

5G-baserad trafikoptimering

Plan för reduktion av växthusgaser med 5G och digital tvilling i transportsektorn

REVIDERAD UPPLAGA 9:e oktober, 2024

5G Business
Författare:
Niklas Lindhe
Lars Sandström

Innehåll

Innehåll.....	2
Slutsatser och rekommendationer	4
Introduktion	7
Del I	8
Vägrafikoptimering.....	8
Forskningsstudier.....	9
Relation till C-ITS och andra nyttor som 5G systemet ger till trafiksystemet.....	9
Del II	11
Övergången till elbilar lämnar en lång svans av bilar med förbränningsmotorer efter 2040	11
Antal fordon och fördelning per energislag.....	11
Trafikoptimering	12
Trafikoptimering i kombination med bränsleinblandning.....	13
Scenario med ökad bränsleinblandning och ökade optimeringsvinster	14
Finns det restriktioner i hur hög bränsleinblandning som kan uppnås?	14
Del III	15
Affärsmodeller	15
Inledning.....	15
ETS-2	15
Stöd till kommunal väghållning	16
Ekonomiska incitament	16
Rådighet	17
Bilindustrins intressen	17
Frågor kring informationsägarskap för trafiksystemet status.....	17
Del IV	18
Handlingsplan	18
Förstudie	18
Appendix	19
Appendix	19
Systemutformning	19
Hur studien gjordes	23
Bilaga A	24
Bilaga B	25

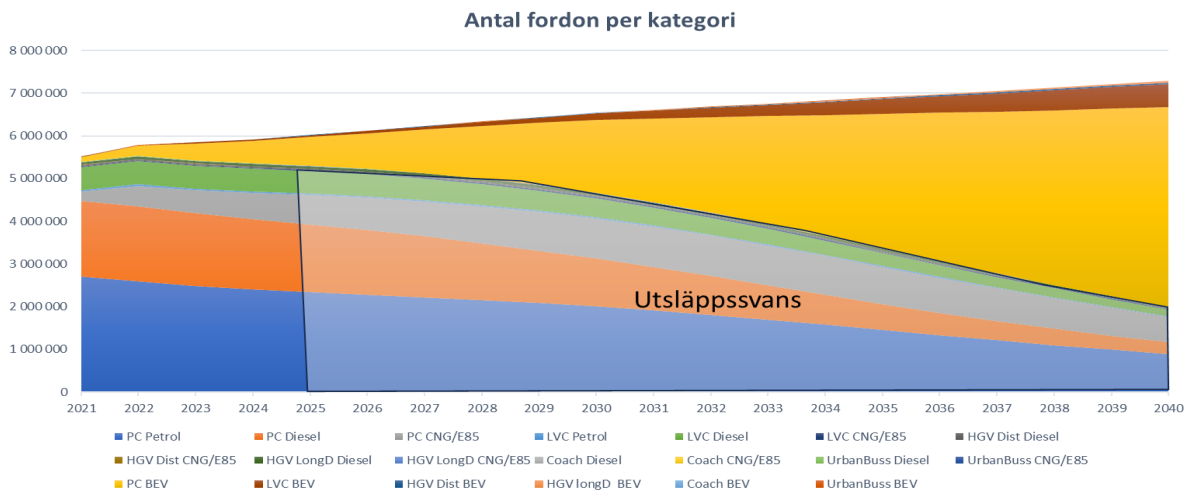
Akronymer

3GPP	3rd Generation Partnership Program, en samarbetsorganisation inom telekomindustrin som krävställer inom 3G, 4G, 5G och 6G och hur dessa skall fungera tillsammans.
API	Application Program Interface
AR/XR	Augmented reality, ett sätt lägga till information, eller förbättra den bild vi ser igenom smarta glasögon, med kamera, mikrofon och högtalare, och även med pupillföljning
AXE	Produktnamn för Ericssons telefonstation system
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS handlar om samverkan, interaktionen och kommunikationen mellan olika typer av ITS teknologier, infrastruktur för trafiken, och olika typer av fordon.
Digital Tvilling	Digital Tvilling beskriver den fysiska världen i en cyberabstraktion, dvs. rörliga och fasta objekt beskrivs med en datarepresentation.
ETS	EU Emission Trading System, ett system för handel med utsläppsrättigheter
EW	Electronic Warfare, radiostörning
GPU	Graphics Processing Unit, en enhet inom datamaskinsorganisation, som är effektiv för repetitiva beräkningar på stora dataytor.
IKT	Informations- och Kommunikations Teknik
IoT	Internet of Things, små kompakta och energisnåla enheter
IRL	In Real Life
ML/AI	Maskininlärning/Artificiell intelligens
NVDB	Nationell vägdatabas
OSI	Open System Interconnection
RAM	Random Access Memory, snabblästa minnen
RTK	Real-Time Kinetics, ett sätt att geo-positionera fordon i rörelse med GPS/GNNS med större noggrannhet.

Slutsatser och rekommendationer

Elbilar kommer effektivt reducera de skadliga utsläppen från fordonssektorn. Fordonsindustrin investerar i övergång till ny el-baserad teknik och det kommer att få ett genomslag på konsumentmarknaderna, liksom andra tekniska omställningar i andra industrier.

Förändringen i fordonsflottans sammansättning tar dock tid, vilket resulterar i en ”svans” av CO₂ utsläpp från fossildrivna fordon från 2025 till 2040 på totalt 146 miljoner ton enligt våra beräkningar. Dessa utsläpp ackumuleras i atmosfären och behövs hanteras.



Det finns två bärande åtgärder för att reducera dessa utsläpp;

1. öka bränsleblandning med CO₂ neutrala drivmedel och
2. optimera trafikflödena på vägarna

Till dessa kan en mängd andra åtgärder implementeras för stimulera övergång till elbilar men dessa frågor lämnar vi därhän i denna rapport. I denna rapport fokuserar vi på att optimera trafikflödena så att bränsleförbrukningen minskar och därmed utsläppen av både CO₂ och kväveoxider.

Internationell forskning pekar på en 15–40 % reduktion av skadliga utsläpp i vägtransportsektorn med rätt valda trafikoptimeringsmetoder. Bilden nedan visar att trafikoptimering kan, tillsammans med bränsleblandning, ge ett stort bidrag, till att reducera mängden skadliga utsläpp i Sverige. Bilisters kostnader från införandet ETS-2¹ infogas i figuren nedan, för att indikera att det finns vinster för bilisterna att hörsamma och efterleva trafikoptimering – att spara bränsle helt enkelt.

	Sverige
CO ₂ utsläpp brutto kton, transportsektorn 2025-2040	145 616
Bränsleblandning (%)	10%
CO ₂ reduktion efter Bränsleblandning (kton)	14 562
Trafiksystem optimeringsvinst	10- 24%
Trafikoptimeringsvinst 2025-2040, kton CO ₂	29 187
CO ₂ utsläpp netto (kton) efter Optimering och Bränsleblandning	104 787
Reduktion av CO ₂ utsläpp kton efter Optimering och Bränsleblandning	40 830
Kostnad för bilister ETS-2, transportsektorn 2025-2040 (miljarder)	66
Kostnader för bilister efter Optimering och Bränsleblandning 2025-2040	47
Besparing 2025-2040	18

¹ Vi har antagit att införandet av ETS-2 förskjuter en kostnad om ca 1kr/liter (riktmärket) bränsle till bilisterna.

Trafikoptimeringens tänkta utformning bör även kunna bidra till en högre miljömedvetenhet hos förare, skapa ett lugnare trafiktempo samt även ge förarna bättre trafikinformation kring störningar från trafikomläggningar, olyckor och svåra väderförhållanden.

Vi föreslår att nya tekniker och metoder nu används för att hela fordonsflottan ska kunna medverka till att reducera utsläppen genom att optimera vägnätets framförningsförmåga:

1. i vilka hastigheter ett fordon skall röra sig inom för att vara mest energieffektiva. Optimeras trafikregleringen (trafikljus) i realtid för de trafikslag som ska betjänas.
2. vid händelser som ligger utanför systemet normala förmåga (olyckor, temporära omläggningar, påverkan av väder etc.)
3. genom att kunna omfördela den erbjudna trafiken kring den bråda timmen (rusningstrafik).

Dess tekniker stöds av nya förmågor inom informations- och kommunikationsområdet (IKT) som möjliggör:

- Trafikoptimering med trafikljus och längs vägarna
- Information till trafikanter om lämpliga vägval², och även lämpliga starttider

En ytterligare bärande åtgärd är att hela den rullande fordonsparken ska kunna inbegripas i trafikoptimeringen, för att effektmålen ska kunna nås.

Detta blir ledande i den systemmässiga utformningen. Vi pekar här mot Augmented Reality - AR som en mycket lovande teknik. AR ger förare en väldigt bra situationsuppfattning, där uppmärksamhetsfokus måste läggas på den omgivande trafiksituationen.

Telekomoperatörerna kommer att stå för merparten av investeringen i generell 5G infrastruktur. Systemets generella egenskaper för att stödja AR baserade tjänster kommer även att kunna stödja andra kommersiella tjänster vid sidan av trafikoptimering. Övergång från GSM och UMTS till 5G tillsammans med den starka 4G utbygganden, ger en robusthet för publika AR tjänster. I takt med att AR blir allt mer avancerat och att 5G även på millimeterbanden behöver stödjas så menar vi att städerna måste tillgodose de behov som finns att placera 5G systemet i gaturummen som på trafikljus, lyktstolpar m.m. Det finns idag olika sätt att dela radioinfrastruktur mellan flera operatörer, vilket blir viktigt i det begränsade gatuutrymmet.

5G och tvillingsstöd medger att kostnaden för väghållare att införa och upprätthålla en trafikoptimering blir relativt låga. Kostnaderna avgränsas till sensorer och andra åtgärder för att automatisera trafikregleringen. Planer finns i flera städer för att fiberansluta trafikljus-anläggningarna vilket även stödjer inplacering av 5G basstationer som fordrar stor bandbredd för sin matning.

Det är viktigt att redan nu sätta igång tankarna kring affärsmodellen för hur ett trafikoptimeringssystem kan formas och byggas ut. Det finns många aspekter att ta hänsyn till

- Kommande ETS-2 reglering med fonderingar för innovations- och kapacitetsutbyggnad³. Den bygger på "polluters pay" principen och är på så sätt rättfärdig. Trafikoptimering är en investering för den gröna omställningen med tanke på den stora mängd skadliga utsläpp som reduceras inom transportsektorn.
- Stödet till kommuner och dess väghållning för investeringar i trafikoptimering är viktigt att beakta då de flesta fordonsrörelser sker i städerna
- Investering i 5G och Digital Tvilling: Teleoperatörerna måste få långsiktiga ekonomiska incitament att bygga ut 5G kommunikationerna. Inplacering av 5G millimetervågs-apparaturer i gaturummen är ett tydligt incitament. Tekniken för trafikoptimeringen kan även stödja kommersiella AR tjänster, vilket ger nya kommersiella möjligheter för Teleoperatörer. Väghållare kan även komma att ställa speciella krav

² Till detta behövs även ett navigeringsstöd till fordonen, som tar hänsyn till trafiksystemet aktuella status och tillgänglighet för olika fordon att färdas på olika vägar (för höjder, tyngder, geo-fencing, för olika kategorier av självkörning etc.). Frågan är aktuell då yrkestrafik lätt kan missledas av kommersiella navigerings appar.

³ Vi menar också att denna kostnad väl ska kunna täckas av inbetalningarna från ETS-2 och att medel från innovations- och förbättringsfonderna kan användas för detta ändamål, så att kostnaderna för trafikoptimering inte landar på direkt på kommunerna, som upprätthåller en stor del av svensk väghållning. Vid ett utsläppspris på 450 SEK per ton (riktmärket), blir den ackumulerade intäkten från utsläppsrättigheter 2025–2040 hela 66 miljarder kronor (som minskar till 47 miljarder SEK med trafikoptimering) detta leder till ett till ca 1 SEK per liter drivmedel i extra kostnad för bilister enligt våra beräkningar.

på rådighet för informationsbehandling och säkerhet kring trafikdatainformationer, varför vissa kostnader för ex tvillingen kan komma att tas av väghållarna.

- Sverige har en mycket stark fordonsindustri och OEM:ers affärsintressen inom fordonstrafikoptimering måste även höras och tillgodoseas.

De ekonomiska incitamenten för olika aktörer – själva oljan i maskineriet – måste utkristalliseras för att vinsterna av trafikoptimering ska kunna fångas

Vår slutsats är att trafikoptimering bör ge goda effekter på utsläppen från fordonssektor, och även andra mervärden, och är en okontroversiell, enkel och kostnadseffektiv väg framåt, som måste gripas nu.

Vår rekommendation är att forskningsinsatser nu görs för att uppskatta hur stora utsläppsreduktioner trafikoptimering kan ge under svenska förhållanden, samt för att djupare belysa hur nya 5G och Tvilling tekniker kan komma till användning och hur en affärsmodell kan formas.

Introduktion

5G Business Consultants föreslår att en realtidsstyrd trafikoptimering nu införs, baserad på 5G-kommunikation, sensorer och ML/AI baserad Digitala Tvilling, för att snabbt reducera växthusgaser och skadliga utsläpp från fordonstrafiken.

Vi beskriver detta i olika delar

- Del 1 som beskriver vägtrafikoptimering verkanssätt, en översikt av internationella studier och relation till C-ITS
- Del 2 som beskriver problemet med den utsläppsvansen och hur optimering och bränsleinblandning används för att reducera utsläppen
- Del 3 som beskriver affärsmodeller och där det finns många aspekter att ta hänsyn till
- Del 4 som beskriver en handlingsplan där väghållare, industrin och forskningen måste nu tillsammans medverka i en kraftsamling
- I Appedix gör vi en djupare systembeskrivning och hur studien gjordes

Del I

Vägtrafikoptimering

Trafikoptimering har som syfte att reducera skadliga utsläpp genom att få fordon att röra sig på ett så energioptimalt sätt som möjligt, vilket innebär att onödiga start och stopp och hastighetsvariationer ska minimeras samt att fordonen ska röra sig inom det hastighetsområde där de är acceptabelt energieffektiva.

Detta innebär i sin tur att den erbjudna trafiken till ett trafiksystem inte heller får överskrida den maximala trafikkapacitet som systemet kan betjäna. Vid vägtrafikoptimering försöker man att under bråda timmar ligga nära trafiksystemets maximala kapacitet för att dra maximal nytta av väginvesteringen, men inte överskrida denna, då systemet snabbt kommer till en kollaps där trafikavverkningsförmågan minskar abrupt och som därmed leder till minskad energieffektivitet och en ökning av mängden skadliga utsläpp. Det kan dessutom ta tid innan systemet återgår till en acceptabel förmåga att avverka trafik efter en kollaps.

Det råder konkurrens mellan olika trafikslag; i städer ökar gång- och cykeltrafiken och den kollektiva trafiken vill prioriteras då den är energieffektivare och ger ett bättre utnyttjande av väginvesteringen. Det råder dessutom konkurrens om väggutrymmet för parkering, ladd-stationer och andra ändamål.

Optimering kräver information i realtid om hela trafiksystemets status, dvs. information kring trafikflöden och dess kapacitet, aktuella väntetider för buss, gång och cykeltrafikanter och kring utsläpp av för människan direkt skadliga utsläpp som kväveoxider. Allt detta leder till att trafikoptimering med målet att reducera skadliga utsläpp blir komplext.

Trafikoptimeringens verkanssätt

- Ge information till alla fordonsförare kring börshastigheter, vägval och under bråda timmar rekommenderade starttider för att nå en destination.
- Anpassa trafik(ljus)regleringen, så att varje trafikslag betjänas enligt de kvalitetskriterier som ansatts; i praktiken att kollektivtrafiken ska hålla tidtabell inom en acceptabel varians, att cyklisterna och fotgängarna inte hamnar i obekväma, irriterande och störande kö-bildningar och att övrig fordonstrafik betjänas så energieffektivt som möjligt
- Inom landsvägstrafiken ska jämna trafikhastigheter eftersträvas, vilket kan innebära restriktioner för omkörningar med tung trafik och den tyngre trafiken snarare anpassas mot tågbildning för att minska luftmotstånd. Även max hastigheten för mindre fordon kan behöva ses över, då fordonen ligger väl över den optimala energiförbrukningen på t.ex. 120 km/h vägar.

Senaste årens framsteg inom kommunikation, datorbearbetning och användning av neurala nät (ML/AI) medger att analyser och slutsatser kring komplexa samband med mycket stora informationsmängder kan ske i nära realtid. Även nya sätt för människa att interagera med cybervärlden (man-maskin-kommunikation genom ex AR), medger att förare kan ta del av en större mängd information och samtidigt hålla uppmärksamheten på trafiken.

Vi menar att denna tillgång, nu ska tillämpas på fullt ut på hela trafiksystemet och där alla fordon nu måste kunna medverka för att optimerings effekter ska nås. Detta genom:

- Användning av ytäckande 5G kommunikation för sensorer och för information till fordonens förare, samt för markbunden geo-positionsangivning
- Nyttja Augmented Reality (AR) genom den nya generationens glasögon som nu lanseras på marknaden.
- Beskriva trafiksystemet resurser och status samlat i cyberinformationsmodell – Digital Tvilling - där information görs tillgänglig för i huvudsak ML/AI baserad analys med beslutsrekommendationer inom komplexa samband över stora ytor, i nära realtid.

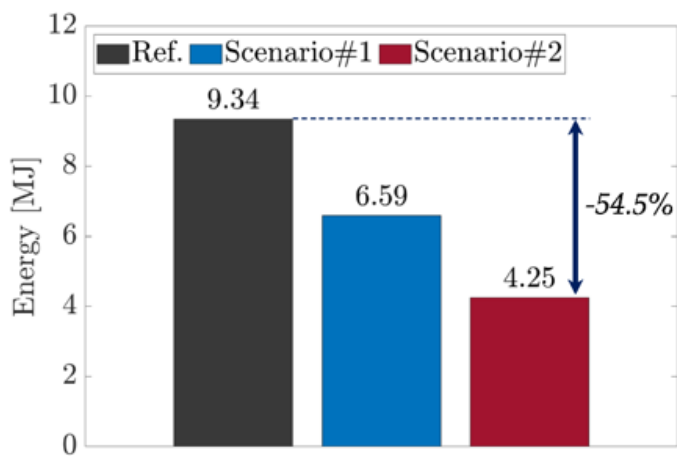
Vi förordar att tekniker inom den generella 5G utvecklingen och inom Digitala Tvillingar nu används för att stödja även trafiksystemet. Det ger en större teknisk säkerhet och tillgång till ett större ekosystem av produkter och kompetenser för systemutvecklingen. 5G system får även en mycket stor motståndskraft mot cyber och eterattacker, genom ekosystemet storlek och färdigheter att möta nya hot, och även genom dess tillgång till ett diversifierat frekvensomfång – från 700MHz genom tidigare GSM- och 3G band, till 3,5GHz banden, vidare till 24–28 och 40GHz frekvensbanden.

Från ett industriellt perspektiv finns det stora likheter i kraven från trafiksystemet och från den generella AR/XR marknaden, synergier är uppenbara.

Forskningsstudier

Många studier pekar mot att avancerad optimering kan ge energibesparingar uppemot 40 %. För länder som Sverige med en relativt låg trafikdensitet, bör rimligen 30 % kunna nås i stora och medelstora städer och för trafiksystemet i stort kring 20%.

Sverige och Norden är mer glesbebyggt än många av de stora länderna nere i Europa, så det är intressant att utröna hur eco-körning kan spara energi även i mer svensk-lik förhållanden. En mycket intressant studie är från Italien (Politecnico di Torino, Energy Department) som har gjorts på en 96 km lång vägsträcka kring Turin som innehöll både stadskörning och landsvägskörning med uppkopplade fordon (en Mercedes E300de, diesel pHEV).



Ref är energiåtgång utan hastighetsoptimering, Scenario 1 är med hastighetsoptimering och Scenario 2 är med hastighet- och trafikljusoptimering

Nu gjordes studien med avgränsningar från verkligheten, t.ex. gjordes simuleringarna i en förenklad urban modell och under nästätt fritt trafikflöde, men det är intressanta resultat som redovisas.

Se även

- [Energies | Free Full-Text | Eco-Driving Optimization Based on Variable Grid Dynamic Programming and Vehicle Connectivity in a Real-World Scenario \(mdpi.com\)](#)
- Bilaga A

Relation till C-ITS och andra nyttor som 5G systemet ger till trafiksystemet

C-ITS är i grunden ett koncept för närkommunikation mellan fordon (5G kommunikation med i grunden WiFi teknik) för att lösa specifika trafikuppgifter där fordonen behöver kommunicera direkt med varandra, men även med möjlighet att hämta hem information från vägposter om trafiksystemets status. C-ITS utvecklas även för att använda 4G/5G kommunikation som alternativ till vägposter.

4/5G systemet används idag inom t.ex. EU/CEF finansierade Nordic Way 2 projektet för stöd av autonoma långväga godstransporter för t.ex. överföring av korrektionsdata för RTK samt för teledrive av autonoma fordon (L4) och för viss trafikoptimering i städer (GLOSA / Time to green)

Det föreslagna 5G baserade trafikoptimeringssystemet har en annan målbild och omfattning och ställer högre krav på kontinuerlig uppkoppling och har ett annat anslag för informations-hantering och –analysförmåga (digital tvilling).

På sikt menar vi att 5G och Tvilling teknikerna är den mest tekniskt hållbara vägen framåt för att kunna utöka trafiksäkerhet även till andra trafikanter.

Förtätade 5G näten och Tvillingen kan även på sikt ge ett bra stöd för autonom trafik, som t.ex. markbunden geo-positionering, och för att lösa dessas uppgifter om vägval, börhastigheter och som access till tjänster som laddning, parkering, service etc., som kommer att utvecklas för den kommersiella AR/XR marknaden.

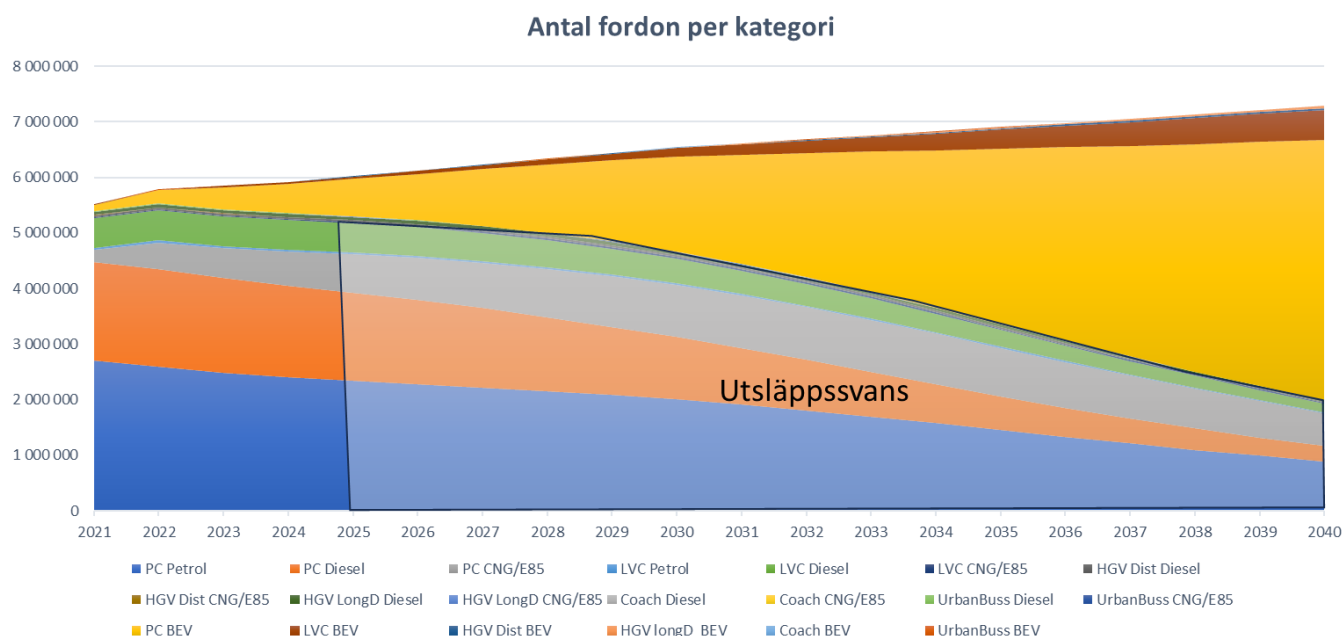
Del II

Övergången till elbilar lämnar en lång svans av bilar med förbränningsmotorer efter 2040

Elbilar är mycket energieffektiva och lämnar ett lågt CO₂ avtryck. Trots en positiv prognos kring elbilarnas ökade andel i fordonsflottan lämnas en lång svans med bilar med förbränningsmotorer förbi 2040 vilket leder till ett betydande CO₂ avtryck som måste hanteras. Trafikanalys påpekar detta i rapporten *Vägfordonsflottans utveckling till år 2030*.⁴

Antal fordon och fördelning per energislag

Figuren nedan visar prognosticerat antal fordon från 2021 till 2040 per energislag⁵. Trots den kraftiga ökningen av laddbara personbilar kommer bensin- och dieseldrivna bilar år 2030 fortfarande vara den vanligaste typen av personbilar 2030 med en svans som försätter förbi 2040.



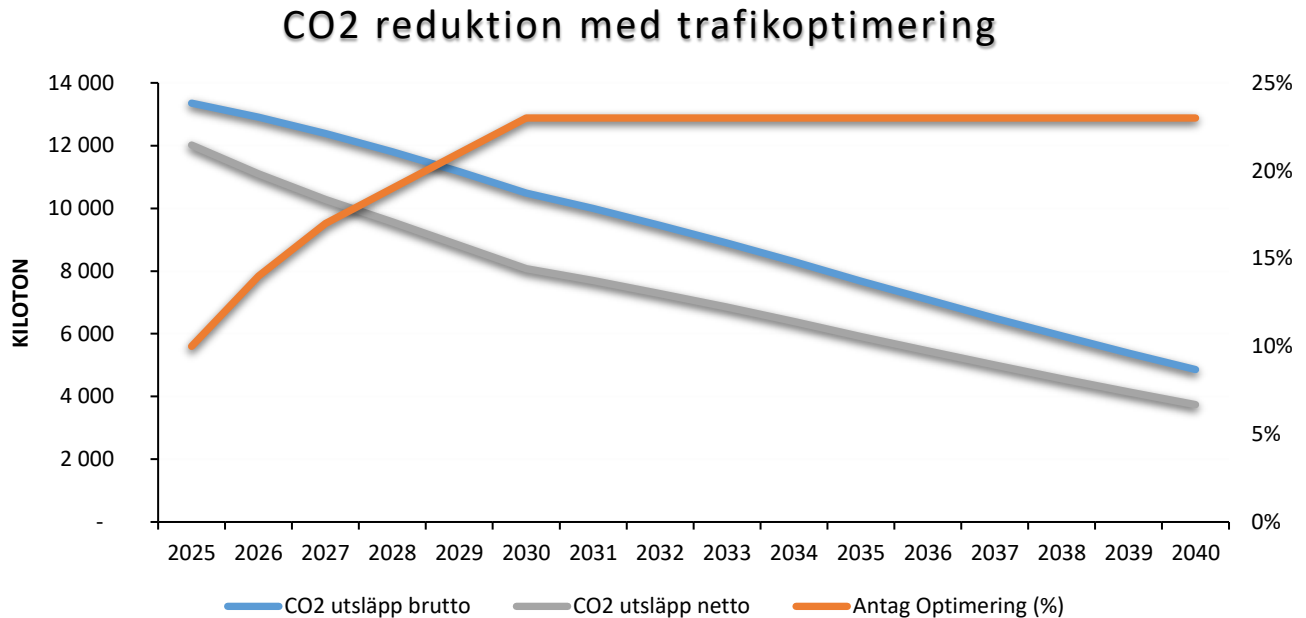
Källa: Trafikanalys och Trafikverket prognos.

⁴ https://www.trafa.se/globalassets/pm/2020/pm-2020_7-vagfordonflottans-utveckling-till-ar-2030.pdf

⁵ TRV underlag för fordonsflottans utveckling till 2050

Trafikoptimering

5G Business Consultants har gjort beräkningar på vad optimering kan ge för utsläppsreduktioner för hela Sverige, på den CO₂ utsläppssvans som fossila fordonsflottan ger fram till 2040, se figuren nedan.



Källa: Trafikanalys, Trafikverket prognos och 5G Business Consultants egna kalkyler.

Exemplet baseras på

- 10 % optimeringsvinst från 2025, som går vidare upp mot 23 % 2030 och som kvarstår till 2040.
- Den ackumulerade CO₂-reduktionen från 2025 till 2040 blir med detta antagande 20 %, som motsvarar ca 30 000 kiloton, av det totala CO₂ utsläppet från transportsektorn, som uppskattas till 146 000 kiloton från 2025 till 2040.

Optimeringen minskar även kväveoxidutsläppen och gör det lättare att hålla koll och hantera dessa som kan nå skadliga nivåer i många delar inom städerna. Bränsleblandning (eller e-bränslesubstitut) reducerar inte kväveoxiderna i dieslbilar, varför optimering väger tyngre för denna utsläppskategori.

Trafikoptimering i kombination med bränsleinblandning

5G Business Consultants har gjort en sammansatt beräkning av trafikoptimering och en bränsleinblandning om 10 % fram till 2040.

Bilden nedan visar att trafikoptimering kan, tillsammans med bränsleinblandning, ge ett stort bidrag, till att reducera mängden skadliga utsläpp i Sverige. Även bilisters kostnader från införandet ETS-2⁶ infogas i figuren nedan, för att indikera att det finns vinster för bilisterna att hörsamma och efterleva trafikoptimering – att spara bränsle helt enkelt.

	Sverige
CO2 utsläpp brutto kton, transportsektorn 2025-2040	145 616
Bränsleinblandning (%)	10%
CO2 reduktion efter Bränsleinblandning (kton)	14 562
Trafiksystem optimeringsvinst	10- 24%
Trafikoptimeringsvinst 2025-2040, kton CO2	29 187
CO2 utsläpp netto (kton) efter Optimering och Bränsleinblandning	104 787
Reduktion av CO2 utsläpp kton efter Optimering och Bränsleinblandning	40 830
<hr/>	
Kostnad för bilister ETS-2, transportsektorn 2025-2040 (miljarder)	66
Kostnader för bilister efter Optimering och Bränsleinblandning 2025-2040 (miljarder)	47
Besparing 2025-2040 (miljarder)	18

Överfört till EU och resten av världen, är bidraget mycket betydande, då en stor del av världens skadliga utsläpp kommer från transportsektorn, som i sig skapar runt 7,3 miljarder ton CO₂ årligen och är den nästa största utsläpparen efter elektricitets-generering och uppvärmning⁷. Optimeringen innebär en energireducering, oavsett energislag och har därför betydelse även när fordonsflottan är elektrifierad.

⁶ Vi har antagit att införlivandet av ETS-2 förskjuter en kostnad om ca 1kr/liter (riktmärket) bränsle till bilisterna.

⁷ <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

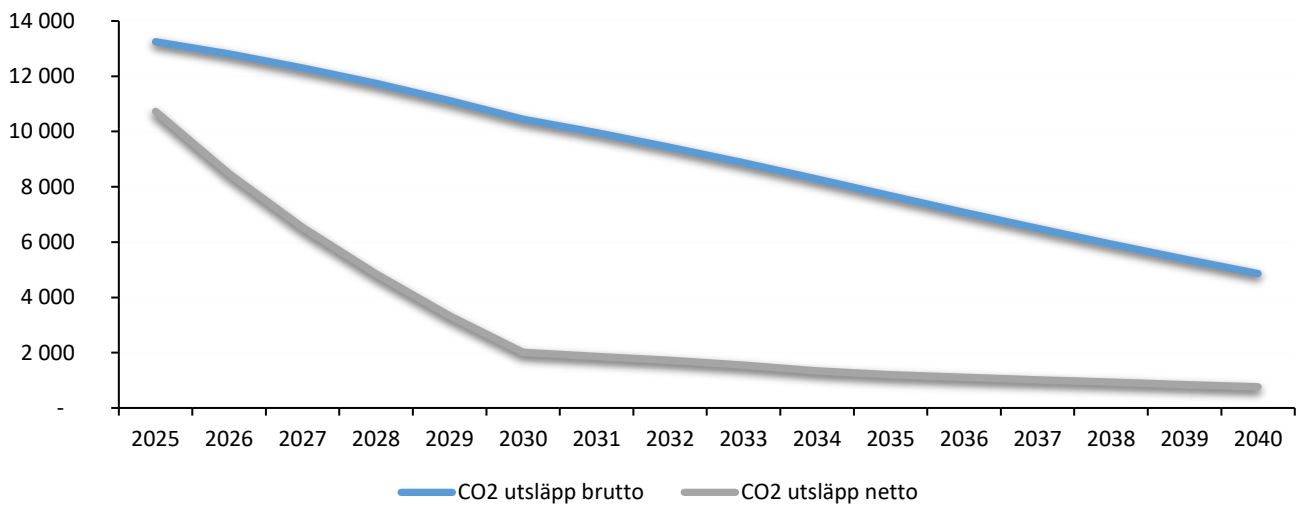
Scenario med ökad bränsleinblandning och ökade optimeringsvinster

Vid en antagen stegvis ökning av inblandningen av CO₂ neutralt bränsle i diesel och bensin från 10 % 2025 till 75 % 2030, och fortsatt till 2040 samt en ökning av optimeringsvinsterna upp till 37% 2035 och fortsatt till 2040 får vi ett utfall enligt figuren nedan.

Den ackumulerade CO₂ reduktionen blir då 48 300 kiloton. Detta motsvarar en kostnadsreduktion för bilister på närmare 45 miljarder mellan 2025 – 2040.

Figuren nedan visar hur CO₂ utsläppen kan reduceras med en accelererad CO₂ neutral bränsleinblandning.

CO₂ reduktion med optimering och bränsleinblandning



Källa: Trafikanalys, Trafikverket prognos och 5G Business Consultants egna kalkyler.

Finns det restriktioner i hur hög bränsleinblandning som kan uppnås?

Våra överslagsberäkningar för höga nivåer av bränsleblandning påvisar att energibehovet på ca 30 TWh⁸ år 2030 för att sedan avta till ca 11 TWh till år 2040.

För biobaserat bränsle motsvarar detta energibehov, processförluster exkluderade, ca 10 % av Sveriges totala skogsuttag om ca 93 miljoner m³ per år. Det finns säkert en mängd annan biomassa som är lämplig, och som även kan importeras, men skogen används här som en måttstock för att beskriva storleken på uttagen.

⁸ Kärnkraften i Sverige producerad ca 52 TWh el 2022.

Del III

Affärsmodeller

Inledning

Telekomoperatörerna kommer att stå för merparten av investeringen i 5G infrastruktur. Systemets generella egenskaper för att stödja AR baserade tjänster kommer även att kunna stödja andra kommersiella tjänster vid sidan av trafikoptimering.

Telekomoperatörernas överläggning av merparten av deras frekvensportfölj till 4G/5G, gör att både täckningen och kapaciteten blir god på vägar runt om i landet⁹.

I takt med att AR blir allt mer avancerat och att 5G även på millimeterbanden behöver användas, så menar vi att städerna måste tillgodose de behov som finns att placera 5G systemet i gaturummen som på trafikljus, lyktstolpar m.m. Det finns idag olika sätt att dela radioinfrastruktur mellan flera operatörer, vilket blir viktigt i det begränsade gatuutrymmet (delat 5G RAN).

5G och tvillingsstöd medger att kostnaden för väghållare att införa och upprätthålla en trafikoptimering blir relativt låga. Kostnaderna avgränsas till sensorer och andra åtgärder för att automatisera trafikregleringen. Planer finns i flera städer för att fiberansluta trafikljus-anläggningarna vilket även stödjer inplacering av 5G basstationer, som fordrar stor bandbredd för sin matning.

Det är viktigt att redan nu sätta igång tankarna kring affärsmodellen för hur ett trafikoptimeringssystem kan formas och byggas ut. Det finns många aspekter att ta hänsyn till:

ETS-2

Kommande ETS-2 reglering med fonderingar för innovations- och kapacitetsutbyggnad¹⁰, bygger på ”polluters pay” principen och är på så sätt rättfärdig. Trafikoptimering är en investering för den gröna omställningen med tanke på den stora mängd skadliga utsläpp som kan reduceras inom transportsektorn.

Införande av ETS-2 kan innebära en mer effektiv prissättning av trafikens utsläpp. Detta nya system kommer att omfatta koldioxidutsläppen från bränsleförbränning i byggnader, vägtransporter och ytterligare sektorer (främst småindustri som inte omfattas av EU:s befintliga utsläppshandelssystem). Syftet är att använda intäkterna från EU:s utsläppshandelssystem för att stödja initiativ för minskade koldioxidutsläpp i Europa och stärka övergången till nettonollutsläpp, samtidigt som den ska säkerställa fortsatt ekonomisk tillväxt. När transportsystemet integreras i utsläppshandelssystem kan nya marknadodynamiker skapas.

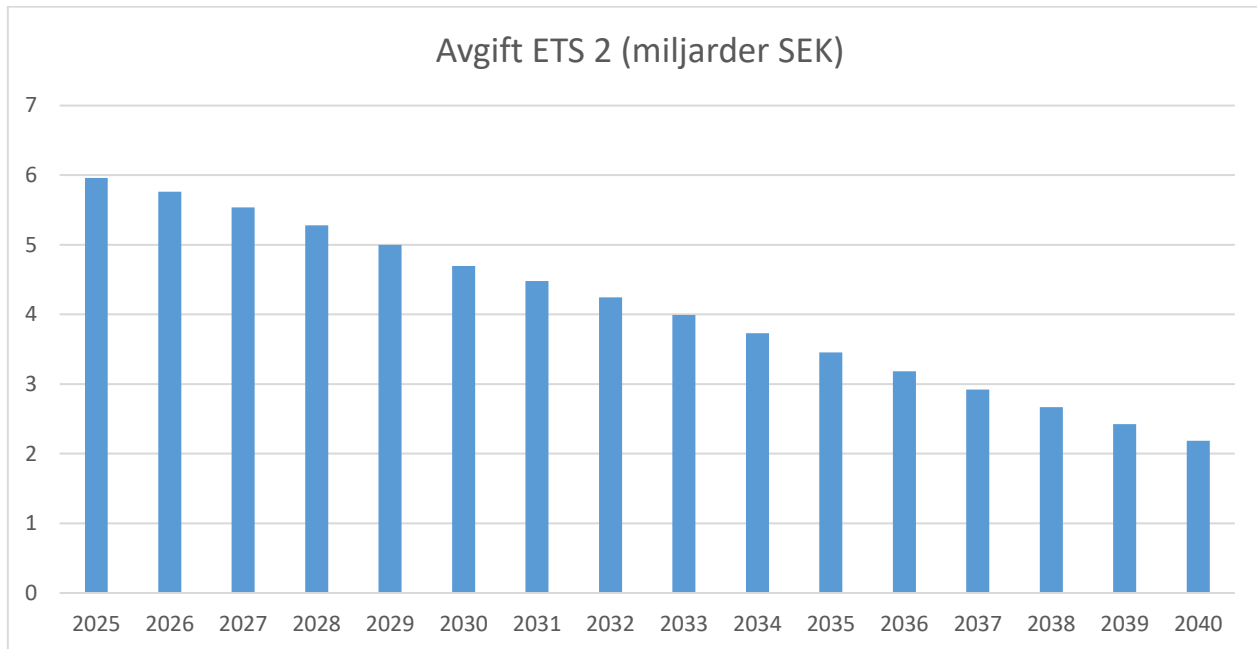
Införlivandet av transportsektorn i utsläppshandelssystemet (ETS-2) ger ett pris på CO₂ utsläppen och skapar kapitalfonderingar som stödjer innovationer och kapacitetsuppbyggnader för att minska de totala utsläppen, även i andra sektorer. Dessa medel bör kunna tas i anspråk för innovations- och kapacitetsuppbyggnad av 5G baserad optimering av Sveriges trafiksystem.

⁹ Övergång från GSM och UMTS till 5G tillsammans med den starka 4G utbyggnaden, ger en robusthet för publika AR tjänster.

¹⁰ Vi menar också att denna kostnad väl ska kunna täckas av inbetalningarna från ETS-2 och att medel från innovations- och förbättringsfonderna kan användas för detta ändamål, så att kostnaderna för trafikoptimering inte landar på direkt på kommunerna, som upprätthåller en stor del av svensk väghållning. Vid ett utsläppspris på 450 SEK per ton (riktmärket), blir den ackumulerade intäkten från utsläppsrättigheter 2025–2040 hela 66 miljarder kronor (som minskar till 47 miljarder SEK med trafikoptimering) detta leder till ett till ca 1 SEK per liter drivmedel i extra kostnad för bilister enligt våra beräkningar.

Vi har beräknat att ETS-2 kan ge ett bidrag på mellan 22–66 miljarder SEK mellan 2025 och 2040 (22 miljarder vid det aggressiva men fullt möjliga scenariot, 49 miljarder vid enbart 10% bränsleinblandning och max 23% optimeringsvinst).

Figuren nedan visar årliga auktionsintäkter från utsläppsrättigheter för fossila fordonsbränslen, exklusive bränsleinblandning och ett CO₂ pris på 450 SEK/ton (riktmärket).



Stöd till kommunal väghållning

Alla fordonsskatter tillfaller idag staten, trängselskatter undantaget. Stöd till kommuner och dess väghållning för investeringar i trafikoptimering är viktigt att beakta då de flesta fordonsrörelser sker i städerna och det är där de stora optimeringsvinsterna kan göras.

Ekonomiska incitament

De ekonomiska incitamenten för olika aktörer – själva oljan i maskineriet – måste utkristalliseras för att vinsterna av trafikoptimering ska kunna fångas

Investering i 5G och Digital Tvilling:

Teleoperatörerna måste få långsiktiga ekonomiska incitament att bygga ut 5G kommunikationerna och grunderna för den digitala tvillingen, för att svara mot det krav som en samhällstjänst som Trafikoptimering ställer.

Inplacering av 5G millimetervågs-apparaturer i gaturummen är ett tydligt incitament. Tekniken för trafikoptimeringen kan även stödja telekomoperatörernas kommersiella AR tjänster och framtida mer bredbandskrävande tjänster, som t.ex. publik "extended reality" -XR¹¹, vilket ger nya kommersiella incitament för teleoperatörerna.

Tvillingen förväntas även kunna stödja kommersiella tjänster där mer precis rums-tids uppfattning är grunden för tjänstens utformning och upplevda kvalitet.

¹¹ 5G Business Consultants färdigställer nu en ny rapport kring affärsmodeller och nya krav på frekvensanvändningen för att bättre stödja exempelvis nya mer avancerade AR/XR tjänster i gaturummen, som ska kunna fungera sömlöst och frekvenseffektivt utomhus och inomhus för både kommersiella tjänster och tjänster av samhällsekonomiskt intresse, som trafikoptimering och autonoma fordon/farkoster

Dessa synergier är en förutsättning för att trafikoptimeringssystemet ska kunna föras in till en låg kostnad i samhället.

Rådighet

Väghållare kan även komma att ställa speciella krav på rådighet för informationsbehandling och säkerhet kring trafikdatainformationer, varför vissa kostnader för ex tvillingen kan komma att tas av väghållarna (tjänsterna drivs som eget slice eller i isolerade maskiner).

Bilindustrins intressen

Sverige har en mycket stark fordonsindustri och OEM:ers affärsintressen inom fordonstrafikoptimering måste höras och tillgodoses.

Det finns tekniska synergier och intresse bland flera OEM:er att kunna använda AR tekniker mer "inbyggda" och som kan ge en OEM unika sälj fördelar, i jämförelse med den enklare utformning som är tänkt för dagens rullande fordonsflotta.

Frågor kring informationsägarskap för trafiksystemet status

Frågan kring hur informationsägarskapet ska fördelas och kring hur informationssäkerheten ska utformas är centrala i affärsmodellens utformning.

Både väghållare och OEM är intresserade av informationsägarskap kring trafiksystemets status.

Väghållare har intressen i att kunna informera hela fordonsparken för trafikoptimering och kring händelser som ligger utanför trafiksystemets normala framföringsförmåga, som vid olyckor och svåra väderförhållanden. Väghållare håller även data kring trafiksystemets mer statiska resurser som vägar och dess framkomligheter för olika fordons och annan trafikreglering.

Del IV

Handlingsplan

Väghållare, industrin och forskningen måste nu tillsammans medverka i kraftsamlingen.

Ur exportindustriellt perspektiv är detta en intressant marknad för hela Europa och globalt, där trafiktätheten och därmed optimeringseffekterna blir större, men Sverige bör gå före och nu visa vägen.

Att säkra tillgången på information som beskriver trafiksystemets status och informationsägarskapsfrågan blir nu central och måste reda ut.

En betydande del av 5G-optimeringens ekonomiska effektivitet kommer av 5G:s generalitet och användbarhet för både rent kommersiella tjänster och för samhällstjänster av särskilt intresse, som att stödja fordonstransporter.

Det är därför att största vikt att städerna är hörsamma på telekommunikationsaktörers intressen för att kunna nyttja inplaceringsmöjligheterna för 5G i gaturummet för att dels stödja trafikoptimeringen och dels accelerera kommersiell tjänsteutveckling i staden, som också är av stort värde. En snabb utbyggnad av avancerad 5G kommer att skapa nya ekosystem som skapar nya ekonomiska värden för staden – nya tidens höghastighetsbanor. Städerna kommer även att kunna dra stor nytta av avancerad 5G för sitt egna kommunikationsbehov

En kraftsamling inom transportområdet kommer att visa vägen för europeisk förmåga att utveckla säker AI baserad systemteknik för avancerade tillämpningar¹².

Förstudie

KTH tillsammans med 5G Business har i oktober 2024 lämnat in ansökan kring en 5 månaders FFI finansierad förstudie med start i januari 2025.

Förstudien innehåller två arbetspaket, som båda genomförs inom KTH

- AP1 som kommer att verifiera och kvantifiera möjliga optimeringsvinster, utan hänsyn till de möjliga tekniska, användarmässiga, organisatoriska och finansiella restriktioner som kan uppenbara sig i en implementation
- AP2 som kommer att ge en orientering kring vilka systemmässiga, användarmässiga, organisatoriska och finansiella överväganden som måste beaktas för att kunna nå vissa effektmål.

¹² Systemet kommer att ligga på den absoluta tekniska framkanten i att kunna observera, besluta och återkoppla inom korta realtider inom komplexa beslutsmodeller baserat på stora informationsmängder över stora ytor/populationer, som kan få avsättning även på andra marknader som inom kommersiell XR och även inom försvarsapplikationer. Systemet harmoniserar med 6G Fysisk – Cyber Kontinuum struktur.

Appendix

Appendix

Systemutformning

Sverige har en stolt tradition inom systemutveckling på den absoluta gränsen vad tillgänglig teknik erbjuder. Det är signum för svensk ingenjörskonsts att skapa kostnadseffektiva lösningar för nya tillämpningar på den tekniska framkanten. Två goda exempel är framtagningen av AXE systemet, som erövrade värden, när elektromekaniska telesystem ersätts av digitala och där många konkurrenter helt enkelt inte hängde med i teknikutvecklingen. Ett annat exempel är avionics i JA system 37, där krav på nya förmågor omsattes i digitala lösningar, kanske 10 år innan amerikans flygindustri hann ikapp. 5G är idag på den tekniska framkanten.

Kort kring den teoretiska grunden

Digital Tvilling beskriver den fysiska världen i en cyberabstraktion, där observationer i den fysiska världen som överförs med kommunikationer, görs tillgängliga för agenter att ta beslut om kontrollrekommendationer. Den föreslagna systemmodellen baseras på en 4-dimensionell beskrivning av ett objekt status i den fysiska världen; dess geo-position x,y,z under ett historisk tidsförlopp t . Systemet är således obegränsat i omfång och en agent har tillträde till alla objekt i hela systemet.

Digital tvilling verkar i nära real-tid, d.v.s. observationer, agents beslutstid och återkoppling till objekt med kontrollrekommendationer; ett förlopp, kan stödjas upp till 100Hz (10mS förloppstid) för vissa tillämpningar. Modellen kan samtidigt stödja olika förloppstider och prioritera förlopp, i händelse av resursbrister. Tvillingen kan även isolera förlopp, så att klasser av observationer, åtgärder och kontroller isoleras sinsemellan (s.k. "slicing" inom systemets realisering)

Det som begränsar agentens förmåga att verka över stora spatiala ytor under en given förloppstid är process- och tidsfördröjningar, där tidsfördröjningen i kommunikationer (signaler utbredningshastighet i optiks fiber) i praktiken blir den begränsande faktorn, men som en agent kan korrigera för, då den är känd.

Digital Tvilling stödjer parallella förlopp, där observationer delas, och där agenter kan finnas lokaliserad över hela systemets utbredning. Observationer (objekt) tillåts inte bära status i syfte för agenter att upprätthålla statusförhållanden sinsemellan.

Tvilling kan även skapa olika projektioner i 4D-rummen för agenter att lösa olika typer av uppgifter, som att skapa stora rumsprojektioner för att observera den aktuella trafikvolymen i helt trafikområden, eller till att zooma in på en trafikorsning, och med stöd av historiska rörelser prediktera en kollision. Denna förmåga leder i princip obegränsad kapacitet för att hantera förlopp. Flaskhalsar som utläsning av 4D-projektioner kan lösas genom att replikera datakällan i flera instanser.

Agenter upprätthåller besluts-status, och utväxling av statusförhållanden mellan agenter är en grund i systemets sammantagna beslutsförmåga och kan stödjas av olika principer, där belöningsmodeller är en för att nå sammansatta optimala beslut.

5G kommunikationssystem är obegränsat i omfång och sammanlänkar sensorer och kontrollorgan (ex man-maskin-gränssnitt) med agenter i Digital Tvilling och stödjer upp till 100Hz förloppsfrekvens.

Kort kring systemets realisering

Digital Tvilling realiseras genom sammankopplade datorer som formeras i lokala kluster. De mest frekventa operationerna är vektor-kalkylering för att stödja inlärning och exekvering av neurala nät, där exekveringsstöd från GPU enheter är en viktig stödresurs.

Då observationer lämpligen lagras i RAM i form av 4-dimensionella vektorer, kan det finnas behov av ett anpassat *assembly* språk för GPU:s mikroinstruktioner, för att stödja frekventa vektor-operationer, och som nås från högnivåspråken ex Python.

Realtidskraven och även krav på energi-effektivitet ställer krav på att all exekvering sker så effektivt som möjligt, och att genvägar i system-utformningen, kan tillåtas för att exempelvis effektivisera data-replikering (behovet av att dela observationer mellan olika applikationer) inom systemets hela räckvidd, genom att direkt nyttja dirigeringsfunktioner, i SDN eller Internet protokoll, då datareplikering mellan processorer genom särskild IPC blir onödigt resurskrävande?

För att stödja ett trafiksystem, behövs att ett omtag på digitala tvillingen tas. Målet är att finna en arkitektur som fullt ut kan ta tillvara programvarutekniker för AI, och samtidigt skapa en arkitektur som är öppen för andra databehandlingsformer, och som medger utvecklingsbarhet även i många andra dimensioner. Tvillingen ska kunna opereras federativt, samverka med 5G systemet, varför vissa standarder ska nås.

KTH har idag ledande kunskaper inom teoretisk trafikoptimering, med ett AI inslag. Även grundidéen för att bryta ned komplexitet genom att nyttja olika projektioner av trafiksystemet (mikro, mezzo, makro), menar vi kan vara bärande även för realisering av trafikoptimering, för att bryta ned komplexitet och få ökade åtkomligheter inom informationsbearbetningen, där mer omfattande neurala nät ger begränsningar.

En systemutformning med stort inslag av AI, behöver även ta större hänsyn till stöd för "inbyggd" upplärning och förmågor att övervaka rimligheter i sensorinformationen och kontrollrekommendationer, så att dessa de ligger "inbound" (att förstå och hindra onaturliga gradienter, eller andra galenskaper som kan påverka sensorkontrollen). En grundsystemering som tar hänsyn till hela detta sammanhang kommer att ligga i den tekniska framkanten.

5G systemet stödjer i allt väsentligt de krav som ställs för ett trafikoptimeringssystem. Systemet kan dynamiskt nyttja stora mängder av frekvenser-resurser som är fördelade brett i frekvensspektra för att skapa motståndskraft för EW, som tyvärr har blivit en aspekt att ta hänsyn till. Systemet kan tillämpas så att en ökad motståndskraft för (lokala) utslagning inom enskilda mobilnäten kan kompenseras genom övergång till annat mobilnät. Kommunikationsbehovet för AR för trafikoptimering längs vägar är relativt begränsad, men kan på sikt komma att öka i städer där trafiksituationen blir med komplex, med större grad av blandad trafik och även möjligheter till s.k. multisensor-fusion av fasta sensorer kan nyttjas, som att se runt hörn exempelvis.

5G:s utvecklingsplan för geo-positionering i release 17 och 18 bör tillfredsställa kraven för att kunna avbilda trafiksystemets status för trafikoptimering. Sättet detta sker på är att AR glasögon eller IoT avger sina positioner, som även vid en lägre penetration (>20%) bör kunna ge en god statistisk bild av status på makro och mezzo nivå. På mikronivå (ex trafik korsningar) kommer optiska sensorer att behöva användas för att ge en bättre upplösning, av alla de trafikslag som ska betjänas.

Placering av millimetervågs radioutrustning i gaturummet fordras i städer på sikt, för att kunna stödja nya generationer AR/XR tjänster, stöd för AD och för att uppnå en bättre markbunden geo-positionering (<1m), samt även för att uppnå en mer energieffektiv radiokommunikation, och därmed reducerad fältstyrka i etern. Även dopplereffekter och därmed krav på högre sub-carrier bandbredder på millimeterbanden och med det kortare symboltider talar även starkt för placering i gaturummet (radiovågsreflexioner kan fångas inom symboltiden¹³).

Dessa tjänster ska fungera sömlöst och frekvenseffektivt både utomhus och inomhus (där radiointerferens kommer att ske och som måste hanteras) för både kommersiella tjänster och tjänster av samhällsekonomiskt intresse (som trafikoptimering och stöd för autonoma fordon/farkoster). Den tekniska utvecklingen inom 5G

¹³ Nya vågformer som ex OFTS ligger senare än den generella 5G utrollningen på millimeterbandet och kan rimligen inte krediteras fullt ut.

RAN pekar nu mot att delad radioinfrastruktur, delad frekvensanvändning och trafikprioriteringar bör användas i större omfattning. 5G Business Consultants färdigställer nu en separat rapport kring denna fråga.

AR-glasögon kommer att få en avsevärd datorkraft och genom denna distribution kan måhända många funktioner för att stödja förarens omvärldsuppfattning ökas lokalt hos föraren, som ex uppmärksamhet för utspringande objekt, bildförbättring vid skymning mm. Som en grundprincip kommer fordons inbyggda system för dylika realtidskännliga funktioner, inte att interageras systemmässigt med Digital Tvilling, men väl med den fordonslokala AR resursen.

Systemutformningen stöds av idag generellt tillgänglig tekniker och kompetenser (inom 5G system, VNF-edge, array processing, sätt att skapa API, isolation, funktionsorkestrering, etc.)

Kort kring systemkravställning

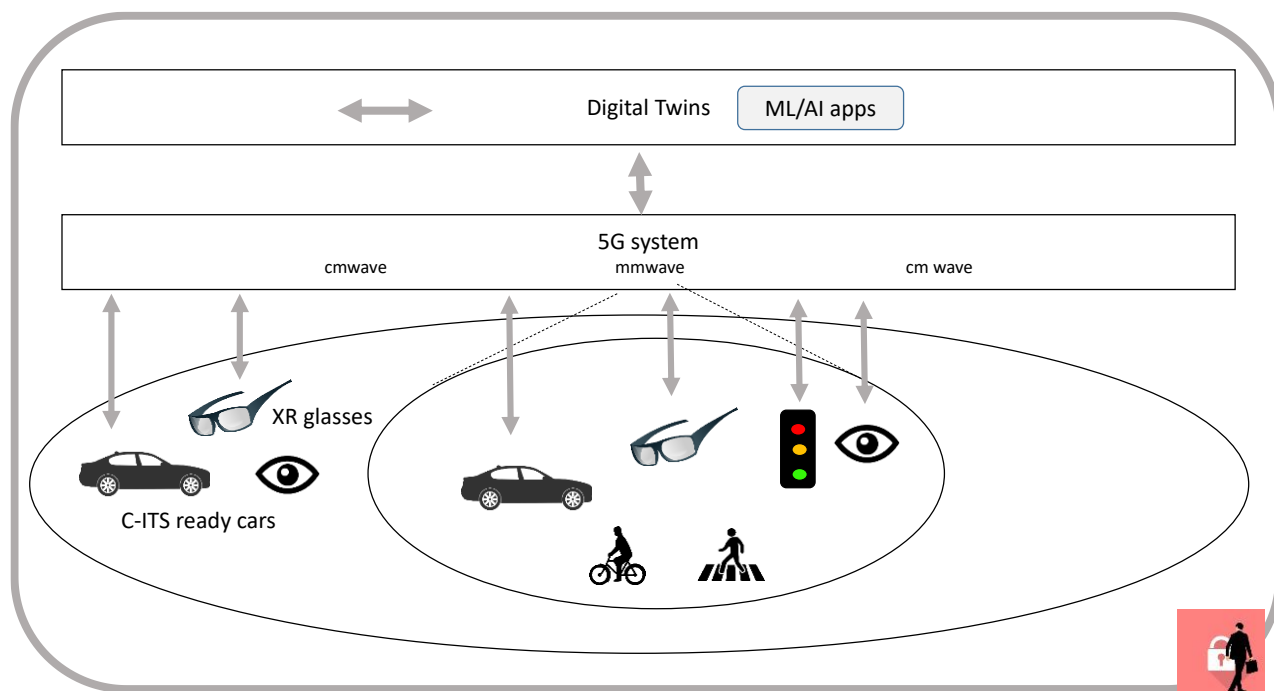
Öppenhet: Digital Tvilling kommer att utformas så att väghållare, fordonsindustri och privata tjänstetillhandahållare kan medverka med informationer som ger systemet dess förmågor och som håller systemet levande. Det kan handla om NVDB data används, att fordonen själva ger trafikstatus informationer kring halka, eller att ladd-tillhandahållare, service och parkeringsplatser görs synliga för förare (som även kan vara en agent i ett autonomt fordon) mm. Många arbeten på väg kommer att fordra att entreprenören anmäler vägarbetets upplägg så som hastighetsreduktion (blå skylt) och avstängningar av del av vägen. Olycksituationer kommer att kunna uppfattas av systemets egen förmåga att detektera avvikelse från det normala (anomalier) i trafikflödet, likaså för vissa vägskador.

System- och användares säkerhet: Digital Tvillings har sin roll att säkra och övervaka systemet realtidsegenskap, att agenter stöds genom säkra API:er, samt att ge skydd för cyberintrång. Kontroll av informationers ursprung, kvalitet och rimligheter från IRL sensor data, samt kvalitet och rimlighet i kontrollrekommendationer sker i agentstrukturerna och fordrar särskild omsorg i ett utvecklingsarbete. Tvillingen kommer per se stödja simulering för utvärdering av systemets uppträdande, innan IRL informations-inferens tillåts.

Skydd av användares integritet utformas i sensor-grundutvecklingen så att t.ex. bildigenkänningen och spårningar utformas i grunden på så sätt att individuell ansiktes-igenkänning eller att spårning av fordon genom t.ex. bilars registreringsnummer förhindras, för att skydda personlig integritet.

5G systemet stödjer för tillämpningen adekvat system- och användarsäkerhet, som exempelvis säker autentisering av användare. 5G tekniker som AR glasögon kommer att genomgå de säkerhetsbedömningar som alltid görs för man-maskinkommunikationer inom fordonsbranschen.

Det sammansatta systemet, där även kontrollåtgärder sker i angränsande system som inom trafikreglering, kan byggas "failsafe", så att förmågor återgår till sin grundfunktion i händelse av externa störning eller skador.



Kort kring systemet framtida mervärden

5G-baserad trafikoptimering leder till ett lugnare och trevligare trafiksystem och att förarna får bättre information om trafiksituationen. Som förare får du mer information om bilresan; den lämpligaste rutten, de bästa hastigheterna, lämpliga starttider för att nå destinationen i tid osv.

Som förare får du även snabbare information kring trafikstörningar på grund av dåligt väder, tillfälliga vägarbeten och förekomsten av djursamlingar som renar som en förare då kan anpassa sig till. Väderstörningar är en aktuell fråga och snabba väderomslag som snabbt kan leda till svåra trafikflödesproblem. Manuell trafikbevakning och avgränsningar av kommunikationen till berörda förare genom vanlig media är svårt eller nästa omöjligt. Här fordras automatisering med AI/ML och en direkt kommunikation med berörda trafikanter.

Generella 5G-XR och -IoT tekniker medger både geolokalisering och nya smarta sätt att uppmärksamma personerna, i cykelhjälm, i örsnäckan eller genom AR glasögonen, så att alla trafikanter kan få stöd för ökad trafiksäkerhet; cyklister, fotgängare, arbetare vid väg, som nu kan varnas för situationer som fordrar speciell uppmärksamhet. Spårtrafiken kan nu enklare inkluderas i hela trafikapparatens säkerhetssystem.

5G och Digital Tvilling ger även bättre stöd autonoma transporter, som stöd för nya "on-demand" kollektiva färd sätt baserat på autonoma "shuttels", så att allt fler kan välja att ställa bilen hemma för sina dagliga ärenden, och som kan ge ett stöd även kring mindre städer där bilen idag är central för att möta mobilitetsbehoven och där busslinjerna och avgångarna är få. Intresset för nya mer "resandeflexibla" kollektiva färd- och transportsätt kommer att öka, då exempelvis antalet boendeparkeringar i städerna minskar med tiden.

Införande av autonom godstrafikering nattetid sparar även dyra väg-utrymmen dagtid. Dessa transporter blir eldrivna och fordrar av ekonomiska skäl självkörning. Stödet består bl.a. av i markbunden geo-positionering, stöd för "lärande" vägmappar och möjlighet för fordon att utbyta körerfarenheter.

Hur studien gjordes

Studien baseras på:

- Kalkyleringar som gjort på data från Trafik Analys (CO₂/km och fordonstyp och medelkörsträckor per fordons typ), och på Trafikverkets prognoser om fordonsammansättning till 2050.
- Kalkyler baseras bland annat på CO₂ ekvivalens data kring diesel (MK1 2,36 kg CO₂ ekvivalenter/liter) och bensin (2,66 kg CO₂ ekvivalenter/liter).
- Scenarios kring 5G funktionsinnehåll enligt 3GPP utvecklingsplan fram till 2029.
- Samtal med forskare inom trafiksystem.
- Egna förvärvade kunskaper (sammantaget över 80 år) inom telenätsplanering, teletrafiksystem och telemarknadens trender och funktionssätt från telekomleverantörs- och telekomoperatörs-industrin.

5G Business Consultants är f.n. ett gemensamt varumärke för Lars Sandström och Niklas Lindhe personliga företag och rapporten är framtagen på eget initiativ, utan stöd från annan part.

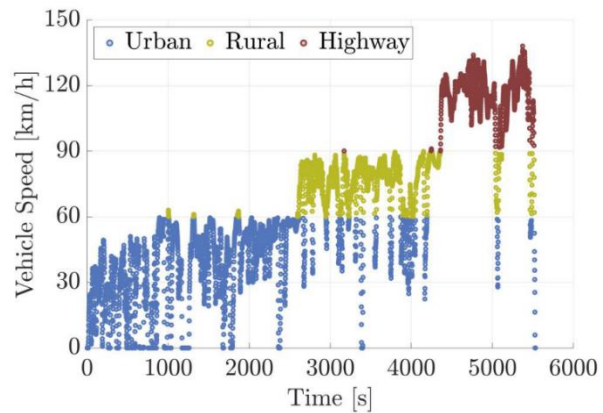
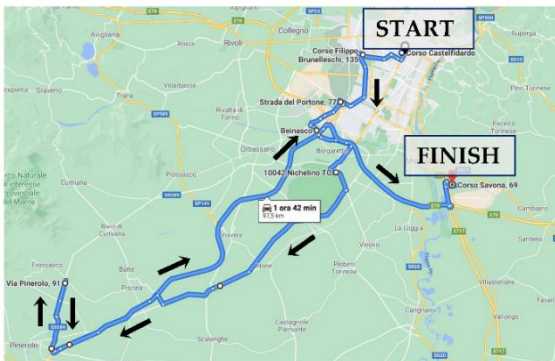
Bilaga A

Sammanställning av några forskningsstudier:

<p>Eco-Driving Optimization Based on Variable Grid Dynamic Programming and Vehicle Connectivity in a Real-World Scenario, <i>Energies</i> 2023, 16, 4121</p> <ul style="list-style-type: none">Reference Scenario represents a typical real-world mission profile. It is an RDE-compliant route conducted on public roads in the surroundings of the Italian city of Turin. The route lasted approximately 92 min and was 96 km long	<p>Energies Free Full-Text Eco-Driving Optimization Based on Variable Grid Dynamic Programming and Vehicle Connectivity in a Real-World Scenario (mdpi.com)</p>
<p>Energy Impact of Connecting Multiple Signalized Intersections to Energy-Efficient Driving: Simulation and Experimental Results. <i>IEEE Control Systems Letters</i>, 7, 1297-1302</p> <ul style="list-style-type: none">Simulation results show that the V2I-enabled eco-driving control can reduce energy use by up to 40%, on average, compared to the baseline, depending on road attributes and vehicle powertrain type	<p>Energy Impact of Connecting Multiple Signalized Intersections to Energy-Efficient Driving: Simulation and Experimental Results IEEE Journals & Magazine IEEE Xplore</p>
<p>Co-Optimization of Eco-Driving and Energy Management for Connected HEV/PHEVs near Signalized Intersections: A Review.</p> <ul style="list-style-type: none">Currently, road transport constitutes a considerable proportion of global fossil fuel consumption, as well as CO₂ and pollutant emissions. To mitigate transportation energy consumption, two primary approaches have emerged: the large-scale adoption of Hybrid Electric Vehicles (HEVs) and Plug-In Electric Vehicles (PHEVs), as well as the implementation of eco-driving strategies, which present an immediate and low-cost solution	<p>Applied Sciences Free Full-Text Co-Optimization of Eco-Driving and Energy Management for Connected HEV/PHEVs near Signalized Intersections: A Review (mdpi.com)</p>
<p>Carbon Dioxide Emission Reduction-Oriented Optimal Control of Traffic Signals in Mixed Traffic Flow Based on Deep Reinforcement Learning</p> <ul style="list-style-type: none">The significance of this study lies in its dual achievement: by presenting a flexible strategy that not only reduces the environmental impact by lowering carbon dioxide emissions but also enhances traffic efficiency, it provides a tangible example of the advancement of green intelligent transportation systems.	<p>https://www.mdpi.com/2071-1050/15/24/16564</p>

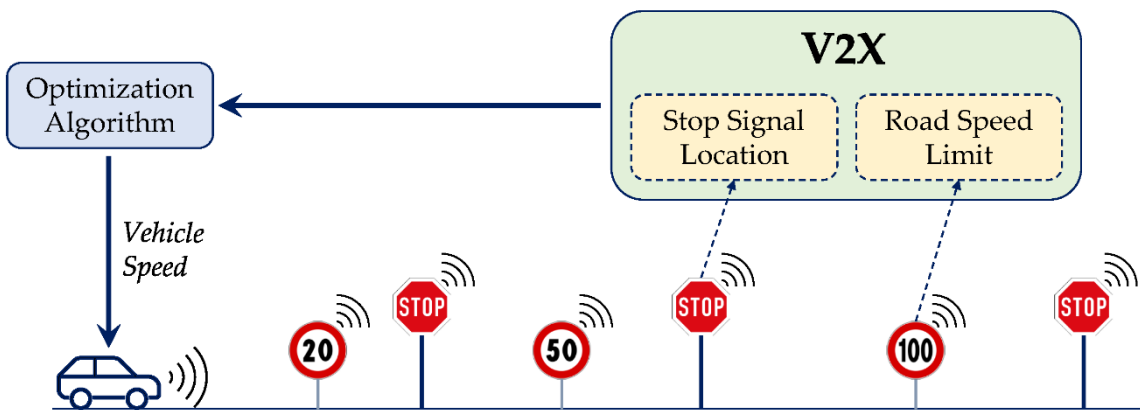
Bilaga B

Politecnico di Torino, Energy Department studie:



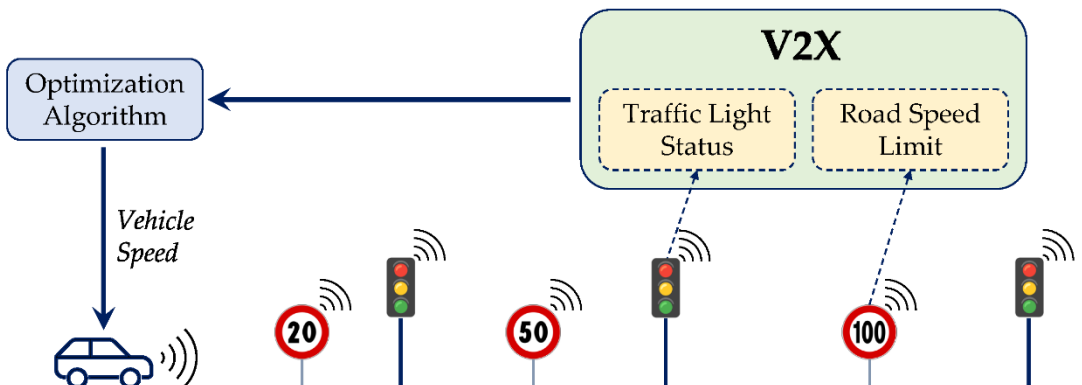
Scenario #1

Nästan 30 % av energibesparingen kan uppnås samtidigt som restiden minskas med nästan 10 %. Regenerativ bromsning beaktades inte i denna analys, så all energi som krävs för bromsning ansågs vara förlorad.

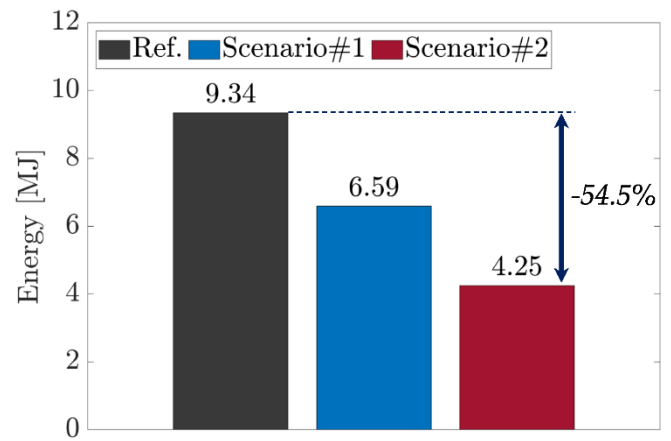
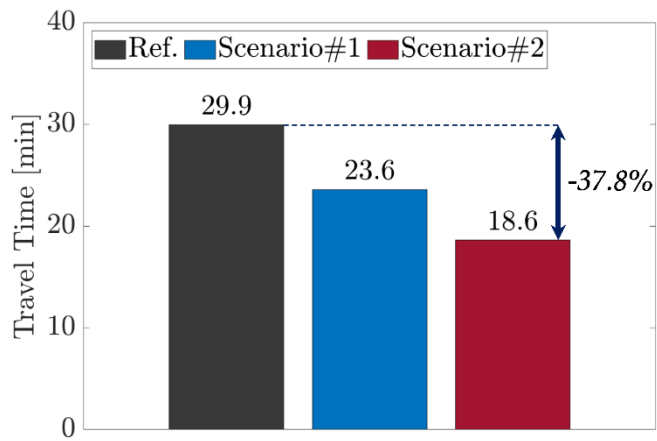


Scenario #2

Anpassning till trafikljus. I stadsmiljö kan den energi som krävs av fordonet minskas med hälften samtidigt som restiden minskar med mer än 35 %.



Scenario #1 och #2



See: [Energies | Free Full-Text | Eco-Driving Optimization Based on Variable Grid Dynamic Programming and Vehicle Connectivity in a Real-World Scenario \(mdpi.com\)](#)