras på radiodirektivet 2014/53/EU och på svenska bestämmelser. Det finns en omfattande ETSI-standardisering kring hur meddelanden ska se ut och hanteras som än så länge publiceras i tekniska rapporter.

Som tidigare nämnts behöver ansvarsfrågan arbetas igenom. Körkortet är en komponent som skulle kunna beröras. Bilindustrin förväntar sig nog att det inte ska behövas särskilda behörigheter för bilar men utvecklad automatik.

Några av de utestående frågorna:

- Certifiering av automatik
- Hantering av mjukvaru-uppdatering
- Certifiering av radiosystem och funktioner i V2x/C-ITS
- Körkort för automatisk körning
- Ansvar för automatisk/autonom körning
- Standardisering av förargränssnitt

## 5 Internationell utblick

Det är uppenbart att ett stort fokus legat på fordonet och fordonets utveckling mot autonomi. Det finns väldigt lite i litteraturen om infrastrukturens utveckling. Det finns dock små tecken på att en förändring är på väg. Automatisk körning är något som kommer att ställa höga krav på infrastrukturen och EU-kommissionen uppmärksammar detta i sitt forskningsprogram Horizon 2020 med specifika utlysningar för 2016-2017. En av dessa utlysningar är inom Mobility for growth, MG 3.4-2016 där man vill se forskning som adresserar bland annat design och uppgradering för att göra infrastruktur självförklarande och förlåtande, nya metoder för att monitorera underhåll och optimera detta, anpassningar av infrastrukturen mot nya fordonsegenskaper inkluderande fordonskommunikation och informationsdelning

<http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/2088-mg-3.4-2016.html>

En annan utlysning finns inom området Automated road transport ART-05-2016 där man pekar på att vägens infrastruktur kommer att spela en viktig roll i en övergångsperiod för att hantera samexistensen mellan konventionella och högautomatiserade fordon för att säkerställa fortsatt hög säkerhet och effektivitet

<http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/2059-art-05-2016.html>

Det satsas mycket på ICT och kooperativ ITS i Horizon 2020 (se t ex

<https://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/2063-art-01-2017.html> ) och det finns en underförståelse att vägens infrastruktur måste följa och stödja denna utveckling.

I USA ser NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) tre distinkta och parallella utvecklingar inom fordonsutvecklingen; krockskydd i fordonet, fordonskommunikationssystem och självkörande fordon. NHTSA ser utvecklingen av dessa teknologier som ett kontinuum mot automatiserad fordonskontroll och arbetar med forskning inom området som redan resulterat i regler och policies. NHTSA har delat in utvecklingen mot full autonomi i fyra nivåer.

NHTSA har gjort ett stort arbete inom nivå 1 inom krockskydd med tekniker som lane keeping aid och forward collision warning samt med fordonskommunikation (V2X/V2I) som också kan bidra till säkerheten och krockskyddet. De har börjat planera forskningen för nivå 2 till 4 och jobbar här tillsammans med andra transportmyndigheter eftersom denna forskning har stor relevans för ett intermodulärt intelligent transportsystem. NHTSA har identifierat tre forskningsområden: human factors research, development of system performance requirements, and electronic control system safety som de kommer att satsa på framöver. Vidare har NHTSA tagit fram rekommendationer till staterna för testning av autonoma fordon.

Virginia Tech Transportation Institute (VTTI) i USA har genomfört en demonstration med automatiserad körning på Interstate 395. Körningen var på 10 mile och omfattade ett scenario med bl.a. omkörning av vägarbeten, plötsliga köer och passerande utryckningsfordon. Det automatiserade fordonet var utrustat med bl.a. kommunikationssystem för fordon-fordon och fordon-infrastruktur. VTTI har också en ”Smart Road” vid sitt institut i Blacksburg och använder även en racerbana vid behov (Virginia International Raceway in Alton).

<http://www.vtnews.vt.edu/articles/2015/10/101915-vtti-researchtest.html>

I Asien finns också stora satsningar autonoma fordon. I Singapore finns Singapore Autonomous Vehicle Initiative (SAVI) som är ett samarbete mellan Singapores vägmyndighet LTA och Agency for Science, Technology and Research (A\*STAR) med syfte att tillhandahålla en teknisk plattform för test och utveckling av autonoma fordon. Flera tester av automatiserade fordon pågår: självkörande elfordon (shuttles) för persontransporter mellan specifika platser, autonoma golfbilar och förarlösa fordon. Försök med platooning för lastbilar planeras. Vägmyndigheten LTA tillhandahåller realtidsinformation om trafiken, via 300 kameror i korsningar, GPS:er i 9500 taxibilar som ger information om hastigheter, och 500 kameror längs större trafikleder. Informationen bearbetas i en trafikledningscentral och skickas ut till variabla skyltar (VMS:er), websidor, appar och radio.

På institutet JARI (Japan Automobile Research Institute) i Japan har man forskning på ett framtida automatiserat transportsystem bestående av ”ultra compact electrical vehicles”, där även infrastrukturen är en del. Tillämpningen sker i begränsade områden där fordonen färdas i låg hastighet (promenadtakt troligtvis).

<http://www.jari.or.jp/tabid/222/Default.aspx>

Tillbaka till europeiska satsningar. Vid Cranfield University i Storbritannien finns CRANFIELD autonomous living lab och MUEAVI - Multi-User Environment for Autonomous Vehicle Innovation – MUEAVI ( <http://www.cranfield.ac.uk/About/Media-Centre/news-archive/news-2015/Intelligent-mobility-road-to-be-built-at-Cranfield-University> ). Detta är en £9 million “intelligent mobility research facility” – som kommer att användas i utvecklingen av autonoma fordon och de associerade system som behövs för att integrera teknologier för användning i det dagliga livet. Denna anläggning förväntas öppna under åren 2016-2017 tillsammans med ett nytt £10 million ”Integrated Transport Systems Engineering Centre”, för undervisning, träning och utveckling av intelligent mobilitet och transportsystem. MUEAVI erbjuder en kontrollerad forskningsmiljö där man ska kunna köra autonoma fordon. MUEAVI består av en 1 mile lång väg genom Cranfield University som benämns som ”shared surface”, där både fordon och fotgängare har tillträde. Där kommer man att kunna beakta ”dörr-till-dörr”-resor, med hjälp av olika tekniska system. eTicketing, Car-2-X communication, Advanced parking, Fleet management & Crew planning, Adaptive traffic control/Active traffic information, Tolling systems, Drive-by-wire vehicles och Autonomous control är teknologier som nämns som aktuella.

I Tyskland planeras för att använda en delsträcka på autobahn A9 för tester av autonoma fordon (F.A.Z. 2015). I projektet ingår att digitalisera sträckan, dvs. installera nödvändig infrastruktur för att möjliggöra kommunikation mellan fordon och väg, och till exempel tillhandahålla information om trafikflödet på vägen. I en intervju säger Tysklands infrastrukturminister Alexander Dobrindt att den tyska fordonsindustrin inte vill vara beroende av Google och att man i Tyskland vill ha en digital suveränitet, där monopolisering av data motverkas (F.A.Z. 2015).

I Nederländerna driver TNO, the Netherlands organisation for Applied Scientific Research, flera utvecklingsprojekt inom automatisering och fordonskommunikation. i-GAME är ett europeiskt projekt som TNO koordinerar med fokus på kooperativ och interoperabil automatiserad körning och där den andra stora studentutmaningen Grand Cooperative Driving Challenge – the GCDC, kommer att hållas 2016. The GCDC innebär en serie med workshops om verifiering och validering som rundas av med en final med uppvisning i kooperativ körning. TNO ingår även tillsammans med TU Delft i kärngruppen för partnerskapet DAVI (Dutch Automated Vehicle Initiative, <http://davi.connekt.nl>) som utvecklar högautomatiserade fordon för forskning och demonstration på allmänna vägar.

## 6 Scenarier 2020, 2030

Läget idag – 2016 - presenteras tillsammans med två scenarier, imorgon - 2020 när den teknik som utvecklas idag är introducerad och framtiden – 2030 när dagens forskning blivit vardag.

Avsnittet bygger på tidigare avsnitt och referenser pekats inte ut i detalj. Ett antal dokument har varit särskilt intressanta:

- ERTRAC Automated Driving Roadmap Version 5.0 Date: 21/07/2015
- TØI rapport 1450/2015 Førerstøttesystemer, Status och potential för framtiden <https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2015/1450-2015/1450-2015-sum.pdf>
- [http://www.mckinsey.com/insights/high\\_tech\\_telecoms\\_internet/disruptive\\_trends\\_that\\_will\\_transform\\_the\\_auto\\_industry](http://www.mckinsey.com/insights/high_tech_telecoms_internet/disruptive_trends_that_will_transform_the_auto_industry)
- McKinsey 2016. Automotive revolution – perspective towards 2030”
- ERTICO Guide about technologies for future C-ITS service scenarios (ver 01 2015).

### 6.1 2016

#### 6.1.1 Fordon

Förarstöd finns som standard i begränsad utsträckning men som tillval också på små och ganska billiga bilar. 2015 har beroende på definition ca 10% av sålda fordon kvalificerat förarstöd. Andelen ökar snabbt och vi står inför en hög marknadspenetration i nya fordon av sensorsystem som övervakar omgivningen. Det finns alltså alltför många fordon på vägarna som har vissa funktioner automatiserade men med teknisk möjlighet till betydligt mera.

För kommunikation bil-bil (V2x) är läget oklart. Standarden för hårdvaran är ifrågasatt medan förväntningarna på cellulära system ökar allteftersom konturerna för nästa generations system 5G klarnar. Biltillverkarna ligger i startgroparna men eftersom efterfrågan saknas och planer för introduktion i infrastrukturen saknas avvaktar man.

Allt fler bilar övervakar omgivningen med ett antal sensorer som arbetar i siktlinjen. Automatiska system finns tillgängliga men marknadsförs försiktigt som förarstöd. Följande system erbjuds av många tillverkare:

- Autobroms. Finns på många bilar och minskar körockar.
- Lane keeping. Från att tidigare enbart varnat kan systemen ofta köra automatiskt i en målad fil. Systemen kräver övervakning genom att föraren måste röra ratten.
- Lane change assist. Varnar för fara men de mest avancerade styr tillbaka bilen vid fara.
- Kökörning. Följer bilen framför ner till hastighet noll.
- Parkeringshjälp och -automatik.

En omfattande forskning pågår där helautomatiska fordon testas och deras funktion diskuteras. Välkända är t.ex. Googles bilar men många biltillverkare har projekt (<https://www.google.com/selfdrivingcar/>).

De första rapporterna på olyckor med automatiska fordon börjar publiceras. En första iakttagelse är att olyckorna verkar ha blivit fler men samtidigt mindre allvarliga. Orsaken

bakom verkar inte vara klar men kan vara att automatiska fordon har ett annat beteende ([http://www.umich.edu/~umtriswt/PDF/UMTRI-2015-34\\_Abstract\\_English.pdf](http://www.umich.edu/~umtriswt/PDF/UMTRI-2015-34_Abstract_English.pdf)).

### 6.1.2 Infrastruktur

Inget speciellt stöd för automatisk körning finns än i infrastrukturen. Däremot funderingar på vad som bör och kan göras.

Aktuell väginformation till förare finns i flera system (RDS, TMC, Google maps). De uppdateras inte snabbt och ger inte detaljerad information. Tillverkarna lägger därför upp egna informationssystem (t ex Google och Tesla).

### 6.1.3 Regler och standarder

Standarder för C-ITS har kommit långt men implementeringen av dem avvaktar.

UNECE arbetar med certifieringskrav på förarstödssystem och har publicerat de första.

Lagstiftare funderar på hur regelverk behöver anpassas till automatisk körning.

## 6.2 2020

### 6.2.1 Fordon

Experiment med pågår med nya typer av fordon som citybilar och lastbilar för elvägar men utvecklingen drivs mer av miljö än automation. Traditionella fordon dominerar men har hög grad av automation motsvarande SAE J3016/ERTRAC level 3. Fordonet klarar all typ av normal körning men kräver att föraren har fortsatt ansvar och kan gripa in spontant eller vid behov. Fordon på nivå 4 som också klarar att själva ta hand om alla trafiksituationer testkörs. Fullt automatiska fordon finns men inte på det allmänna vägnätet.

På vägarna finns en mix av fordon. Om Ertracs prognoser på utveckling sammanställs med fordonens livslängd som den ser ut 2015 kan mixen se ut ungefär som:

Level 0-1, driver assistance	80%
Level 2, partial automation	15%
Level 3, conditional automation	4%
Level 4, high automation	<1%
Level 5, full automation	0%

Totalt ca 20% har kvalificerat förarstöd med viss automatik. TØIs delphi-studie förutsäger ca 15%.

V2x har funnit sin form och är ett lagkrav i sin enklaste variant. Stöd från 5G-funktionalitet kommer att krävas för många use case och tekniken för det är på väg ut.

Hur långt automationen har kommit i tillgängliga bilar hänger till stor del på hur väl man kan hantera överlämnande av ansvar från bil till förare. Forskning pågår men lösningarna är inte färdiga än.

## 6.2.2 Infrastruktur

Vägnätet ser ut som idag. Målning och skyltning har inte förändrats i någon stor utsträckning. Däremot har medvetandet ökat om vilka krav som ställs på en väg där automatik av en viss nivå ska fungera bra. Bättre underhåll av vägmarkeringar är nödvändigt och placering av skyltar sker med tanke på läsbarhet för kameror.

ITS-system för bättre trafikflöde har blivit ännu viktigare vilket gör att informationen till fordonen blivit mer detaljerad och mera lokal. Nya system från både väghållare och fordonstillverkare tas i drift. Hur de ska utformas för att inte överlasta föraren är en akut fråga.

På avgränsade sträckor kör automatiska fordon. Huvudsakligen är det tester och experiment med fordon i kollektivtrafik men också godstransporter. Begränsningar i hastighet och funktion gör att de ännu inte blandar sig väl med allmän trafik.

Infrastrukturen befinner sig i en brytningstid. Den måste anpassas till stora framtida förändringar styrda av teknikutveckling och miljökrav samtidigt som stora resurser inte längre satsas på vägutbyggnad. Förhoppningarna ställs i stället på ITS.

## 6.2.3 Regler och standarder

Att automatik finns i de flesta nya fordon speglas i regelverk. Reglerna sätter i huvudsak gränser för var och när automatik inte får användas eller under vilka begränsningar (t.ex. hastighet, grad av förarövervakning) den får användas.

I fordonstypgodkännande ingår allt fler krav på certifiering av förarstöd och automatikfunktioner som nått tillräcklig grad av teknisk mognad. De mest avancerade funktionerna utvecklas fortfarande fritt vilket är en huvudbry för lagstiftare och försäkringsbolag. Mjukvaruuppdatering är inte längre frikopplad från typgodkännande. Ändras funktioner i fordonet som påverkar säkerhet eller körförmåga behöver godkännanden kompletteras.

System för certifiering av funktioner för C-ITS/V2x är på väg. Eftersom användningen fortfarande gäller information är behovet inte akut.

Regelverk kring vägutformning ser i stort sett ut som idag men preciseras för att vägar bättre ska kunna tolkas av fordonens sensorer. Det gäller t.ex. utförande av målning och skyltar. Certifiering av vägar utvecklas och omfattar funktioner i ITS.

Medvetandet är utbrett om att den framtida trafiken kommer att innebära stora förändringar.

## 6.3 2030

Sensor- och kommunikationsteknik finns på plats. Automatisk och autonom körning är en teknisk realitet. Infrastrukturen anpassas för nya förutsättningar men samhället kan/hinner inte byggas om på 15 år. Våra arbetsmiljöer, bostadsmiljöer och vägnät ser i stort sett ut som idag. Det har under många år förutspåtts att synen på bilen kommer att förändras. Utvecklingen går inte fort idag (2016) men frågan är om synen på bilkörning och bilägande kommer att ha förändrats dramatiskt i en ny situation. 2030 ser nog bilägandet ut ungefär som 2016. Bilpooler och uthyrning har säkert ökat kraftigt men är koncentrerat till storstadsmiljöer.

Traditionell kollektivtrafik och privata bilar är inte längre de enda alternativen. Fordon från bilpooler och hyrföretag utför en betydande del av trafikarbetet. Autonoma fordon utför en del av trafikarbetet. En enskild fråga som kan vara en drivkraft för autonoma fordon är e-handeln. E-handeln är en av de miljöer som aktivt söker innovativ teknik och är ”early adopters”.

Den överskuggande frågan 2030 är miljö och klimat. Samhället kräver att trafikens miljöpåverkan ska vara låg. Det behöver inte innebära omfattande inskränkningar av bilkörandet utan kan hanteras med bättre teknik. Incitament, dvs. skatter och liknande styrmedel, kommer vara det medel som används.

### 6.3.1 Fordon

Personbilen kan hantera alla nivåer av automatik. Automatik innebär inte någon särskild fördyring av fordon utan den kommer att finnas och vara standard i alla prisklasser. En grov gissning baserad på Ertracs prognoser om tillgång på automatiska funktioner och livslängden på bilar ger en fordonspark som ser ut som:

Level 0-1, driver assistance	10%
Level 2, partial automation	20%
Level 3, conditional automation	20%
Level 4, high automation	40%
Level 5, full automation	10%

I den här uppskattningen har de flesta fordon kvalificerat förarstöd och också automatik. TØIs delphi-studie är betydligt mera konservativ och förutsäger ca 50%.

Halva fordonsparken har en långt gående automation som möjliggör nya typer av trafik och autonoma fordon är en del av trafiken. Kollektivtrafiken kör till betydande delar autonomt.

Godstransporter körs autonomt på standardrutter och med blandade nivåer av automatik i övriga fall.

### 6.3.2 Infrastruktur

De stora väginfrastrukturprojektens tid är förbi. Nya tekniska möjligheter och miljökrav har däremot skapat en långtgående anpassning av väg- och gatunät.

I innerstaden är personbilar till stor del förbjudna. Utvecklingen är inte färdig men styr mot ett scenario där innerstadstrafiken utgörs av automatisk kollektivtrafik där pulsådrarna hanteras av långa bussar med anpassade hållplatser och körfiler. Ett tätt nät av små automatiska bussar sköter närtrafiken. Manuella bussar används i äldre miljöer som är svåra eller känsliga att anpassa. Transporter är också till betydande del automatiserade. Införandet av spårbunden trafik har kommit av sig eftersom den är oflexibel och dyr. Autonoma fordon för korta person- och godstransporter har potential för en stor påverkan av kollektivtrafiken. De kan till och med skapa ett ökat trafikarbete. En viktig fråga är tillgången på parkering i skarvarna mellan trafiksystem.

Stora trafikleder och motorvägar är anpassade till automatisk körning. Kapaciteten har utökats genom att filer för automatisk körning införts med nya vägmarkeringar. De är smalare och fordonen håller kortare avstånd. Fortfarande är trafiken blandad mellan olika fordonstyper vilket än så länge omöjliggör helt dynamiska körfält utan markeringar.



ITS och V2x är givna förutsättningar för utvecklingen men fullt stöd finns inte ännu i alla fordon.

I ytterstad och på landsbygd har inte så mycket hänt. Fordonen är säkrare genom sina sensorfunktioner men har inte mycket stöd av väg, ITS eller C-ITS.

### **6.3.3 Regler och standarder**

Förståelsen för hur säkerhet i automatisk och i manuell körning fungerar har kommit långt. Tekniken kommer att vara så pass mogen och standardiserad att väghållaren kan delta i fordonens beslutsfattande om val av körfiler, automatiseringsgrad etc.

Infrastrukturen anpassas till automatisk körning som därför premieras i skatte- och avgiftssystem för att driva på utvecklingen och påverka utvecklingen. Vägtullar finns i stor utsträckning och har differentierade taxor med lägre kostnad i ”automatfiler”. Drivkraften är effektivare trafik och utnyttjande av vägnätet.

Gränssnittet mellan väg och fordon blir så viktigt att funktionen måste standardiseras och certifieras både på väg och i fordon. För fordon vidareutvecklas UNECE-reglementen medan ett nytt system behöver skapas för vägen.

## 7 Särskilda utmaningar i teknik och regelverk

ERTRAC (European Road Transport Research Advisory Council, [www.ertrac.com](http://www.ertrac.com)) skriver om möjligheterna med automatisering ur samhällets synvinkel och nämner säkerhet, energieffektivitet, pålitlighet i tidtabeller och tillgänglighet i stadsmiljö. ERTRAC har dock tunt med beskrivningar och hypoteser om hur sambanden mellan automatisering av fordon och dessa möjligheter i praktiken ser ut. Däremot ser man ett par konkreta områden man bör arbeta med;

- falsklarm från sensorer (false positive detection)
- sensorprestanda
- körstrategier i en blandad trafik (olika fordon och icke-automatiserade fordon)
- konstruera och verifiera felsäkra och störningstoleranta system
- harmonisering av lagkrav och regelverk på Europainivå.

Det ovanstående kan ses som de närliggande utmaningarna som ska underlätta för en bred marknadsintroduktion av automatiserad körning. Fördelarna med denna automatisering är riktade främst mot de enskilda fordonsförarna (som kan göra annat medan bilen kör själv).

ERTRAC nämner områden som är mest förknippade med fordonen, men det finns förstås också områden inom infrastruktur som också är närliggande. Det första man tänker på är hur en väg lämplig för automatiserad körning ska se ut vad gäller antal körfält, vägmarkeringar, etc., men ett annat viktigt område är vilka vägar och gator man kan ha automatiserad körning på. Här finns inte ett svar, men man kan se några alternativ. Här är tre;

1. Det är föraren som avgör om det är lämpligt med automatiserad körning. (Givet att bilen har den indata den behöver från sensorer etc.) (Ungefär denna lösning har t.ex. Tesla.)
2. Fordonstillverkaren möjliggör automatiserad körning bara på vägar som de har verifierat sitt fordon på. (Denna inriktning har vissa fordonstillverkare.)
3. Väghållaren förbjuder automatiserad körning på vägar som är olämpliga. (Underförstått att det är upp till föraren eller fordonstillverkaren att besluta om automatiserad körning på övriga vägar.)

Vilken av dessa, eller kanske någon variant av dessa, som blir rådande måste förstås arbetas fram i samförstånd mellan samhällets olika parter. Klart är att fordonsindustrin av konkurrensskäl inte kommer att vänta på att samhället/infrastrukturen ska "godkänna" vägar för automatiserad körning. De utvecklar sina system till att bli mer och mer kompetenta i den befintliga vägmiljön. Således kommer alternativ a) och b) att vara rådande till en början.

Ett önskemål Trafikverket har på automatisering är att det ska ge ökad yteffektivitet. En möjlighet att åstadkomma detta på befintliga vägar är genom att t.ex. ha smalare körfält (=fler körfält) och tätare mellan bilarna. Det kan göras med teknik som ger en högre körprecision än vad en förare kan prestera (ett exempel är kolonnkörning). En viktig aspekt detta för med sig är att föraren inte kan överta kontroll av fordonet direkt, eftersom den automatiserade körningen sker i ett tillstånd som föraren inte kan kontrollera. Vilka krav ställer detta på systemdesign och säkerhet? Denna typ av automatisering ställer stora utmaningar på kommunikationen mellan fordon och infrastruktur då

automatiseringsfunktionen realiseras både i infrastruktur och i fordon. Även ansvarsfrågan måste redas ut när systemen fungerar på detta vis. För att få högre yteffektivitet krävs således en högre grad av automatisering. Utvecklingen av sådana system kommer troligtvis att ta relativt lång tid. Även regelverk för detta måste utarbetas innan en introduktion.

Sammanfattning av utmaningar för automatiserad körning ur ett infrastrukturperspektiv:

De närliggande utmaningarna:

- Designkrav för vägar för automatiserad körning. Detta kan innefatta geometriska faktorer (kurvradii, topografi), vägutrustningar, vägmarkeringar, vägskyltar, signaler, körfält, P-platser, etc. Hänsyn ska tas till fordonens sensoregenskaper (kamera och radar).
- Standard och underhåll. Hur ska funktionskrav för slitage och nedsmutsning på t.ex. vägmarkeringar och skyltar se ut. Eventuellt ställs det högre krav på monitorering av status; procedur och frekvens etc.
- Intelligent transport system (ITS): Hur kommer utvecklingen av de framtida ITS att se ut? Vilken information vill väghållaren skicka till fordonen? Vilken information vill väghållaren ha av fordonen?
- Utredning om vilka vägar och gator som inte är lämpliga för automatiserad körning: Hur ska frågan hanteras?
- Harmonisering av lagkrav och regelverk på (minst) Europeanivå.

Utmaningar på längre sikt:

- Hur ska man utforma befintliga vägar och reglering av trafik för att få effektivare trafikarbete?
- Hur hanterar man ansvarsfrågan i högt automatiserade system där föraren inte omedelbart är förmögen att överta kontroll av fordonet?

Slutligen, en utmaning som är gemensam för alla inom transportsystemet är den om olika långa livscyklar. Infrastruktur har en livscykel på mer än 20 år, fordon typiskt 5-20 år, datorer/elektronik typiskt 2-5 år, mjukvaror typiskt 1-24 månader. Alla dessa är med i den framtida transportautomationen. Det kommer att samexistera många varianter av infrastruktur, fordon och mjukvaror. Hur ska detta hanteras?

## 8 Referenser

- Ballantyne, B. (2015). *Are we nearing the end of the line for road markings?* Infrastructure Intelligence, September 2015.
- Bamonte, T. J. (2013). *Drivers of change*. Transportation Management & Engineering, summer 2013.
- Bertoncello, M. & Wee, D. (2014). *Ten ways autonomous driving could redefine the automotive world*. McKinsey&Company.
- Daher, R & Vinel, A (2012) *Roadside Networks for Vehicular Communications: Architectures, Applications, and Test Fields*
- Drive Sweden (2016). Websida: <http://www.drivesweden.net/>
- Eriksson et al. (2008) *The Pothole Patrol: Using a Mobile Sensor Network for Road Surface Monitoring*, Proceedings of the 6th international conference on Mobile systems, applications, and services, 29-39
- F.A.Z. (2015). *Dobrinđt plant Teststrecke für selbstfahrende Autos*. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 2015-01-25.
- Gitlin, J. M. (2015). *Talking the safety of self-driving cars with Volvo*. Ars technica, oktober 2015.
- Green, J. (2015). *How autonomous vehicles will change the built environment*. The Dirt, American Society of Landscape Architects.
- Guildford, D. (2014). *Like EVs, self-guided cars need infrastructure*. Automotive news, mars 2014.
- Hodson, H. (2015). *The four main roadblocks holding up self-driving cars*. New Scientist, februari 2015.
- Litman, T. (2015). *Autonomous vehicle implementation predictions – Implications for transport planning*. Victoria Transport Policy Institute.
- Pastor, J. D. & Mackay, S. D. (2015). *Virginia Tech Transportation Institute, partners test automated, connected vehicles on interstate*. Virginia Tech News, oktober 2015.
- Patel, V. N. (2015). *Q&A: A traffic engineer on the future of autonomous vehicles*. Inverse, September 2015.
- Pinjari, A. R., Augustin, B., Menon, N. (2013). *Highway capacity impacts of autonomous vehicles: An assessment*. Center for urban transportation research, CUTR, November 2013.
- Rebsamen, B; Bandyopadhyay, T; Wongpiromsarn, T; Kim, S; Chong, Z.J; Qin, B; Ang, M.H; Frazzoli, E; Rus, D (2012). *Utilizing the infrastructure to assist autonomous vehicles in a mobility on demand context*. TENCON 2012 - 2012 IEEE Region 10 Conference.
- Rodoulis, S. (2014). *The impact of autonomous vehicles on cities*. Journeys, November 2014.

Sung, K-B., Min, K-W., Kim, J-W. & Choi, J-D. (2013). *Autonomous vehicle guidance system with infrastructure*. 7<sup>th</sup> international conference on signal processing and communication systems (ICSPCS) 2013.

Utexas (2015). *Autonomous intersection management*. Web page:  
<http://www.cs.utexas.edu/~aim/>

Vacek, S., Schimmel, C. & Dillmann, R. (2007). *Road-marking analysis for autonomous vehicle guidance*. ECMR conference, 2007.

Vittorio et al., (2014) *Automated sensing system for monitoring of road surface quality by mobile devices*, Procedia - Social and Behavioral Sciences 111 ( 2014 ) 242 – 251

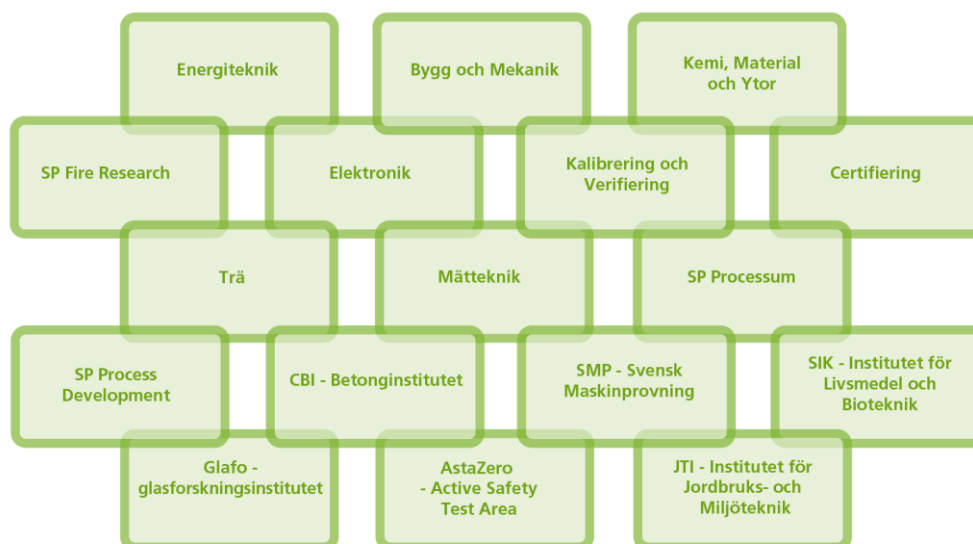
Volvo Car Group (2014). *Volvo Car Group tests road magnets for accurate positioning of self-driving cars*. Press release, Volvo Car Group, mars 2014.

Watson, M. (2015). *Toyota's autonomous car tech on test in Tokyo*. AutoExpress, November 2015.

Wuthishuwong, C., Traechtler, A. & Bruns, T. (2015). *Safe trajectory planning for autonomous intersection management by using vehicle to infrastructure communication*. EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking, 2015:33.

### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

SP Rapport 2015:XX

ISBN XXXX-XX

ISSN 0284-5172