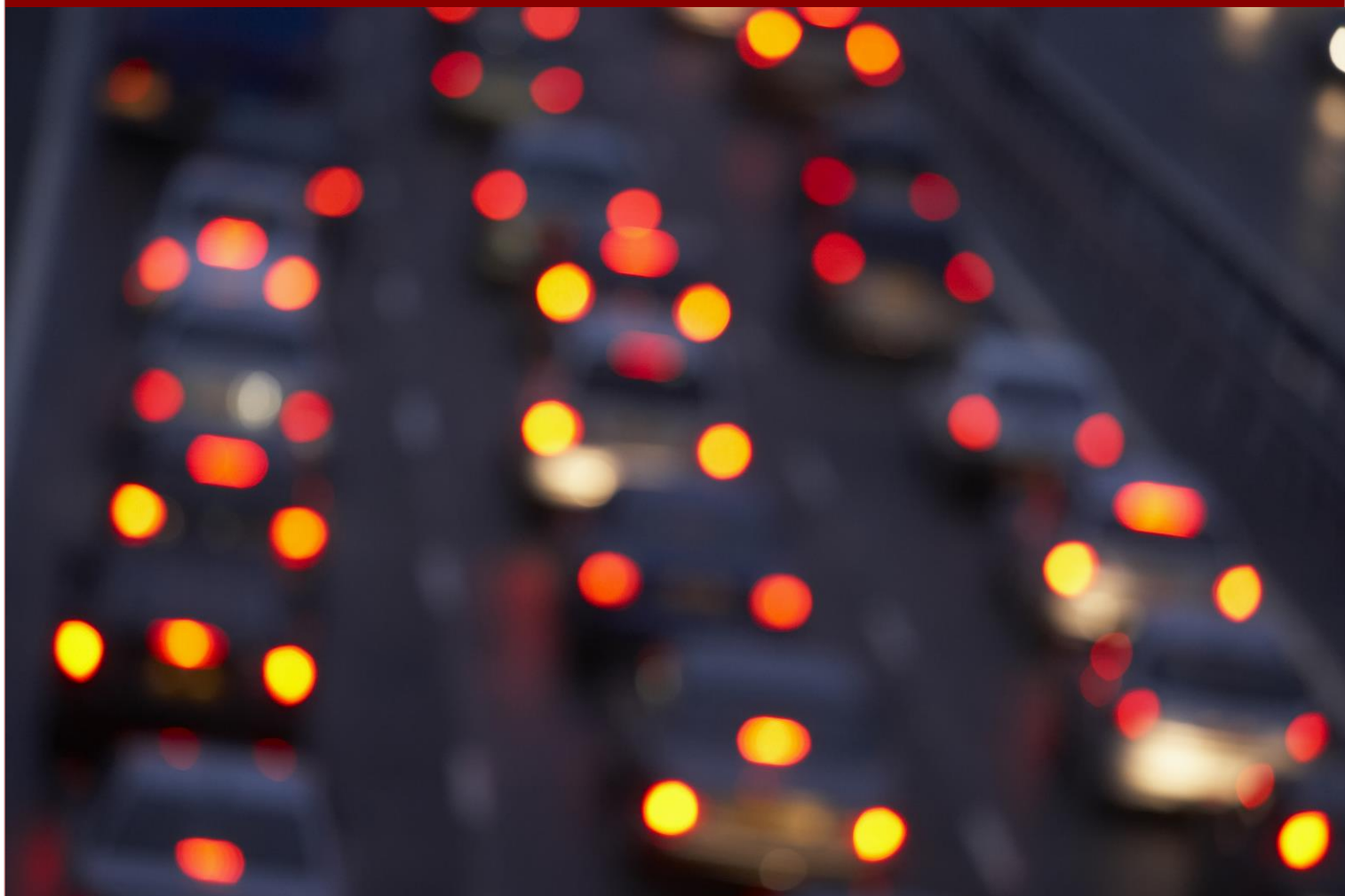


PM

Köproblem

Kunskapsunderlag Digitalisering av
vägtransportsystemet



Trafikverket

Postadress: Röda vägen 1, 781 70, Borlänge

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

Konfidentialitetsnivå: 1 – Ej känslig

Dokumenttitel: Köproblem - Kunskapsunderlag Digitalisering av
vägtransportsystemet

Författare: Ludwig von Werder, AFRY, Fredric Aldelind, AFRY, Jonna
Bäckström och Peter Smeds Trafikverket

Dokumentdatum: 2024-09-17

Kontaktperson: Jonna Bäckström, Trafikverket

Innehåll

Köproblem	1
Begreppsförklaringar	4
1 Inledning	5
1.1 Bakgrund.....	5
1.2 Syfte.....	5
1.3 Hur kunskapsunderlaget ska tillämpas	6
2 Vad är ett köproblem?	7
3 Hur vägnära ITS kan motverka köproblem	10
3.1 Vanligt förekommande vägnära ITS-åtgärder i motorvägsregleringssystem (MCS).....	10
3.2 Restidsinformation, störningsinformation och omledning	12
3.3 Vägnära ITS-åtgärder för specifika kontexter	12
4 Hur avancerade förarstödsystem kan motverka köproblem	14
4.1 Hastighetsstöd	15
5 Hur digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon kan motverka köproblem	21
5.1 Information från navigationstjänster.....	23
5.2 Fordon-till-fordon-kommunikation	24
6 Att motverka köproblem med utgångspunkt i digitaliseringen av vägtransportsystemet – en bedömningsfråga	26
6.1 Avancerade förarstödsystem.....	27
6.2 Digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon	27
6.3 Planera med ITS för att motverka köproblem i framtiden	28
Referenser.....	31

Begreppsförklaringar

ITS – En förkortning för intelligenta transportsystem. Samlingsnamn för informationsteknik som används för att skapa ett förbättrat transportsystem.

Intelligenta transportsystem definieras enligt ITS-direktivet som ”system med informations- och kommunikationsteknik som tillämpas för transporter på väg, inbegripet infrastruktur, fordon och användare, trafikledning och mobilitetshantering, samt för gränssnitt mot andra transportslag” (Regeringskansliet, 2013).

Vägnära ITS – Vägnära ITS-åtgärder omfattar omställbara vägmärken, signaler och elektroniska system som syftar till att kommunicera information från väghållaren på ett dynamiskt vis, där budskapen anpassas efter situation och behov.

Avancerade förarstödsystem – Teknologiska funktioner som hjälper föraren att framföra fordonet på ett mer säkert och effektivt sätt. Automatisk nödbroms, hastighetsstöd och kurshållningsstöd är några exempel på avancerade förarstödsystem.

Digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon – Tillhandahålls till förare och fordon med syfte att förbättra och förenkla körningen (Trafikverket, 2024). Navigationssystem är ett exempel på en digital tjänst som ger vägledning och informerar om exempelvis hinder på vägen eller hastighetsgränser.

ITS-direktivet – Det direktiv vars fullständiga namn är ”Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/40/EU av den 7 juli 2010 om ett ramverk för införande av intelligenta transportsystem på vägtransportområdet och för gränssnitt mot andra transportslag”. Samt direktivets revidering som har ratificerats under 2023.

Trafikverkets ställningstagande för digitalisering av vägtransportsystemet – Beslut från 2021 om Trafikverkets ställningstagande för digitalisering av vägtransportsystemet i syfte att utgöra den externa kommunikationen kring Trafikverkets roll och inriktning i det digitala ekosystemet (Trafikverket, 2021).

Fyrstegsprincipen – Trafikverket arbetsstrategi för att säkerställa en god resurshållning. Utgår från stegen: 1. Tänk om, 2. Optimera, 3. Bygg om och 4. Bygg nytt.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Detta dokument är en del av flera kunskapsunderlag om hur den digitala utvecklingen av vägtransportsystemet påverkar planeringen av åtgärder inom Trafikverkets organisation, i syfte att bidra till förbättring av vägtransportsystemet.

I takt med att utvecklingen och marknadspenetrationen av avancerade förarstödsystem och digitala tjänster ökar förändras användandet av vägtransportsystemet. Uppskattningsvis är 64% av alla nya sålda personbilar idag uppkopplade, och 2031 uppskattas 100% av alla nya sålda personbilar vara uppkopplade¹. Enligt Trafikanalys (2020) kommer i princip samtliga fordon vara uppkopplade år 2050. I och med EU-förordning 2019/2155² kommer utrustning med ett flertal avancerade förarstödsystem vara ett krav vid alla nybilsförsäljningar i EU från juli 2024, vilket påskyndar införandet av dessa system.

Avancerade förarstödsystem och digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon förväntas fortsatt bidra positivt till de transportpolitiska målen. Genom att stötta och dra nytta av de avancerade förarstödsystem och digitala tjänster som finns i allt fler fordon kan de komma att komplettera, och på sikt även ersätta behovet av vissa traditionella åtgärder som hanterar olika brister i vägtransportsystemet idag.

1.2 Syfte

Denna PM syftar till att öka kunskapen om hur utvecklingen av avancerade förarstödsystem och digitala tjänster riktade till uppkopplade fordon påverkar kapacitetsbrist och köproblem i vägtransportsystemet. Kunskapsunderlaget ska ge läsaren möjlighet att ta digitaliseringen av vägtransportsystemet i beaktning i sin egen analys av nuvarande och framtida tillstånd, brister samt vid olika åtgärdsförslag i vägtransportsystemet.

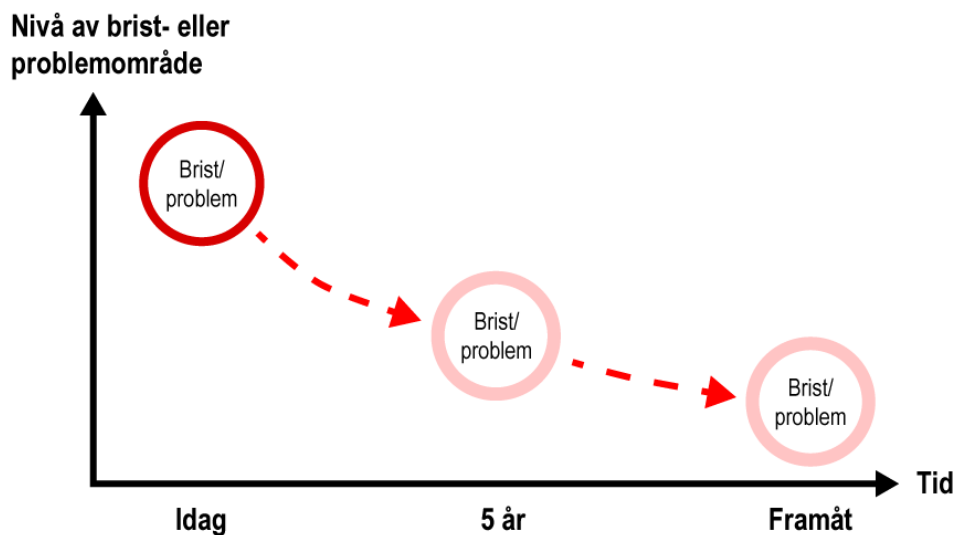
¹ Fordonsflottans utveckling – Avancerade förarstödsystem och digitala tjänster. 2024. Trafikverket

² EU Förordning 2019/2144, (2019). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2144>

1.3 Hur kunskapsunderlaget ska tillämpas

Digitaliseringen av vägtransportsystemet påverkar såväl nulägesbeskrivningen som analysen av ett brist- eller problemområde och val av potentiella åtgärder. När ett brist- eller problemområde analyseras ska detta kunskapsunderlag användas för att ge förståelse för om det är troligt att potentiella lösningsalternativ påverkas helt, delvis eller inte alls, av avancerade förarstödsystem och digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon inom planeringshorisonten för den aktuella planprocessen.

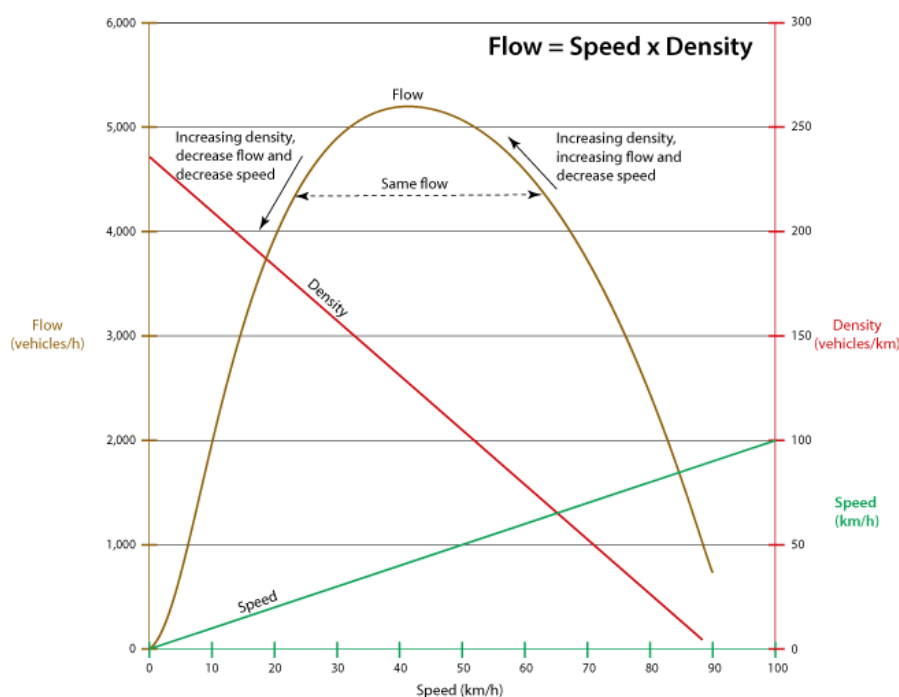
Det kan också vara så att digitaliseringen av vägtransportsystemet motverkar det identifierade brist- eller problemområdet per automatik till följd av den snabba utvecklingen. Det kan vara så att vad som är en brist år 2024 endast delvis är en brist inom några år för att sedan övergå till att inte alls vara det längre fram i tiden. Denna utveckling, som i vissa fall kan antas vara sannolik illustreras med en graf i Figur 1 **Fel! Hittar inte referenskölla..**



Figur 1. Schematisk beskrivning av hur omfattningen av ett brist- eller problemområde kan minska över tid till följd av digitalisering av vägtransportsystemet

2 Vad är ett köproblem?

Framkomlighetsproblemet kö kan definieras och upplevas olika i olika sammanhang. Ibland används tröskelvärden på den hastighet som fordon färdas i som ett mått för att beskriva om en kö har uppstått eller avtagit. Ett annat begrepp för att beskriva fenomenet är ett trafiksammanbrott, som kan förklaras med att det skett en övergång i en trafiksituation från fritt flöde till trängsel. Upplevelsen av en kö är dessutom subjektiv och upplevs på olika sätt av olika resenärer. Generellt kan det konstateras att en kö uppstår när trafikflödet – *efterfrågan* – är större än kapaciteten – *utbudet* – i en sträcka eller en korsning.



Figur 2. Relationen mellan flöde, hastighet och densitet i trafiken enligt "Fundamental diagram of traffic flow"

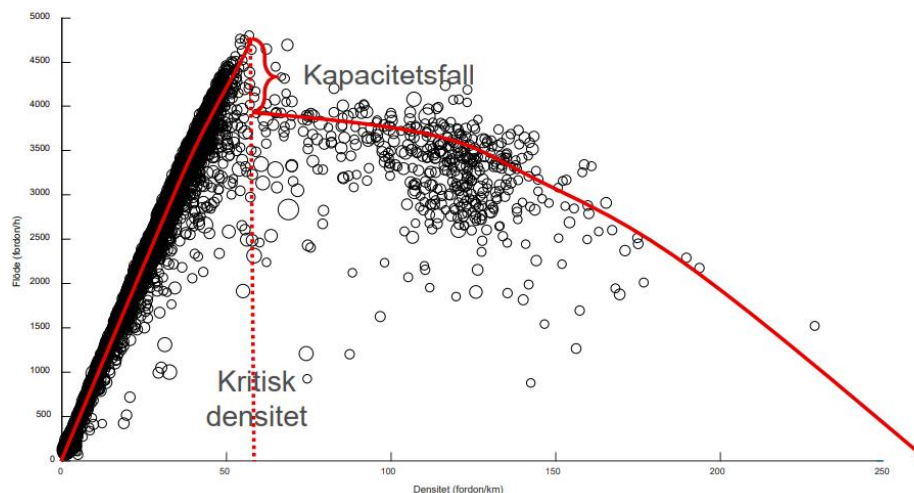
I Figur 2 förklaras relationen mellan flöde, hastighet och densitet i trafiken. I samband med att antalet fordon ökar (det vill säga densiteten av fordon) stiger flödet på sträckan. När densiteten stiger minskar den hastighet som fordonen kan åka, samtidigt ökar inledningsvis flödet. Om densiteten fortsätter stiga uppstår ett trafiksammanbrott och det totala flödet avstannar. Att hastigheten är lägre än den föreskrivna hastigheten längs en sträcka betyder inte nödvändigtvis att ett köproblem har uppstått eftersom flödet trots sänkt hastighet kan vara högre.

En sträckas eller korsnings maximala kapacitet beror på antal körfält och hastighetsgräns men även andra faktorer såsom väder, siktklass, vägbredd

och andel tunga fordon. Tillfällen då kapacitetstaket uppnås på grund av ökade trafikmängder kan vara vid olika tidpunkter på dygnet (exempelvis rusningstid) eller vid storhelger och skollov. Utöver för hög trafikefterfrågan uppstår framkomlighetsproblem till följd av incidenter i vägnätet.

I takt med att densiteten i trafiken ökar blir flödet mer instabilt (Stern et al, 2018). Stop-and-go-vågor och fantomköer kan exempelvis orsakas av små störningar som fortplantas bakåt (uppströms mot flödet) i vägtrafiken. En typisk störningsorsak är filbyten, men även utan filbyten, flaskhalsar eller andra konkreta störningsmoment kan stop-and-go-vågor och fantomköer uppkomma. Anledning till deras förekomst är den kollektiva kördynamiken hos de som är i trafiken.

Flaskhalsar framträder särskilt vid hög belastning och när kapaciteten minskar (Grumert m.fl., 2021). Återkommande flaskhalsar inkluderar bland annat minskat antal körfält samt på- och avfarter på motorvägar. Vid flaskhalsar uppstår även så kallade kapacitetsfall, där trafikflödet periodvis sjunker mer än förväntat baserat på sträckans kapacitet till följd av flaskhalsen. Orsaker till att kapaciteten minskar kan vara ökade körfältsbyten när trafiken närmar sig kapacitetsnivåer och plötsliga hastighetsförändringar. Kapacitetsfallet illustreras genom att studera förhållandet mellan trafikflöde, trafikdensitet och hastighet vid flaskhalsen i Figur 3. Vid kritisk densitet, där risk för inbromsningar och incidenter ökar, kan ett tydligt kapacitetsfall observeras, vilket resulterar i nedsatt framkomlighet och trafikstockningar.



Figur 3. Kapacitetsfall som uppstår vid flaskhals (Grumert m.fl., u.å.)

Flödet i trafiken påverkas av de många olika fordon och förare som utgör denna. Fordon har exempelvis olika förmåga att accelerera och bromsa in

eller att bibehålla hastigheten vid uppförs- och nedförsbackar. Förare uppvisar i sin tur olika körbeteenden där vissa är mer aggressiva och andra mer passiva i sina körstilar.

Framkomligheten har blivit ett allt större problem och det är viktigt att upprätthålla ett effektivt trafikflöde (Grumert m.fl., 2023). Bristande framkomlighet kan leda till en rad negativa konsekvenser såsom förseningar, ökade transportkostnader, minskad produktivitet, ökad miljöpåverkan, och trafikolyckor (Ahlberg, 2015). Det kan också leda till ökad sårbarhet i systemet, där små fel kan sprida sig och orsaka stora störningar när infrastrukturen opereras nära kapacitetsgränsen. De samhällsekonomiska kostnaderna för störningar i vägtrafiken är betydande i hela landet men främst i storstadsregionerna.

3 Hur vägnära ITS kan motverka köproblem

Vägnära ITS-åtgärder omfattar omställbara vägmärken (variabla meddelandeskyltar, VMS), signaler och system som syftar till att kommunicera information från väghållaren på ett dynamiskt vis, där budskapen anpassas efter situation och behov. Det finns olika avancerade vägnära ITS-åtgärder som kräver olika omfattande investeringar och undersystem. De kräver ofta tillgång till elektricitet och uppkoppling mot styrsystem. Vissa vägnära ITS-åtgärder förutsätter att det finns system för mätning av trafikflödet genom att fordonens hastighet registreras vid olika punkter på vägen. Kontexten avgör vilken typ av vägnära ITS-åtgärd som kan vara lämplig för hantering av ett visst brist- eller problemområde.

Köproblem kan förebyggas och hanteras med vägnära ITS-åtgärder på flera olika sätt. Några exempel på tekniska system är variabla hastigheter, rekommenderade variabla hastigheter och incidentvarningssystem. Dessa ryms inom den större vägnära ITS-åtgärden motorvägsreglering (MCS) men kan också implementeras som mindre fristående vägnära ITS-åtgärder. Restidsinformation, påfartsreglering och reversibla körfält kan också förebygga köproblem men förekommer vanligtvis inte i ett MCS.

Traditionell trafiksignalstyrning är en av flera tekniska system som kan ingå i definitionen av vägnära ITS men som inte inkluderas i detta kunskapsunderlag. Ett annat exempel på ett sådant system är trängselavgifter.

3.1 Vanligt förekommande vägnära ITS-åtgärder i motorvägsregleringssystem (MCS)

Motorvägsregleringssystem (MCS) syftar till att förbättra trafiksäkerheten, minska och varna om köer samt upprätthålla god framkomlighet. Genom MCS kan bland annat körfält stängas av, varningar för exempelvis kö meddelas och hastigheter varieras.

Variabla hastigheter

Variabla hastigheter kan informeras genom MCS-system och kan skyltas genom fristående vägmärken vid vägsidan eller via körfältssignaler ovanför varje körfält. Det finns två olika vägnära ITS-åtgärder som tillämpar variabla hastighetsgränser (Trafikverket, 2022). Den ena är en föreskriven variabel hastighetsgräns längs en sträcka, vilket kräver en lokal trafikföreskrift. Den andra är en rekommenderad högsta hastighet

som inte kräver en lokal trafikföreskrift. De två variabla hastigheterna uppfyller olika syften och skyltas olika (Grumert et al., 2023). Dessa skyltar visas i Figur 4.



Figur 4. Två olika variabla hastigheter. Till vänster visas variabel föreskriven hastighet och till höger syns rekommenderad högsta hastighet

Variabla hastighetsgränser gör att trafikanter bättre anpassar hastigheten till trafiksituationen än vid traditionell utmärkning med plåtskyltar. På de sträckor där variabla hastighetsgränser har implementerats har olycksrisken minskat, tempot har blivit lugnare, och framkomligheten har förbättrats något (Trafikverket, 2022).

Variabla föreskrivna hastigheter kan implementeras med en strategi för att homogenisera, fordonens hastigheter, där styrningen aktiveras vid närmande kritiska trafikförhållanden för att förebygga ett trafiksammanbrott (Grumert et al., 2023). Hastighetsgränsen sänks tillräckligt för att homogenisera hastigheterna, underlätta vävning och undvika onödiga omkörningar vid en identifierad flaskhals.

Rekommenderade hastigheter aktiveras vid incidenter såsom trafikolyckor eller kö (Grumert et al., 2023). Målet med systemet är att förhindra olyckor till följd av en redan inträffad händelse.

Blinkande ljus kombineras ofta med en variabel rekommenderad hastighet och motivationsskyltar som varnar för incident nedströms, exempelvis med varning för kö. Olika rekommenderade hastigheter kan vid samma tidpunkt förekomma i olika körfält, exempelvis där det finns avfartskörfält.

Körfältsavstängning

Körfältsavstängning kan ske via ett MCS genom att ett rött kryss visas i den variabla meddelandeskylt som är placerad över det avstängda körfältet. Körfält kan stängas av i direkt anslutning till en inträffad incident för att varna om och förhindra följdolyckor såsom upphinnandeolyckor.

Körfältsavstängning berör vanligtvis kortare sträckor men kan också användas för att stänga av längre körsträckor till förmån för uttryckningsfordon. Detta kallas för en tillfällig räddningsgata och syftar till att minska framkörningstiden för blåljusfordon (Trafikverket, 2022)

3.2 Restidsinformation, störningsinformation och omledning

Restidsinformation har flera syften, bland annat att minska stress och förbättra framkomligheten genom att möjliggöra alternativa vägval vid köbildning och incidenter (Trafikverket, 2011). Åtgärderna förebygger och hanterar således köproblem. Störningsinformation på trafikinformationstavlor, vanligtvis använd på motorvägar och större vägar, kombineras med grafiska symboler och kan kompletteras med incidentvarningsskyltar. Studier visar att trafikanter föredrar tidig information om framkomlighet, helst via olika kanaler. I realtid kan restidsinformation jämna ut trafikbelastningen mellan lederna, och omkring 20–30 % av bilisterna väljer alternativa vägar när störningar meddelas på omställbara informationstavlor (ibid.).

Restider mäts med detektorer som registrerar antal fordon och hastigheter³. Information upphandlas också från navigationstjänsteleverantörer. En diskussion som uppstår kring VMS-skyltar med restids- och omledningsinformation är huruvida den ökade användningen av navigationsrelaterade tjänster i fordon påverkar användandet av dessa skyltar⁴. Förare kan välja att utgå från informationen som den redan fått via sin navigationstjänst, vilket gör att skyltar med restids- och omledningsinformation blir sekundär.

3.3 Vägnära ITS-åtgärder för specifika kontexter

Påfartsreglering

Påfartssignaler används vid hög trafikbelastning för att begränsa tillträdet från tillfartsramper till huvudvägen. Rampens trafiksignaler, utrustade med tilläggstavlor, tillåter endast ett fordon per grönt ljus och bryter upp kolonner för smidig invävning och minskad risk för lokala trafikstörningar. Anläggningen stängs av vid lågtrafik för att optimera dess funktion. Påfartsreglering förväntas minska köbildning och öka medelhastigheten på huvudvägen (Trafikverket, 2023).

³ Intervju med medarbetare, 16 oktober 2023

⁴ Intervju med medarbetare, 25 oktober 2023

Påfartsregleringens effekt beror på lokala förhållanden och trafiksituation, och kräver särskilda förutsättningar.

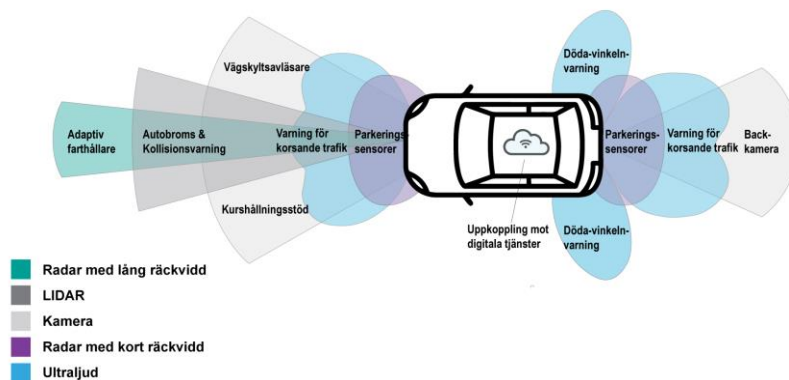
Reversibla körfält

Reversibla körfält på trefilig väg reglerar trafiken genom att variera mittfältets körriktning (Trafikverket, 2011). Ett extra körfält används växelvis av båda riktningarna, förändring signaleras av omställbara vägmärken. Det förbättrar säkerheten och effektiviteten i vägutnyttjandet.

4 Hur avancerade förarstödsystem kan motverka köproblem

Avancerade förarstödsystem är teknologiska fordonsfunktioner som hjälper föraren att framföra fordonet på ett mer säkert och effektivt sätt. Inom fordonsindustrin läggs stora resurser på utvecklingen av avancerade förarstödsystem. De avancerade förarstödsystemens funktion säkerställs på olika sätt, exempelvis genom att läsa in sin omgivning och/eller hantera digital information om infrastrukturen och trafiken för att automatiskt agera i olika situationer eller under vissa förutsättningar. Vissa avancerade förarstödsystem fungerar utan någon interaktion med infrastrukturen, medan andra interagerar med exempelvis vägmarkeringar för att upprätthålla funktionen. Tillgång till digitala trafikregler som publicerats av infrastrukturhållaren ökar pålitligheten hos vissa avancerade förarstödsystem. Vid körning av fordon utrustade med avancerade förarstödsystem är föraren idag ansvarig för och övervakar körningen, även då de avancerade förarstödsystemen är aktiva.

Fordon med avancerade förarstödsystem läser av både den fysiska väginfrastrukturen och digital information. Olika typer av information kan samlas in av olika sensorer i fordonet, som kameror, radar och lidar samt genom navigeringstjänster, molnplattformar och HD-kartor, se Figur 5. Många avancerade förarstödsystem läser i dagsläget av och tolkar information från vägmärken, trafiksignaler och vägmarkeringar. Även digitala trafikregler och digital information om vägens skick, utformning samt data kopplat till geografin används av avancerade förarstödsystem. Den digitala informationen antas få en större roll för systemen i framtiden.



Figur 5. Några olika typer av avancerade förarstödsystem och vilka informationsinsamlingsmetoder de tillämpar

Redan idag påverkar ett antal avancerade förarstödsystem hur förare framför fordon och i framtiden ökar penetrationsgraden av avancerade förarstödsystem i fordonsflottan. Från juli 2024 kommer utrustning med ett flertal avancerade förarstödsystem vara ett krav vid alla nybilsförsäljningar i EU. Ett av dessa kravställda avancerade förarstödsystem är intelligent hastighetsstöd (Intelligent Speed Assist (ISA) som kommer ha en positiv effekt på trafikflödet i vägtransportssystemet (se vidare beskrivning i avsnitt 0). Pålitligheten hos ISA-systemet förbättras då digitala trafikregler finns tillgängliga.

Till skillnad från de tydliga positiva effekterna som avancerade förarstödsystem ger avseende trafiksäkerhet, råder det delade uppfattningar om hur systemen påverkar framkomligheten i vägtransportssystemet. Det är även osäkert i vilken grad förarstödsystemen avaktiveras eller behålls aktiverade av förare. Något som är säkert är att avancerade förarstödsystem blir allt vanligare och mer sofistikerade och att de kommer att påverka hur trafiken ser ut i vägtransportssystem.

I detta avsnitt beskrivs olika typer av hastighetsstöd. Dessa system bedöms ha störst förväntad effekt på köproblem då de påverkar flöde och hastighet i vägtransportssystemet. De olika hastighetsstöden som redogörs för i detta kunskapsunderlag syftar till att öka hastighetsefterlevnad och stabilisera trafikflödet. I detta kunskapsunderlag beskrivs inte de avancerade förarstödsystem som endast syftar till att förhindra olika typer av trafikolyckor, även om avsaknaden av sådana incidenter har en positiv effekt på kapaciteten och således framkomligheten längs en sträcka.

4.1 Hastighetsstöd

Hastighetsstöd innebär stöd till föraren att hålla fordonet inom angiven hastighetsgräns med hjälp av information och/eller varningar i fordonet. Vissa typer av hastighetsstöd informerar föraren om trafikregler som det inhämtat genom exempelvis kameror och digitala kartdata. Andra har en mer styrande funktion gällande hastighetsefterlevnad, exempelvis Intelligent hastighetsstöd (Intelligent Speed Assistance (ISA)). Det finns även avancerade förarstödsystem med hastighetsstöd som syftar till att öka trafiksäkerhet och komfort genom att automatiskt anpassa fordonets avstånd till framförvarande fordon, ett sådant är Adaptiv farthållare (Adaptive Cruise Control (ACC)). Framtidens hastighetsstöd kommer att anpassa fordonets hastighet genom att läsa in andra fordons rörelser och det allmänna trafikflödet utifrån ett flertal olika datakällor.

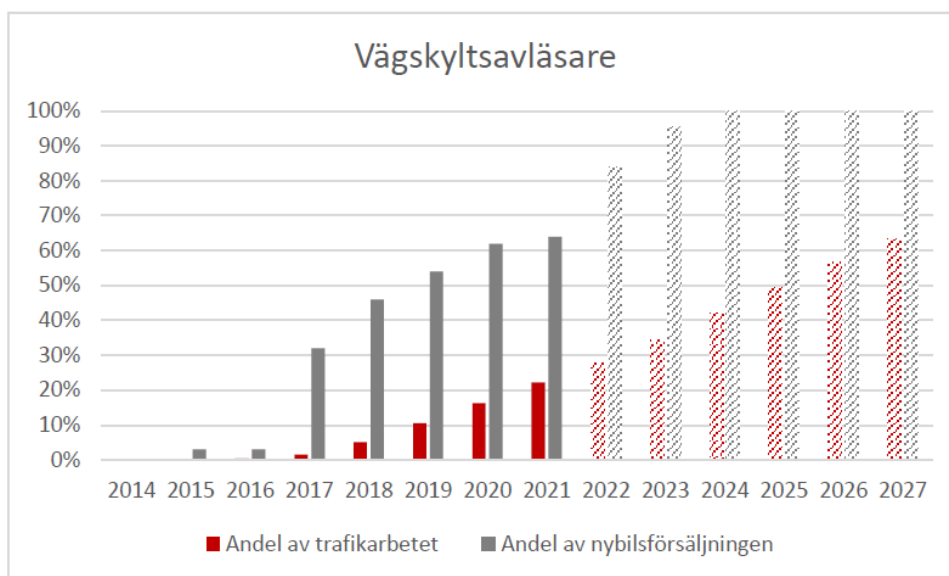
Vägs skyltsavläsare

Vägs skyltsavläsare är ett avancerat förarstödsystem som uppvisar information för föraren som har hämtats in från vägs skyltar. Systemet kan avläsa vägs skyltar med kamera och sedan extrahera korrekt information med hjälp av avancerad bildbehandling (Sjögren et al., 2022). Kameravläsning kombineras ofta med information från GPS-data för förbättrad tillförlitlighet och noggrannhet. En framtida alternativ datakälla är digital inhämtning av information via exempelvis molnlösningar. Det finns en risk att de olika informationsinhämtningssystemen registrerar olika eller motsägande budskap. I en sådan situation är det den information som inhämtats av kameravläsning av den fysiska miljön som visas i instrumentpanelen.



Figur 6. Vägs skyltsavläsare i ett fordons instrumentpanel (Seat, 2024)

Vägs skyltsavläsare syftar till att bidra till förarens medvetenhet om rådande hastighetsbegränsningar och andra trafikregler. Vägs skyltsavläsare blir framöver allt vanligare i trafikarbetet, se Tabell 1 **Fel! Hittar inte referensskälla..**

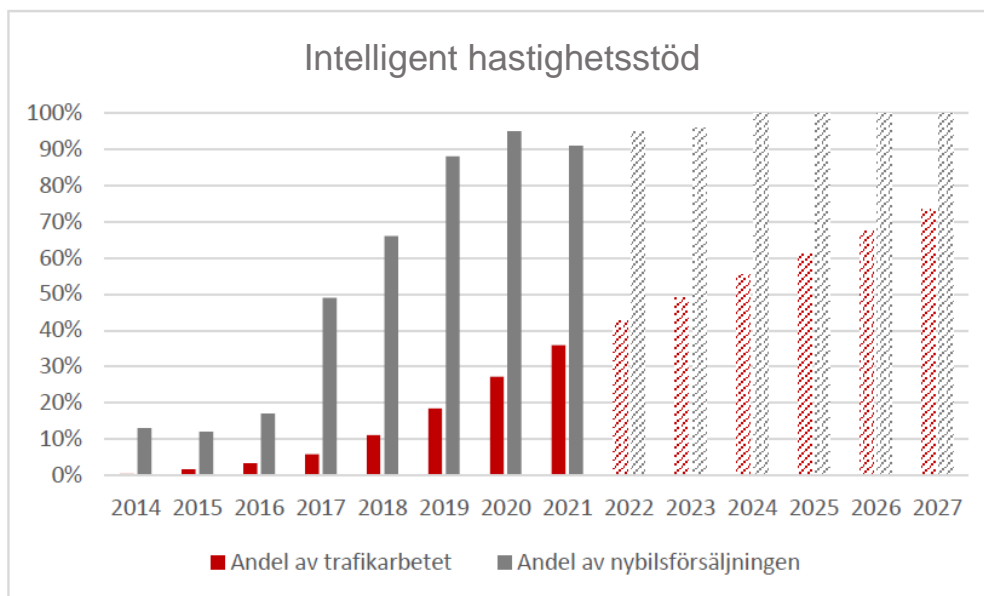


Tabell 1. Utvecklingen av vägskylltsavläsare i fordonsflottan

Intelligent hastighetsstöd (Intelligent Speed Assist (ISA))

Intelligent hastighetsstöd (Intelligent Speed Assistance (ISA)) är ett avancerat förarstödsystem som syftar till att öka hastighetsefterlevnaden genom att fordonet läser av hastighets skyltar längs vägen eller hämta information aktuell hastighetsgräns från navigationssystemets kartdata. ISA-systemet ger föraren en audiovisuell varning (en kombination av ljud och visuella signaler) eller haptisk återkoppling (taktila eller kännbara signaler) då hastighetsöverträdelse upptäcks. **Fel! Hittar inte referenskälla.** Figur 7. Principfigur som beskriver hur ISA fungerar

Trenden för ISA i de svenska personbilsmodellerna är uppåtgående och eftersom ISA regleras i EU Förordning 2019/2144 kommer samtliga nya bilar som säljs i Europa vara utrustade med det från juli 2024, se Tabell 2. Cirka 75% av trafikarbetet förutspås utgöras av fordon utrustade med ISA år 2027.



Tabell 2. Utvecklingen av intelligent hastighetsstöd i fordonsflottan

Den tidigare nämnda EU Förordning 2019/2144 definierar ett antal krav på ISA-systemets utformning. Dessa handlar om vilken typ av återkoppling som ges till föraren för att informera vid hastighetsöverträdelse och vad denna återkopplingen ska baseras på för information. Information om gällande hastighetsbegränsning ska inhämtas från digitala kartdata, fysiska vägmärken eller en kombination av de två typerna av informationskällorna. ISA-systemet ska vara i normal drift varje gång fordonets huvudströmbrytare aktiveras men ska gå att överskrida och det ska vara möjligt att inaktivera systemet.

Studier om ISA och dess påverkan på restider har övervägande förutspått ökade individuella restider på grund av den övergripande minskningen av färdhastighet. Vissa studier har noterat förbättringar i trafikflödet, vilket potentiellt kan leda till minskade genomsnittliga restider och lindring av köproblem (Ryan, 2018).

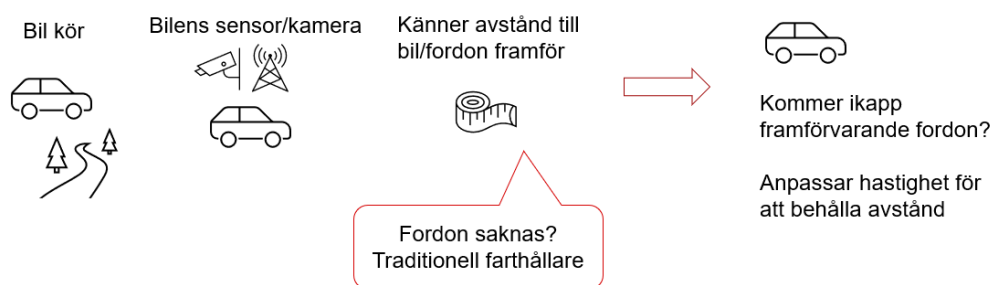
Adaptiv farthållare (Adaptive Cruise Control (ACC))

Ett ensamt fordon med ett aktiverat adaptivt farthållarsystem (Adaptive Cruise Control (ACC)) håller likt en konventionell farthållare den hastighet som är inställd av föraren. Om det finns ett fordon som håller en lägre hastighet framför sänker det ACC-kontrollerade fordonet sin hastighet för att följa detta fordon på ett säkert avstånd. ACC:n läser av omgivningen och registrerar det framförvarande fordonets hastighet med hjälp av kameror och sensorer (radar).

Forskningen kring hur trafikflödet påverkas av att en växande andel av trafikarbetet utförs av fordon som har adaptiv farthållare visar varierande resultat (Makridis et al., 2020). I den vetenskapliga litteraturen går det att hitta forskningsresultat som menar att trafiksammanbrott kommer att elimineras nästan fullständigt redan när endast 20% av fordonsflottan har aktiva ACC-system. Andra studier menar att en ökad marknadspenetration inte nödvändigtvis leder till förbättrad kapacitet i vägtransportsystemet (Eilbert et al., 2019).

Eilbert et al. (2019) uppger att ACC-system har en utjämnande effekt på körningen genom att minska både inbromsningar och accelerationer. Å andra sidan konstaterar Makridis et al. (2020) att ett stabilt trafikflöde inte är garanterat även när samtliga fordon har ACC eftersom responstiden i ACC-systemet är för lång för att undvika att små skiften i hastighet fortplantar sig i en kö med fordon. Höjdskillnader och lutning på vägen kan göra att det ledande fordonet, trots inställd hastighet, inte har en helt jämn hastighet. Dessa små skillnader kan väntas ge földeffekter uppströms i köriktningen och växer i den efterföljande trafiken vilket i en lång sammanhållen fordonssvans kan medföra att fantomköer uppstår.

Ett sätt att undvika denna problematik är att öka avstånden mellan fordonen, vilket i teorin innebär en liten reduktion av kapaciteten i vägnätet. Responstiden i ACC-systemen skulle också kunna sänkas, men detta riskerar att medföra minskad komfort för resenärer.



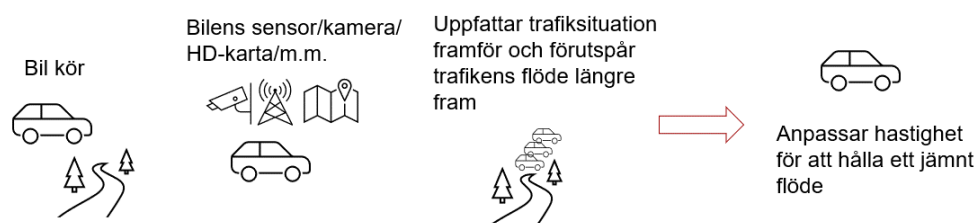
Figur 8. Principfigur som beskriver hur ACC fungerar

Prediktiv farthållare (Predictive Cruise Control (PCC))

Prediktiv Farthållare (Predictive Cruise Control (PCC)) är likt ACC ett avancerat farthållarsystem. Till skillnad från ACC tar PCC fler delar av trafiksystemet i beaktning än endast det framförvarande fordonet. Under 2024 är det ett fåtal fordonstillverkare som har förarstödsystemet som standardutrustning.

PCC-systemet använder känd eller förutsedd information om körmiljön för att förbättra fordonets prestanda. Denna information kan samlas in från olika sensorer, som kameror, radar och lidar samt genom navigeringstjänster, molnplattformar och HD-kartor (Chu et al., 2023; Gao et al., 2018). På grund av denna insamlade realtidsinformation om trafiken och förutspådda trafikförhållanden vid exempelvis kommande korsningar förväntas PCC förbättra trafikflödet, minska trängsel och öka säkerheten och komforten vid körning genom att fatta mer informerade beslut baserade på realtidsinformation om trafiken.

I övrigt visar en studie av Brugnolli et al. (2019) att PCC kan ha en positiv effekt på hur ACC hanterar höjdskillnader och lutning på vägen då systemet har möjlighet att förutspå topografin i körmiljön.



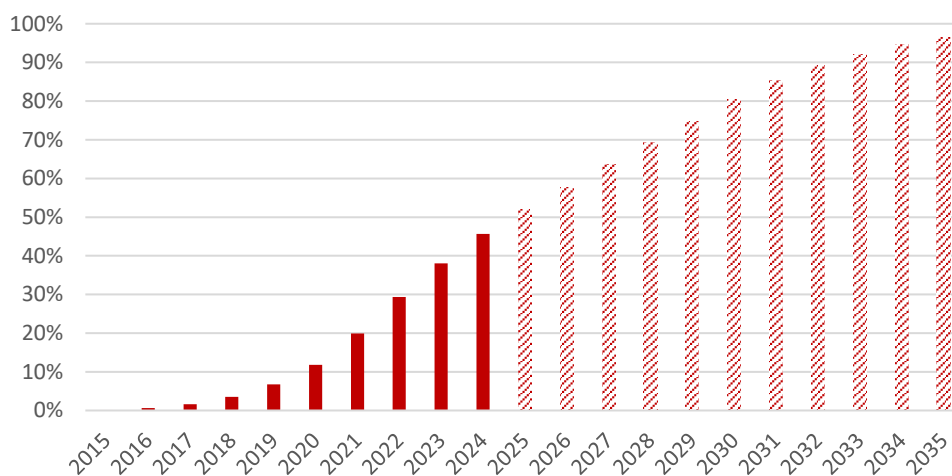
Figur 9. Principfigur som beskriver hur PCC fungerar

5 Hur digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon kan motverka köproblem

Digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon avser kommunikation via trådlös teknik mellan fordon och infrastruktur (V2I) eller mellan fordon (V2V). Detta möjliggör informationsutbyte i realtid mellan olika fordon, vägnätsoperatörer och tjänsteleverantörer (tvåvägskommunikation). Dessa tjänster benämns ibland samverkande ITS, från engelskans Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS). C-ITS definieras enligt den svenska översättningen av ITS-direktivet som:

” Samverkande intelligenta transportsystem eller C-ITS: intelligenta transportsystem som gör det möjligt för ITS-användare att interagera och samarbeta genom utbyte av säkra och tillförlitliga meddelanden utan tidigare vetskap om varandra och på ett icke-diskriminerande sätt.”

Via digitala och uppkopplade tjänster kan föraren och fordonet få information i realtid som bidrar till ett säkrare och smidigare resande. Detta genom att föraren exempelvis får information om ett vägarbete som kommer längre fram på den väg som föraren kör på. Föraren kan antingen bli uppmanad att sänka hastigheten för att undvika köbildning och då på ett säkert sätt passera vägarbetet, eller bli rekommenderad att ta en annan väg för att undvika att passera vägarbetet. I Tabell 3 visas den prognostiserade tillväxten av fordon i fordonsflottan som har möjlighet att dela data genom olika kommunikationsformer.



Tabell 3. Utvecklingen av uppkopplade fordon inom fordonsflottan mellan åren 2015 till 2035

På längre sikt kan fordon i allt större utsträckning kommunicera med andra fordon och väghållare på ett sätt som möjliggör samverkande farthållare, samverkande vävningsfunktioner och andra körfunktioner som bygger på att fordon delar sina rörelser och intentioner med varandra. Konvojkörning (från engelskans platooning) är ett exempel på vad som möjliggörs när fordon samverkar med varandra. Konvojkörning innebär att lastbilar bildar fordonståg genom att kopplas samman med trådlös kommunikation. Det framförvarande fordonet körs av en förare som vanligt medan de följande bilarna framförs automatiskt. Med denna funktion kan fordonen köra närmre varandra vilket bland annat medför minskat luftmotstånd för respektive följande fordon och besparingar av bränsle till följd.

Vissa digitala tjänster förbättras av att nödvändig information delas från infrastrukturhållaren till tjänsteleverantörer och fordonstillverkare, exempelvis vilken hastighet som tillfälligt rekommenderas eller gäller på en vägsträcka. Trafikverket är, tillsammans med många andra aktörer, involverade i olika projekt som handlar om hur digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon kan användas för att hantera bland annat köproblemm.

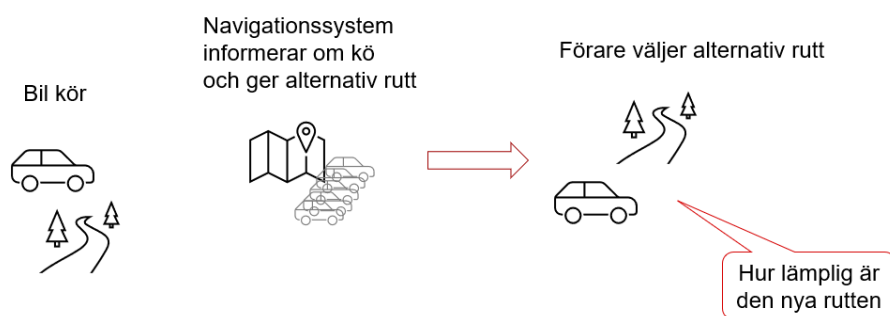
Det är ännu inte känt vilka kvantifierade effekter som de digitala tjänsterna ger i transportsystemet. Detta på grund av osäkerheter kring utrullning av digitala tjänster i fordon och hur föraren använder och följer informationen som redovisas. Något som är säkert är att utvecklingen av uppkopplade fordon och digitala tjänster går snabbt, och införandetakten är stor. Dessutom tillgängliggörs många av de digitala tjänsterna via mobila enheter, vilket möjliggör att föraren kan tillgodogöra sig informationen utan att fordonet är uppkopplat och har stöd för digitala tjänster. Ett exempel är navigeringssystem via Google, som finns tillgängligt både i vissa bilmodeller och i mobiltelefoner som är uppkopplade.

Digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon har potentialen att ge stora positiva effekter på säkerheten och framkomligheten i vägtransportsystemet. Detta genom att fordon automatiskt samverkar med varandra vilket minskar den relativa hastigheten mellan fordon, ökar avstånden och minskar risken för trafikfarligt körbeteende generellt. Även dynamisk digital information som når föraren kan ha en positiv effekt på köproblemm på samma sätt som vägnära ITS.

5.1 Information från navigationstjänster

Det senaste decenniet har det skett en betydande ökning i användandet av uppkopplade navigationstjänster (Tommaso m.fl., 2023). Utifrån realtidsdata ger navigationstjänster ruttförslag med den mest önskvärda resvägen utifrån förarens preferenser baserat på parametrar såsom restid, reslängd eller typ av trafikmiljö. En kombination av datakällor och teknik används av navigationstjänsterna. GPS-teknik används för att fastställa fordonets position vilken visualiseras med hjälp av kartdata från olika leverantörer. Trafikdatat baseras på officiella trafikövervakningssystem, historiska trafikmönster och inrapportering av rörelse och positioner från andra förare i vägtransportsystemet. Användare av navigationstjänster kan även aktivt rapportera incidenter och trafiksammanbrott som de upptäcker. Baserat på aktuella trafikförhållanden och förarens preferenser guidar navigationstjänsterna föraren genom en, för individen, optimal rutt.

Det finns flera internationella studier som undersöker effekterna på transportnätet av en ökad penetrationsgrad av navigationstjänster (Tommaso m.fl., 2023). Positiva effekter på framkomlighet av ökad användning av navigationstjänster är minskning av restid och reslängd samt minskad belastning på vägar med återkommande trafikstockningar (Thai m.fl., 2016 & Tommaso m.fl., 2023). Negativa effekter på framkomlighet anses vara en överföring av stora mängder trafik till lokala vägar och i städer som gränsar till motorvägar. Detta kan leda till störningar och olägenheter för boende och verksamma i områden som får ökad trafikbelastning. Å andra sidan kan ett ökat antal användare av navigationstjänster leda till att fler förare leds längs samma föreslagna rutt, vilket medför ett suboptimalt flöde där alternativa resvägar (som har något längre förväntad restid) används i mindre utsträckning än de skulle kunna. Dessutom kan den långvariga användningen av navigeringstjänster av en stor mängd förare förstärka dessa trafikmönster, vilket gör det utmanande att omfördela trafik och lindra trängsel.



Figur 10. Principfigur som beskriver hur information från navigationstjänster fungerar

Utvecklingen av navigationssystem drivs framåt i hög takt av fordonstillverkare och tjänsteleverantörer (Trafikverket, 2024). Dessa har ett intresse att använda myndighetsdata för att göra lämplig omledning och undvika rutter som är olämpliga, exempelvis på grund av bristande utrymme eller låg trafiksäkerhetsstandard. Trafikverket kan skapa förutsättningar för utvecklingen av navigationssystemen genom att tillhandahålla data som kan implementeras i dessa (Trafikverket, 2024).

5.2 Fordon-till-fordon-kommunikation

Fordon-till-fordon-kommunikation (Vehicle-to-vehicle (V2V)) innebär att fordon utbyter information i realtid. Det finns olika tekniska standarder som beskriver hur denna korthållskommunikation mellan fordon kan gå till.

Genom V2V delar flera fordon information om sin hastighet, position och planerade rutt med varandra. I nuläget befinner sig tekniken i ett tidigt utvecklingsstadium men i framtiden kan teoretiskt sett ett nätverk av samarbetande fordon skapas med hjälp av V2V-teknik. Detta samarbete mellan flera fordon förväntas leda till förbättrad trafiksäkerhet och ökad framkomlighet (se exempelvis (Li et al. (2020) och Zong et al. (2024))). Särskilt vid dålig sikt är det fördelaktigt med delning av information om rörelser och intentioner från fordon längre fram i trafiken som inte föraren kan se (Tan et al., 2020). V2V-kommunikation kan förbättra stabiliteten i trafikflödet genom att minska variationer i fordons hastigheter.



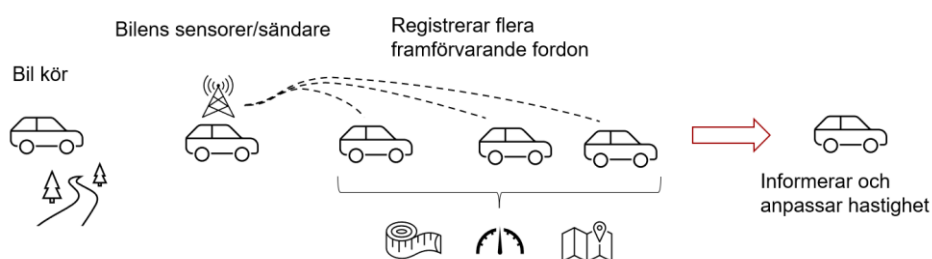
Figur 11. Principfigur som beskriver hur V2V fungerar

Kooperativ adaptiv farthållare (Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC))

Genom uppkopplad informationsdelning i ett nätverk av följande fordon möjliggörs en uppgradering av det tidigare nämnda avancerade

förarstödsystemet ACC. Istället för att det avancerade hastighetsstödet endast anpassar fordonets hastighet efter framförvarande fordon kan information från flera fordon styra systemet (Aittoniemi, E., 2022). Detta uppkopplade avancerade förarstödsystem kallas Kooperativ adaptiv farthållare (Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC)).

Genom uppkopplad informationsdelning i ett nätverk av följande fordon möjliggörs en uppgradering av det tidigare nämnda avancerade förarstödsystemet ACC. Istället för att det avancerade hastighetsstödet endast anpassar fordonets hastighet efter framförvarande fordon kan information från flera fordon styra systemet (Aittoniemi, E., 2022). Detta uppkopplade avancerade förarstödsystem kallas Kooperativ adaptiv farthållare (Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC)). I Figur 12 nedan beskrivs hur CACC fungerar.



Figur 12. Principfigur som beskriver hur CACC fungerar

Genom CACC kan det följande fordonet upptäcka att ett fordon längre fram bromsar in (CAR 2 CAR Communication Consortium, 2023). Istället för att vänta på att inbromsningen sprids i trafikflödet kan CACC anpassa fordonets hastighet direkt. Genom denna funktion är det mindre sannolikt att fantomköer uppstår eftersom responstiden hos fordonen i trafikflödet minskar. Detta innebär förbättrad framkomlighet då ett jämnare och tätare flöde kan uppnås.

Hur trafikflödet påverkas i ett vägtransportsystem som har både framtidens sammankopplade fordon och vanliga äldre fordon studeras internationellt. En teori är att trafikflödet kommer att förbättras i takt med att allt fler fordon är uppkopplade och har möjlighet att utbyta information med varandra (Zong et al. (2024) och Li et al. (2020)). I ett trafikflöde som innehåller både vanliga fordon och sammankopplade fordon skulle dock trafikflödet teoretiskt sett kunna försämrats med ökad instabilitet som en effekt.

6 Att motverka köproblem med utgångspunkt i digitaliseringen av vägtransportsystemet – en bedömningsfråga

Detta avslutande avsnitt innehåller en sammanställning och en reflektion kring de tekniska system som presenterats i dokumentet och ett resonemang kring hur utvecklingen kring avancerade förarstödsystem och digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon påverkar nyttan av vägnära ITS avseende köproblem. I Figur 13 nedan är samtliga introducerade tekniska system samlade.

Figur 13. Sammanställning av redovisade tekniska system inom temat

Vägnära ITS	Avancerade förarstödsystem	Digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon
<p>Åtgärder i MCS:</p> <p>Variabla hastigheter</p> <p>Körfältsavstängning</p> <p>Restidsinformation, störningsinformation och omledning</p> <p>Åtgärder för specifika kontexter:</p> <p>Påfartsreglering</p> <p>Reversibla Körfält</p>	<p>Vägskylltsavläsare</p> <p>Intelligent hastighetsstöd (ISA)</p> <p>Adaptiv farthållare (ACC)</p> <p>Prediktiv farthållare (PCC)</p>	<p>Information från navigationstjänster</p> <p><i>Exempel på digital information till fordon:</i></p> <p>Variabla hastigheter</p> <p>Körfältsrestriktioner</p> <p>Omledning</p> <p>Varning för vägarbete (RWW)</p> <p><i>Exempel på fordon-till-fordon-kommunikation:</i></p> <p>Kooperativ adaptiv farthållare (CACC)</p>

Det finns en uppsjö av tekniska system som motverkar köproblem genom att både förebygga uppkomsten av en kö och att hantera ett trafiksammanbrott på olika sätt. Vissa vägnära ITS-åtgärder syftar till att informera förare om inträffade incidenter och andra trafiksituationer för att påverka denne att justera sin körning på olika sätt. Detta kan vara genom att sänka hastigheten för att förbättra trafikflödet och minska risken trafikolyckor, genom att välja en annan rutt eller för att informera föraren om vad som sker i trafiken den befinner sig i. Andra vägnära ITS-åtgärder reglerar hur fordon är tillåtna att färdas genom exempelvis avstängda körfält, påfartsreglering eller information om föreskrivna hastigheter.

De vägnära ITS-åtgärderna fungerar olika bra beroende på platsens egenskaper och det råder skilda uppfattningar om huruvida exempelvis föreskriven eller rekommenderad variabel hastighetsgräns är att föredra. Vissa vägnära ITS-åtgärder är ofta del av MCS-system vilket innebär en betydande ekonomisk investering och kostnader för drift och underhåll. Dessa tenderar att förekomma i störst utsträckning i tätbebyggda områden, där den tillförda nyttan kan motivera kostnaderna. I mer glesbebyggda områden är större vägnära ITS-investeringar ofta inte ekonomiskt försvarbara. I vissa fall kan vägnära ITS-åtgärder ses som tillfälliga lösningar i väntan på större investeringar av Steg 3, och Steg 4-karaktär.

6.1 Avancerade förarstödsystem

Den totala effekten av avancerade förarstödsystem är beroende på antalet fordon som har tekniken men också i vilken omfattning de används. System bedöms i takt med att tekniken blir mer utbredd att i framtiden få ett större genomslag och kommer då bidra till att uppfylla de transportpolitiska målen.

Fordon med hastighetsstöd kommer att öka men vilken initial effekt detta förväntas få är osäker. Det finns stöd i forskningen för att moderna farthållare (som ACC) har potential att reducera risken för trafiksammanbrott. Kombinationen av flera funktioner från olika fordonsleverantörer gör att effekterna av enskilda system är svåra att utvärdera.

Även intelligent hastighetsstöd (ISA) förväntas ha en positiv effekt på trafikflödet. Köproblem kan förebyggas och trafikflödet förbättras i stort när fordonsflottan i allt större utsträckning utrustas med ISA, även om restiderna i vissa fall ökar till följd av lägre hastigheter för dem som idag kör för fort.

6.2 Digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon

En befintlig digital tjänst är informationsdelning till förare och fordon via olika navigationstjänster. Även kring detta system pekar forskningen på resultat i olika riktningar. En ökad användning av navigationstjänster kan leda till att trafikanters val av rutter optimeras. Detta leder till minskade restider och kortare avlagda sträckor, vilket har en positiv inverkan på framkomlighet och köproblem. De negativa effekterna av navigationstjänsterna beror främst på att de inte föreslår rutter som gynnar vägtransportssystemet i stort utan endast fokuserar på den enskilda

förarens behov. För att säkerställa att vägtransportsystemet nyttjas optimalt krävs sannolikt en fortsatt dialog mellan väghållare och navigations- och fordonsindustrierna.

Flera system och standarder för digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon utvecklas internationellt och på europeisk nivå för att göra samverkan mellan infrastruktur och fordon möjlig. För att utveckla nya samt för att vidareutveckla de tjänster som redan finns krävs samverkan mellan flera offentliga och privata aktörer. Aspekter relaterade till digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon som kräver samverkan rör säkerhet, affärsmodeller och incitament, juridiska krav samt ansvarsförhållanden mellan berörda aktörer både inom och utom Sveriges gränser.

Redan i dagsläget delas data om fasta vägarbeten så att dessa kan informeras om i fordonens navigationssystem. Med bättre information om tidpunkt och platsangivelse möjliggörs förutsättningar att ytterligare reducera köproblem.

Fordonstillverkare arbetar i dagsläget med att utveckla tekniska lösningar som möjliggör framtida kommunikation mellan fordon. Fordon-till-fordon-kommunikation (Vehicle-to-vehicle (V2V) medför teoretiskt ett jämnare trafikflöde i vägtransportsystemet. Det är dock osäkert hur trafikflödet kommer att se ut under den övergångsperiod som infaller innan en övervägande marknadspenetration har uppnåtts.

6.3 Planera med ITS för att motverka köproblem i framtiden

Det finns flera osäkerheter att beakta vid planering för att motverka köproblem med digitalisering av vägtransportsystemet. Effekterna av vägnära ITS, aktiveringsgrad på avancerade förarstödsystem och dess kombinerade effekter samt hur och när framtidens digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon kan nyttjas för att implementera digitala reglerande och informerande åtgärder.

Redan under 2024 bör fordonsflottans utveckling påverka känslighetsanalysen för olika utredningsalternativ. I takt med att allt fler fordon utrustas med de avancerade förarstödsystemen och funktionerna blir allt mer accepterade av förare, bör behovet av vägnära ITS-åtgärder minska på delar av vägnätet. Dessutom påverkar utvecklingen av avancerade förarstödsystem och digitala tjänster bedömningen av brister i vägtransportsystemet, då systemen och tjänsterna kan bidra till att vissa brister och problem sannolikt inte kommer att uppstå i framtiden. När allt

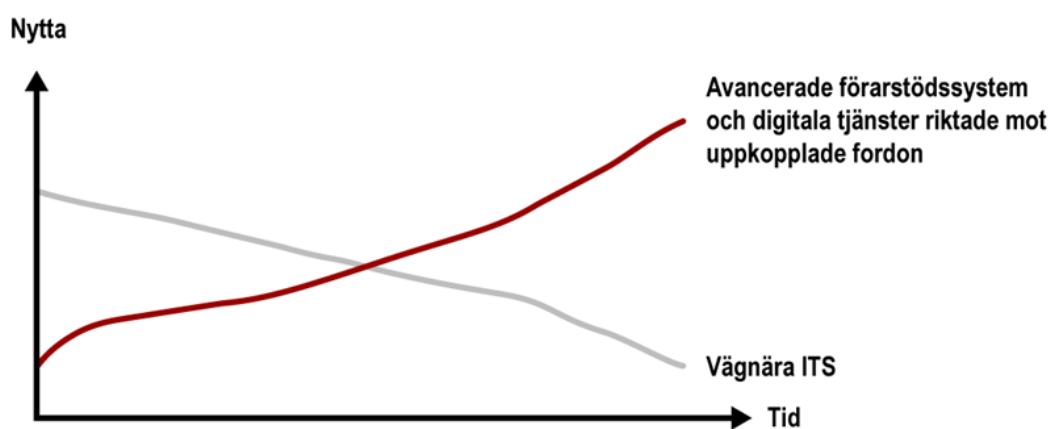
fler fordon i realtid kan informera om exempelvis hastigheter och flöden på en sträcka, ökar möjligheten till att i ett tidigt skede förutspå kö.

En del vägnära ITS-åtgärder är mer sannolika att bedömas som samhällsekonomiskt lönsamma i framtiden. Det vill säga sådana vars syfte och funktion inte hanteras av fordonsflottans utveckling eller digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon. Exempel på sådana är Påfartsreglering och Reversibla körfält. Dessa kan vara lämpliga på ett fåtal särskilda platser, exempelvis vid större städer med höga fordonsflöden.

Så länge det inte går att säkerställa att den information och de rutförslag som presenteras för föraren av navigationstjänsterna är förenlig med Trafikverkets budskap, kommer restidsinformation, störningsinformation och omledning via VMS-skyltar också fylla en funktion framöver. Informationen som navigationstjänsterna ger föraren fokuserar främst på individens preferenser och tar inte nytta för vägtransportssystemet i stort i beaktning. Dessa vägnära ITS-åtgärder kan komma att komplettera den information som förare får via navigationstjänsterna genom att de placeras tidigare under resan då förarens ruttval fortfarande går att påverka.

För att motverka köproblem är de åtgärder som ryms i MCS-system däremot mer troliga att bli ersatta av avancerade förarstödsystem och i framtiden av funktioner som möjliggörs med digitala tjänster riktade mot uppkopplade fordon. Värdet för denna typ av åtgärd kan visualiseras med den schematiska beskrivning som syns i Tabell 4 nedan.

förarstödsystemförarstödsystem



Tabell 4. Schematisk beskrivning av tillförd nytta över tid för avancerade förarstödsystem och vägnära ITS-åtgärder

Olika vägnära ITS-åtgärder kan antas få minskad nytta olika långt fram i tiden beroende på platsen. I Kunskapsunderlag Fordonsflottans utveckling finns prognoser för kommande förväntad marknadspenetrationsgrad för olika avancerade förarstödsystem.

Avslutningsvis är utvecklingen av avancerade förarstödsystem och digitala tjänster viktigt att ha i beaktning vid bedömning av brister och problem i vägtransportsystemet, samt i utredningen om potentiella åtgärdsförslag. Kunskap om hur systemen och de digitala tjänsterna fungerar, vilken effekt de förväntas ge och hur stor del av trafikarbetet som förväntas nyttja dessa är viktiga parametrar som kan påverka bedömningen.

Referenser

- Ahlberg, J. (2015). *Kostnader för störningar i infrastrukturen—Metodik och fallstudier på väg och järnväg*. MSB & VTI.
<https://rib.msb.se/filer/pdf/27940.pdf>
- Brugnolo, M. M., Angélico, B. A., & Laganá, A. A. M. (2019). Predictive Adaptive Cruise Control Using a Customized ECU. *IEEE Access*, 7, 55305–55317. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907011>
- CAR 2 CAR Communication Consortium. (2023). *Use Cases* (2097).
- Chu, H., Guo, L., Gao, B., Chen, H., Bian, N., & Zhou, J. (2018). Predictive Cruise Control Using High-Definition Map and Real Vehicle Implementation. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(12), 11377–11389. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2871202>
- Euro NCAP. (2022). *TEST PROTOCOL – Lane Support Systems* (Version 4.0).
- Euro NCAP. (2018). *Lane Support*. Lane Support.
<https://www.euroncap.com/en/car-safety/the-ratings-explained/safety-assist/lane-support>
- EU Förordning 2019/2144. (2019). *om krav för typgodkännande av motorfordon och deras släpvagnar samt de system, komponenter och separata tekniska enheter som är avsedda för sådana fordon, med avseende på deras allmänna säkerhet och skydd för personer i fordonet och oskyddade trafikanter, om ändring av Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/858 och om upphävande av Europaparlamentets och rådets förordningar (EG) nr 78/2009, (EG) nr 79/2009 och (EG) nr 661/2009 samt kommissionens förordningar (EG) nr 631/2009, (EU) nr 406/2010, (EU) nr 672/2010, (EU) nr 1003/2010, (EU) nr 1005/2010, (EU) nr 1008/2010, (EU) nr 1009/2010, (EU) nr 19/2011, (EU) nr 109/2011, (EU) nr 458/2011, (EU) nr 65/2012, (EU) nr 130/2012*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2144>
- Gao, B., Wan, K., Chen, Q., Wang, Z., Li, R., Jiang, Y., Mei, R., Luo, Y., & Li, K. (2023). A Review and Outlook on Predictive Cruise Control of Vehicles and Typical Applications Under Cloud Control System. *Machine Intelligence Research*, 20(5), 614–639. <https://doi.org/10.1007/s11633-022-1395-3>
- Grumert, E., Bernhardsson, V., & Ekström, J. (2021). *Tvingande variabla hastighetsstyrningssystem—Design utifrån föreskrifter och empiriska studier* (2021:1; VTI rapport). VTI.
- Grumert, E., Bernhardsson, V., & Gundlegård, D. (2023). *Utvärdering av styrning med variabla hastighetsgränser med fokus på framkomlighet—En fallstudie på E4 vid Södertälje* (1174; VTI rapport). Statens väg- och

- transportforskningsinstitut.
<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-19750>
- Grumert, E., Olstam, J., Ekström, J., Ringdahl, R., & Gundlegård, D. (u.å.). *Incidenters inverkan på framkomlighet*.
https://www.kth.se/polopoly_fs/1.906370.1600689140!/04.%20Incidenters%20inverkan%20p%C3%A5%20framkomlighet.pdf
- Li, T., Hui, F., Liu, C., Zhao, X., & Khattak, A. (2020). Analysis of V2V Messages for Car-Following Behavior with the Traffic Jerk Effect. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 1–11.
<https://doi.org/10.1155/2020/9181836>
- Makridis, M., Mattas, K., Ciuffo, B., Re, F., Kriston, A., Minarini, F., & Rognelund, G. (2020). Empirical Study on the Properties of Adaptive Cruise Control Systems and Their Impact on Traffic Flow and String Stability. *Transportation Research Record*, 2674(4), 471–484.
<https://doi.org/10.1177/0361198120911047>
- Nordic Way 3. (2023). *Nordic Way 3 Final Webinars*. https://assets-global.website-files.com/5c487d8f7febe4125879c2d8/6569c0925af680820d0ccd92_INT%20ERCHANGE%20AND%20ECOSYSTEM%20SLIDES_ALL.pdf
- Ryan, M. (2018). *Intelligent Speed Assistance: A review of the literature*. Road Safety Authority (RSA).
- Seat. (2024, April 26). *Traffic Sign Recognition*. Seat. <https://www.seat.se/car-terms/t/traffic-sign-recognition>
- Sjögren, L., Arvidsson, A. K., Fors, C., & Käck, A. (2022). *Infrastruktur för bilar med automatiserade funktioner: Ett kunskapsunderlag om behov av nödvändiga anpassningar* (03476030 (ISSN); VTI rapport, 1–1101, p. 104). Statens väg- och transportforskningsinstitut; DiVA.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-18135>
- Tan, Qin, & Gong. (2020). Using Vehicle-to-Vehicle Communication to Improve Traffic Safety in Sand-dust Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 1165.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17041165>
- Thai, J., Laurent-Brouty, N., & M. Bayern, A. (2016). *Negative externalities of GPS-enabled routing applications* (19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), s. 595–601) [Conference Paper]. IEE.
- Tommaso, T., Frasca, P., & Kibangou, A. Y. (2023). *Potential detrimental effects of real-time route recommendations in traffic networks*. IEEE.
- Trafikanalys. (2020). *Vägfordonflottans utveckling till år 2030* (PM 2020:7).
- Trafikverket. (2011). *ITS på väg* (Trafikverkets publikationer ; 2011:064). Trafikverket.

Trafikverket, TRV 2021/147923 (2021).

Trafikverket. (2022). *Trafikverkets årsredovisning 2021* (978-91-8045-020-1 (ISBN); Trafikverkets publikationer, 1–2022:034, p. 169). Trafikverket; DiVA. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:trafikverket:diva-5342>

Trafikverket. (2023). *Bygg om eller bygg nytt—Kapitel 4 Tillgänglighet*.

Trafikverket. (2024). *Elektrifiering, digitalisering och automatisering i vägtransportsystemet: Underlagsrapport till Inriktningsunderlag för 2026–2037* (978-91-8045-239-7 (ISBN); Trafikverkets publikationer, 1–2024:008, p. 70). Trafikverket; DiVA. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:trafikverket:diva-12564>

Zong, T., Li, Y., & Qin, Y. (2024). Enhancing stability of traffic flow mixed with connected automated vehicles via enabling partial regular vehicles with vehicle-to-vehicle communication function. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 641, 129750. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2024.129750>

Detta är baksidan på rapporten.

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1

Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

[trafikverket.se](https://www.trafikverket.se)