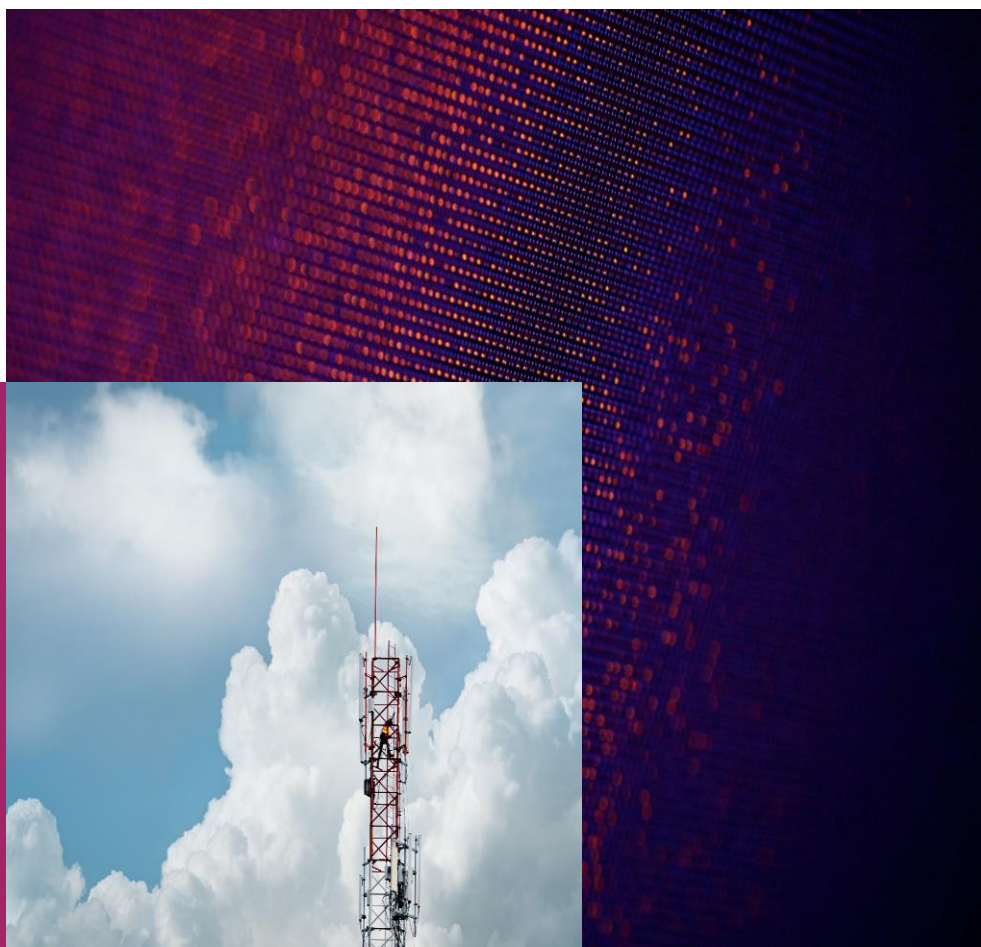




Digital infrastruktur for automatiserte transporter

Forberedelse til automatiserte transporter

Pilotprosjekt 5-3, sak 20_158550

AUTOPIA



Sammendrag

Denne rapporten «Digital infrastruktur – Rapport 5.3» bør leses i sammenheng med rapporten «Offentlig tilgjengelige data -Rapport 5.2», da disse to rapportene utfyller hverandre. Rapport 5.2 tar for seg hvilke data som er tilgjengelig, og denne rapporten beskriver hvordan data kan deles med kjøretøyene på en pålitelig måte.

Kapittel 1, som utgjør over halvparten av denne rapporten, tar for seg hva som finnes av digital infrastruktur langs veiene i dag, spesielt med tanke på trådløs kommunikasjon, posisjoneringsløsninger og veikantutrustning i form av «gammeldags» ITS.

Kapittel 2 lister om enkelte relevante standarder og spesifikasjon, uten å dykke for langt ned i denne bunnløse materien.

Kapittel 3 beskriver løsninger man kan forvente seg i nær framtid, og Kapittel 4 forklarer hvordan man i EU prøver å systematisere denne type løsninger.

Kapittel 5 har en sammenstilling av viktige innspill, poenger og diskusjoner fra to workshops som ble gjennomført sammen med deltakere i Autopia-prosjektet, og Kapittel 6 kommer med forslag til forlengelser av dette prosjektet.

Kapittel 7 tar en kort gjennomgang av hva som skjer i EU og USA i forbindelse med tilrettelegging av fysisk og digital vei-infrastruktur for selvkjørende biler, og Kapittel 8 inneholder et utkast til en tabell der vi har forsøkt å systematisere en slik tilrettelegging her i Norge.

Disclaimer

Denne rapporten er skrevet av CGI og Aventi på oppdrag av Statens vegvesen og Autopia-prosjektet. Rapporten er basert på en rekke møter og workshops med forskjellige aktører som blant annet Ruter, Statens vegvesen, Viken fylkeskommune, TØI, Cicero, Statens kartverk, Holo, Metrologisk institutt, Entur, Q-Free, Applied Autonomy, KnowIT, Mobility Forus, ITS Norway, HERE, m.fl. De konklusjoner og anbefalinger som uttrykkes i rapporten er forfatterens egne og gjenspeiler ikke nødvendigvis Statens vegvesen sitt synspunkt som et statlig organ.

Innhold

SAMMENDRAG	2
INTRODUKSJON.....	5
KAPITTEL 1: HVILKEN DIGITAL INFRASTRUKTUR HAR VI LANGS VEIENE I DAG 6	
TRÅDLØS DATAKOMMUNIKASJON MED KJØRETØYENE	6
<i>Autopass</i>	6
<i>C-ITS ITS-G5</i>	7
<i>C-V2X PC5</i>	9
<i>WiFi</i>	9
<i>Mobilnett, 4G og 5G: Telenor, Telia, ICE</i>	9
<i>DAB</i>	10
<i>TETRA nødnett ved ulykker</i>	11
<i>eCall ved ulykker</i>	11
<i>Cyber-sikkerhet/PKI</i>	12
POSISJONERING AV KJØRETØYENE.....	15
<i>RTK</i>	17
<i>PPP</i>	20
<i>PPP-RTK</i>	21
<i>RTLS</i>	21
VEIKANTUTRUSTNING	23
<i>SVV AID-kamera og radar i tunneler og langs vei</i>	23
<i>Trafikklys og bommer</i>	27
<i>SVVs Værstasjoner</i>	28
<i>SVV Tellepunkt</i>	29
<i>SVV VMS</i>	30
<i>Ladestasjoner</i>	30
<i>Kontrolltårn</i>	31
KAPITTEL 2: INTERNASJONALE RETNINGSLINJER, SPESIFIKASJONER OG STANDARDER.	32
ODD, OEDR.....	32
ISAD	32
ETSI POTI	32
C-ITS STANDARD MELDINGER	33
C-ROADS	33
CAR 2 CAR.....	33

TRAFIKKLYS RSMP.....	34
KAPITTEL 3: HVA KAN SELVKJØRENDE KJØRETØY FORVENTE SEG AV EN DIGITAL VEI-INFRASTRUKTUR	35
HØYNØYAKTIG OG TILGJENGELIG GNSS POSISJONERING	35
GNSS RTK BASESTASJONER TILGJENGELIG FOR ALLE	35
POSIJONERING I OMRÅDER UTEN GNSS-DEKNING	35
RADAR OG KAMERA LANGS VEI FOR Å AVHJELPE SELVKJØRENDE KJØRETØY	35
DATA FRA EKSISTERENDE VEIINFRASTRUKTUR	38
TRAFIKKLYS MED SPAT	38
SELVKJØRENDE SKILT.....	38
BACKUP-LØSNINGER NÅR SIKKERHETSSJÅFØREN FJERNES.....	39
KAPITTEL 4: HVORDAN KAN ISAD VEISTREKNINGER SE UT	40
KAPITTEL 5: DISKUSJON MED AKTØRER	42
ANSVARsområder FOR DIGITAL INFRASTRUKTUR	42
ANSVAR FOR FJERNSTYRING AV SELVKJØRENDE KJØRETØY.....	42
ANSVAR FOR FØRERPRØVER FOR SELVKJØRENDE KJØRETØY	42
DAGENS POSISJONERINGSLØSNINGER: CPOS	43
BILEN SOM SENSOR	43
ISAD	44
SMART DIGITAL INFRASTRUKTUR.....	44
3D VEGKART	44
KAPITTEL 6: ANBEFALINGER TIL FREMTIDIGE PILOTTER	45
FUGLEPERSPEKTIV I VEIKRYSS	45
MIDLERTIDIGE TRAFIKKLYS VED VEIARBEID	46
POSIJONERINGSLØSNINGER	47
KAPITTEL 7: HVA SKJER I ANDRE LAND	48
KAPITTEL 8: TABELL OVER INFRASTRUKTUR-LØSNINGER.....	49
BIDRAGSYTERE.....	52

Introduksjon

Selvkjørende busser og biler sliter med å vite nøyaktig hvor de befinner seg (posisjonering) og å oppfatte trafikkbildet rundt seg (tolke input fra egne lidar, radar, og kamera). Mange rundt omkring i verden har tatt til orde for at en digital infrastruktur kanskje kan forbedre dette.

Denne rapporten er utarbeidet i forbindelse med Pilotprosjekt 5-3 Digital infrastruktur for automatiserte transport, sak 20_158550, og beskriver hvordan man kan tilpasse instrumenteringen langs offentlige veier for å gjøre det enklere å implementere automatiserte transport (f.eks. selvkjørende minibusser) i Norge.

Pilotprosjekt 5-3 Digital infrastruktur for automatiserte transport, sak 20_158550 er et delprosjekt til Pilotprosjektet Selvkjørende kollektivtransport/ Forberedelse til automatiserte transport, som igjen er en del av Smartere transport i Oslo-regionen (STOR)-prosjektet.

Smartere transport i Oslo-regionen (STOR) er et samarbeid mellom Statens vegvesen, Bymiljøetaten i Oslo kommune og kollektivselskapet Ruter. Formålet er å teste nye og videreutvikle eksisterende mobilitetstjenester gjennom aktiv medvirkning fra innbyggere og næringsliv. Det gjøres gjennom ulike pilotprosjekter. Pilotprosjektet Selvkjørende kollektivtransport/Forberedelse til automatiserte transport ble startet våren 2019, da første busslinje betjent av selvkjørende kjøretøy ble satt i drift i Oslo. Formålet med utprøving av selvkjørende kollektivtransport er tredelt:

1. Introdusere teknologien for kunder og omgivelser, slik at både kollektivreisende og andre trafikanter får erfaring med selvkjørende kjøretøy.
2. Utfordre hva slags ulike roller slike kjøretøy kan spille som del av kollektivtilbudet, og hva slags nye mobilitetstjenester de muliggjør.
3. Utvikle egen og andres kompetanse innen selvkjørende kjøretøy. Læring fra prosjektet skal bidra til at vi sammen med våre samarbeidspartnere og myndigheter stiller forberedt på teknologiens fremvekst og er i stand til å utnytte den på best mulig måte.

Hvordan kan instrumentering og digital infrastruktur langs veiene bidra til forberedelse for automatiserte transport. Denne rapporten skal bidra til å beskrive Statens vegvesens ansvar for og grensesnitt til den digitale infrastrukturen (i tillegg til selve veien).

Denne rapporten er utarbeidet av Aventi og CGI i samarbeid med relevante faggrupper i Statens vegvesen som både har deltatt i individuelle intervju og workshops rundt de forskjellige temaene. Innholdet fra disse intervjuene og workshopene, samt utvidet research er sammenstilt i denne rapporten.

NB: Vi vet ikke hvor teknologien vil være om 5-10 år. Det er derfor viktig at offentlige aktører har en strategi for såkalt «no-regret infrastructure investments» for «future proof technologies».

Kapittel 1: Hvilken digital infrastruktur har vi langs veiene i dag

Statens vegvesen ligger langt framme når det gjelder å ta i bruk ITS (Intelligent Transport System) langs veinettet, og norske Q-Free har spilt en sentral rolle i utviklingen av C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems). I tillegg ligger de norske busselskapene langt framme når det gjelder å teste og ta i bruk framtidsrettede løsninger for elektriske og selvkjørende busser og biler (samt bildeling), men bruk av digital infrastruktur har stort sett begrenset seg til mobilnettet for å få internet-tilgang.

Trådløs datakommunikasjon med kjøretøyene

Vi har alt mange forskjellige typer radiokommunikasjon som selvkjørende busser og biler kan ta i bruk. Her tar vi for oss noen som alt er i bruk i veitrafikken.

Autopass

Alle er kjent med Autopass. Dette brukes i hovedsak for å samle inn bompenger, men SVV bruker i tillegg systemet for reisetidsmålinger. Systemet kunne også blitt brukt til grov-posisjonering av selvkjørende busser og biler inne i tunneler, men det er lite trolig at dette vil blir gjort.

Reisetidsstasjonene er basert på avlesning av Autopass-brikker i passerende kjøretøy, der man måler tiden mellom to passeringer.

For å måle et kjøretøy sin reisetid, så leser man av Autopass-brikken ved passering av to forskjellige reisetidsstasjoner. Av personvern hensyn leses ikke den offisielle brikke-ID som brukes til bompengformål, men i stedet noe som heter «ITS-elementets random-id».



Figur 1: Her ser vi to Autopass-lesere ved Tusenfryd

Det har lenge vært flertall på Stortinget for å utrede om man bør bytte ut dagens bompengeløsning med dynamisk veipricing der kjøretøyet selv følger med på hvor og når det kjører, og betaler en avgift for dette. En slik ordning vil bli mer rettferdig for folk som bor på feil side av bommen, men noen politikere mener at dette blir å putte taksametre i folks private kjøretøy. Tilsvarende debatter foregår i resten av Europa, og C-ITS har vært vurdert som en mulig framtidig teknologi-plattform for veipricing.

C-ITS ITS-G5

C-ITS gjør det mulig for kjøretøy og andre trafikanter å kommunisere innbyrdes med hverandre og med infrastrukturen på en standardisert måte som fungerer over hele Europa. I tillegg til mobilnettet (C-ITS long range communication), så kan denne kommunikasjonen foregå via såkalt ITS-G5 (C-ITS short range communication) som bygger på vanlig Wi-Fi, men som er gjort mer pålitelig og effektiv med eget frekvensbånd, høyere sendestyrke, lengre rekkevidde og ingen passord. I stedet for Wi-fi passord som vi er vant med på kontoret og hjemme, så blir hver eneste datapakke autentisert med et spesielt sikkerhetssertifikat (Se EU CCMS lenger nede). Rekkevidden for ITS-G5 er inntil 1km.

Norge har flere teststrekninger der ITS-G5 RSUer (Road Side Units) er installert:

- SVV: E8 Borealis
- SVV: E6 Patterødkrysset
- SVV: E6 Trondheim
- Ruter/Oslo BYM: Rådhusgata
- Aventi: E16 Bjørnegårdtunnelen

I tillegg har SVV ca. 60 ITS-G5 OBUer (Onboard Units) som kan plasseres i kjøretøyene og plugges i sigaretteneren.

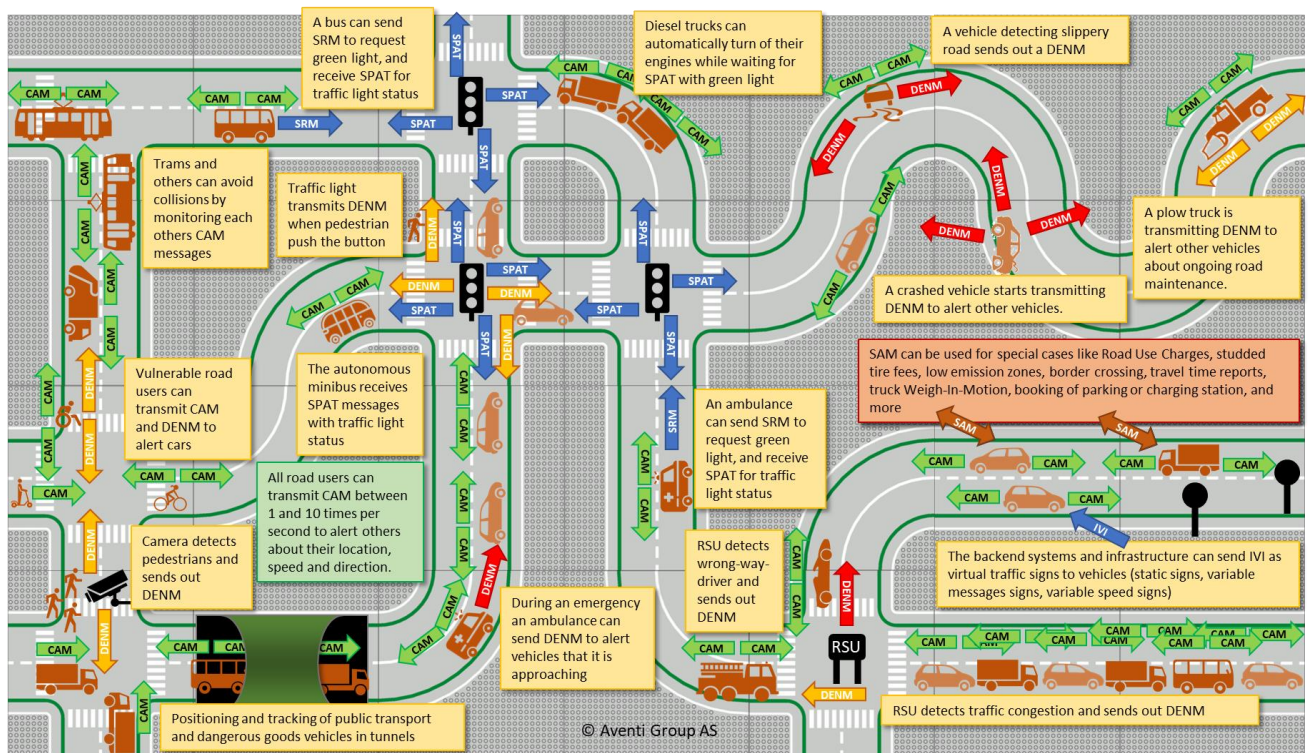
Utviklingen av ITS-G5 (eller IEEE 802.11p som det også kalles) startet midt på 2000-tallet, men teknologien er veldig konservativ og har ikke hengt med i alle nyvinningene innen vanlig WiFi. Derfor jobbes det nå med en oppdatering som kalles NGV, som betyr Next Generation V2X (IEEE 802.11bd). NGV vil gi oss følgende forbedringer:

- Dobbel datakapasitet
- Lengre rekkevidde
- Støtte for posisjonering
- Bakover-kompatibel med dagens ITS-G5

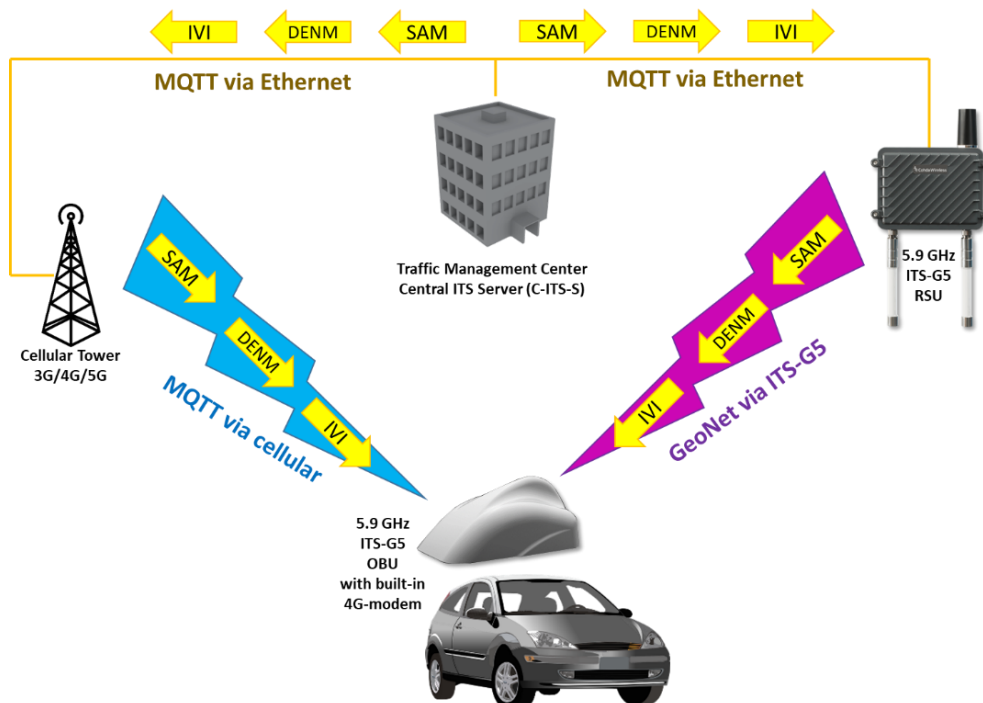
Med ITS-G5 så kan vi utveksle følgende datapakker med selvkjørende busser og biler:

- SPAT: Trafikklysstatus (rødt, gult, grønt lys, gulblink, osv)
- MAP: Kartsnitt over lyskrysset som forteller hvilke kjørefelt lysene gjelder for.
- DENM: Trafikkmeldinger (SRTI og RTTI), vær- og føremeldinger med svært nøyaktige posisjonsinformasjon.
- IVI: Virtuelle trafikkskilt
- SAM: Generelle meldinger der SVV kan putte inn eget innhold
- CAM: Melding fra andre kjøretøy og trafikanter. Inneholder posisjon, hastighet, kjøreretning og mye mer. Sendes ut en til ti ganger i sekundet.

Ettersom ITS-G5 kommunikasjonen foregår lokalt der kjøretøyene befinner seg, og ikke er avhengig av mobilnettet, så er dette en veldig pålitelig kommunikasjonsmåte. ITS-G5 kan også brukes for å posisjonere kjøretøy, enten ved å sende GNSS-RTK-data fra RSU til OBU, eller ved at radiosignalene fra flere RSUer brukes av OBUen til krysspeiling.

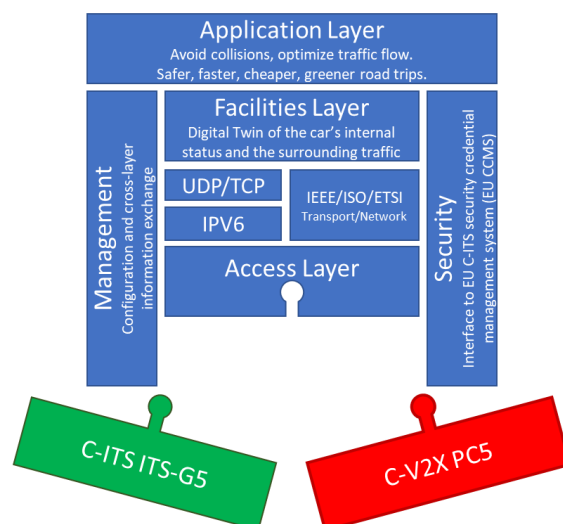


C-ITS kommunikasjonen vil kombinere ITS-G5 for korte avstander med mobilnettet for lange avstander, slik det er illustrert i figuren nedenfor.



C-V2X PC5

C-V2X PC5 er en konkurrerende teknologi til C-ITS ITS-G5, og tilbyr de samme mulighetene som beskrevet ovenfor. De to teknologiene er imidlertid ikke kompatible og vil forstyrre hverandre dersom de brukes i det samme området. Hovedforskjellen er hvordan de bruker 5.9GHz radiobåndet.



Figur 4: Det meste av software stacken til C-ITS og C-V2X er den samme

WiFi

Vi er alle godt kjent med hvordan WiFi fungerer. Dette kan brukes for selvkjørende busser og biler inne på stasjonsområder for å laste ned oppdaterte punktskyer (HD maps) og store programvareoppdateringer. I tillegg kan de brukes til å laste opp store loggfiler og datasett som kjøretøyene har generert. Det største problemet her vil være å holde styr på WiFi-passordet, og få dette oppdatert i alle kjøretøyene hver gang det endres. En god måte å gjøre det på, er å ta i bruk SAM (Service Announcement Message), der OBU i kjøretøy som nærmer seg stasjonsområdet sender ut en autentisert CAM og får i retur en autentisert SAM som inneholder WiFi-påloggingsinformasjonen.

Mobilnett, 4G og 5G: Telenor, Telia, ICE

Den viktigste kommunikasjonskanalen for selvkjørende busser og biler vil være mobilnettet. Selv om 4G er godt utbygd i Norge, så er man ikke garantert såkalt network-slicing og QoS (Quality of Service), som betyr at man får en forutsigbar kvalitet på responstid og båndbredde. Dette vil man imidlertid få når 5G innføres. Hvordan teleoperatørene vil ta seg betalt for QoS er imidlertid uvisst.

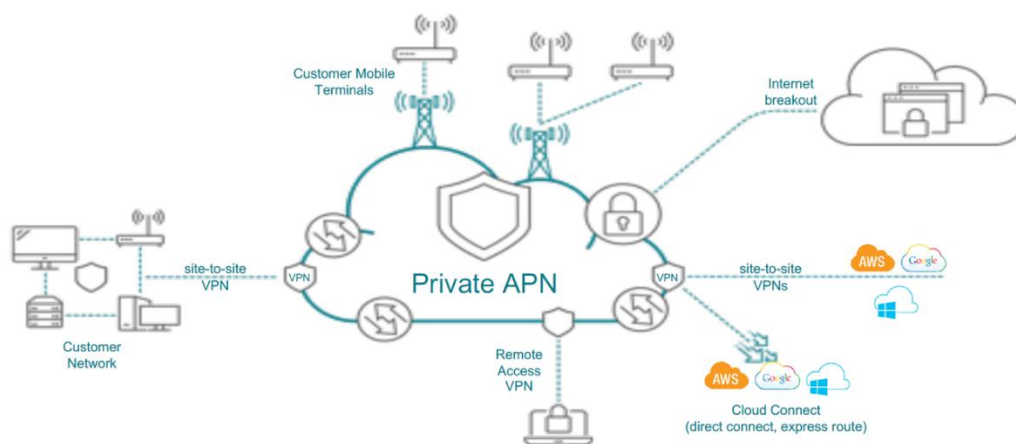
I Norge er det 3 aktører som bygger 5G nett: Telenor, Telia og ICE. Telenor planlegger for å ha landsdekkende 5G-nett innen 2024. Telia planlegger for å ha et landsdekkende 5G-nett innen utgangen av 2023. Telenor og Telia benytter utstyr fra Ericsson mens ICE har valgt Nokia som leverandør.

Telenor Infra har siden 1/1-2020 tatt over ansvaret for den passive infrastruktur som tidligere var eid av Telenor og Norkring. Infrastrukturen leies ut til Telenor og

operatører for innplassering av utstyr og antenner. Telenor Infra tok samtidig over tidligere Norkring sitt ansvar for utbygging av DAB.

Telia har tilsvarende opprettet infrastruktur selskap og vurderer å selge dette.

For oppkobling av kjøretøy og veikantutstyr på mobilnettet, så trengs SIM-kort med abonnement, og disse kan man få fra Telenor, Telia og Ice. Et annet alternativ er det norske selskapet Com4 AS i Oslo som spesialisere seg på SIM-kort abonnement for IoT (Internet of Things) og M2M (Machine to Machine). De bruker i hovedsak Telia sitt mobilnett, men kan også levere SIM-kort for Telenor sitt nett ved behov. Alle SIM-kortene går inn i et stort abonnement med felles datamengde, og man kan gå inn i egen portal og sette SIM-kort på pause dersom de ikke er i bruk. Man får også muligheten til å sette opp privat APN, slik at man enkelt kan logge seg på eget utstyr fra eget nettverk samtidig som hackere holdes unna. Com4 har i dag ca. 1 million SIM-kort med mange kunder blant tog-, buss- og ferjeselskap.



Figur 5: Privat APN nettverk fra Com4

DAB

I juli 2017 lanserte NRK en TPEG-tjeneste som sendes over deres DAB-nettverk. Dette gjorde det mulig å bruke DATEX-II trafikkdata fra Statens vegvesen, og overføre dette som TEC med RDS TMC (se rapport "Offentlig tilgjengelige data for automatisert transport" for mer informasjon om TPEG).

Mange i Norge har DAB-radioer i bilen, og der mottar man trafikkmeldinger uavhengig av hvilken radiokanal man lytter til. DAB kan også brukes til å sende trafikkmeldinger til styresystemene for selvkjørende busser og biler. Norkring hadde inntil 1/1-2020 ansvar for utbygging av digitalt bakkenett og DAB som da ble overført til Telenor Infra.

DAB har i Norge god dekning langs veinettet, og er også tilgjengelig i de fleste tunneler. Ved ulykker i tunnel, så kan Vegtrafikkentralen bryte inn med såkalt «innsnakk» der forhåndsprogrammerte meldinger sendes rett til DAB mottakere som befinner seg i kjøretøy i tunnelen.

Du kan lese mer om DAB her: <http://www.paneda.no/dab-head-end/>

Her er dekningskartet: <https://radio.no/dekning/>

TETRA nødnett ved ulykker

Nødnett et nasjonalt og digitalt samband for politi, brannvesen, helsetjenesten, tollvesenet, elforsyningen og andre aktører med et nød- og beredskapsansvar. Nødnettet ble offisielt åpnet 1. Desember 2015 og er et eget, separat mobilnett med en landsdekkende infrastruktur og tilbyr sikret kryptert kommunikasjon når det gjelder. Nødnettet er bygget på TETRA-standarden som er i bruk i mange land over hele verden. Dekningen er god i de fleste veg og jernbane tunneler. Nødnett støtter tekstmeldinger (SDS) og enkelte statusmeldinger og har mulighet for å sende posisjon fra innebygget GPS som SDS melding. Nødnett kan brukes til å sende data fra maskin til maskin for overvåkning av infrastruktur. Telenor Infra tok i 2020 over ansvaret for den passive infrastrukturen inklusiv garanti for at basestasjoner må holde seg i live med UPS i minimum 3 dager dersom strømmen skulle gå.

Dagens nødnett har en del begrensninger bl.a i forhold til digital kommunikasjon og det pågår konseptvalgutredninger for fremtidig løsning for nød- og beredskapskommunikasjon og overgang fra dagens nødnett. Statens kontrakt med Motorola om drift av dagens Nødnett utløper i 2026. Når nødnett slukkes så skal alt nød- og beredskapssamband flyttes over på det kommersielle mobilnettet, og 5G vil egne seg godt til dette formålet.

For Ruter sitt pilotprosjekt for selvkjørende busser på Ski sammen med Holo, så har man sett på muligheten for å benytte TETRA slik at utrykningskjøretøy kan sende varsel direkte til bussene.

Du kan lese mer om nødnett her: <https://www.nodnett.no/>

eCall ved ulykker

eCall er et system for automatisk varsling til nødetatene via mobilnettet hvis kjøretøyet havner i en ulykke. Når eCall utløses etableres det taleforbindelse med operatøren på nødsentralen. I tillegg sendes det over et sett med data, eksempelvis fakta om bilen og hvor den befinner seg, slik at nødetatene raskt kan rykke ut. eCall er et felles europeisk nødmeldingssystem for varsling av trafikkulykker. Systemet skal installeres i personbiler og lette varebiler som er typegodkjent etter 31. mars 2018. Som en 2-årig prøveordning har Regjeringen besluttet at brannvesenets 110-sentraler skal være mottakssentral for eCall i Norge. Operatørene ved 110-sentralen sørger for å varsle alle nødetatene etter behov.

Flere har tatt til orde for at eCall løsningen også burde brukes til å rapportere inn uhell med selvkjørende busser, men da må eCall standardene og lovverket skrives om.

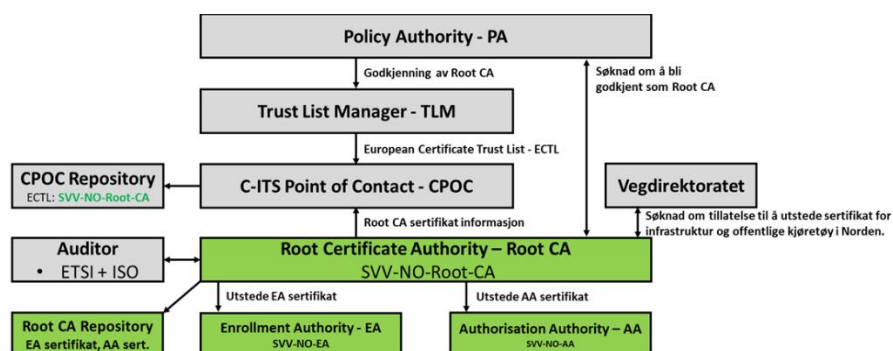
Les mer på: <https://www.sikkerhverdag.no/ecall>

Cyber-sikkerhet/PKI

For ITS-G5 kommunikasjon, som er beskrevet lenger oppe i denne rapporten, så har man i EU utviklet en PKI (Public Key Infrastructure). Dette er et hierarki av utstedere av sikkerhetssertifikat, og brukes av kjøretøy (OBU) og veikantstasjoner (RSU) for å autentisere meldinger som sendes ut og verifisere meldinger som mottas. Systemet kalles EU CCMS, som står for EU C-ITS Security Credential Management System.

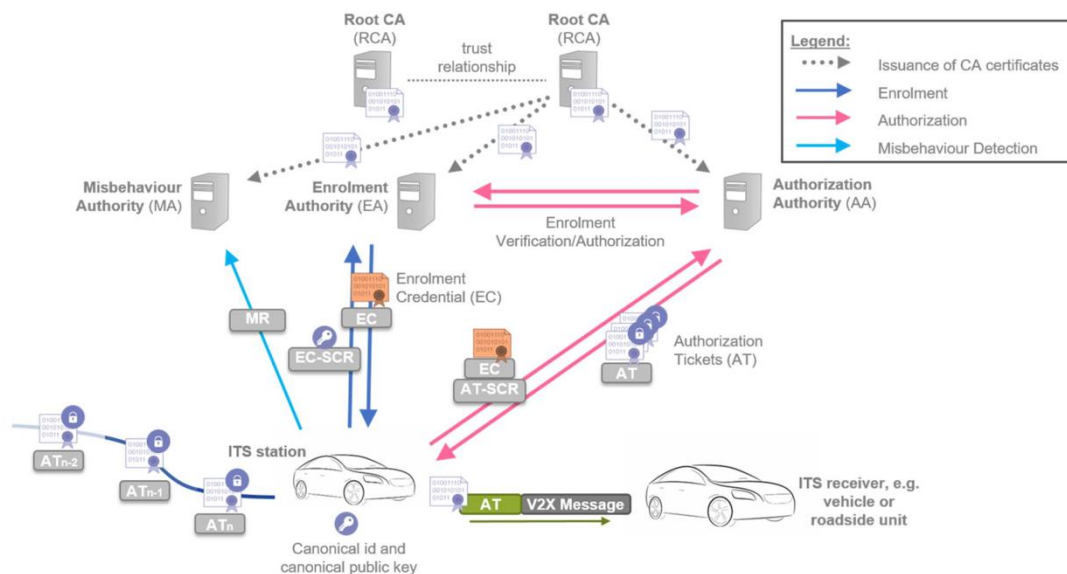
Dersom for eksempel et trafikklys med RSU i Rådhusgata i Oslo sender ut en SPAT-melding til en selvkjørende buss fra Ruter og forteller at nå er det grønt lys, så vil OBU i bussen sjekke at sertifikatet i SPAT-meldingen stemmer overens med eget sertifikat. Dersom sertifikatene stemmer overens, så kan bussen kjøre videre. Men dersom bussen ikke kan verifisere lyskryssets sertifikat, så må den kontakte sin fjernoperatør og be vedkommende fjernstyre bussen manuelt og parkere et trygt sted. Deretter må man undersøke hvorfor sertifikatene ikke stemmer overens.

Figuren nedenfor viser hvordan EU CCMS er bygget opp. Den viser kun Vegvesenet sin eksperimentelle Root CA (Certificate Authority), men det vil være flere forskjellige Root CA i Europa. Enkelte land vil bruke fellesløsningen til EU Kommisjonen, mens andre land ønsker å opprette egne Root CA. Enkelte bilprodusenter ønsker også å opprette egne Root CA. Et viktig poeng for Vegvesenet er å merke seg at Veidirektoratet må gi Root CA tillatelse til å utstede sertifikater for RSUer, trafikklys og utrykningskjøretøy i Norge. Det vil for eksempel ikke skje at infrastruktur og politibiler i Norge har sertifikater utstedet av Volkswagen.



Figur 6: Vegvesenets EU CCMS PKI Root CA

Root CA utsteder sertifikater til de to underenhetene EA (Enrollment Authority) og AA (Authorization Authority), og det er disse to enhetene folk flest i Norge vil forholde seg til. Av personvern hensyn, så skal EA og AA være separate organisasjoner.



Figur 7: Her ser vi hvordan EA og AA sørger for at kjøretøyets OBU får sertifikater. Kilde: ETSI TS 102 940

EA sin oppgave er å knytte kjøretøyets OBU-identitet til eieren, omtrent som dagens Kjøretøyregister (det diskuteres fortsatt hvordan dette skal gjøres). Dette er imidlertid personsensitiv informasjon som ikke skal deles med alle andre, så OBU mottar et anonymisert EC (Enrollment Credentials) fra EA. EC sendes til AA som sjekker med EA om EC er gyldig. Dersom det er tilfellet, så sender AA ca. 100 AT (Authorization Tickets) til OBU. Hver gang OBU nå skal sende ut en V2X-message (f.eks CAM) til andre OBU eller RSU, så legger den ved en tilfeldig valgt AT. Mottakerne vil sjekke at AT er gyldig før de aksepterer meldingen.

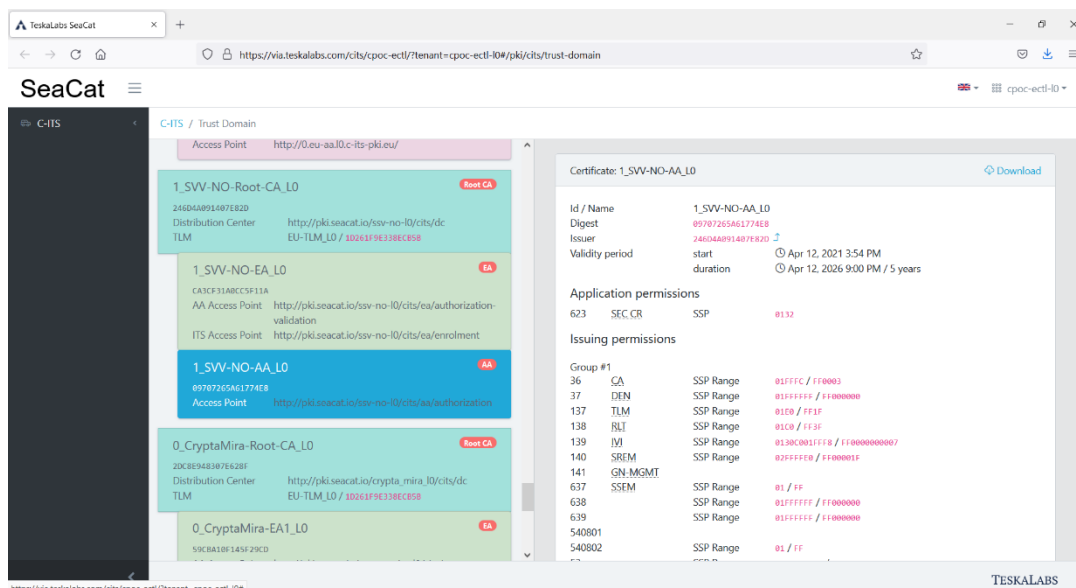
Grunnen til at OBU får så mange AT er at privatbilister fra et C-ITS perspektiv skal kunne ferdes anonymt i trafikken. Selv om hver AT er anonymisert, så vil personer med egnet utstyr og onde hensikter kunne fange opp "fingeravtrykket" til AT når du forlater hjemme ditt, jobben, barnehagen og andre steder. Derfor vil OBU trekke ut en ny AT av "kortstokken" cirka hvert femte minutt eller hver kilometer for å gi deg bedre personvern. Etter cirka to uker så vil OBU kaste alle gamle AT og laste ned et sett med nye fra AA.

De forskjellige utstederne av slike sertifikater blir listet opp i European Certificate Trust List, forkortet ECTL. Listen finner man her: <https://cpoc.jrc.ec.europa.eu/ECTL.html>

Trust List er imidlertid lagret som en kryptisk OER-fil, og kan kun leses av spesialprogram. TeskaLabs har laget et slik verktøy og gjort det tilgjengelig for alle. Der kan man se alle Root-CA med tilhørende EA og AA:

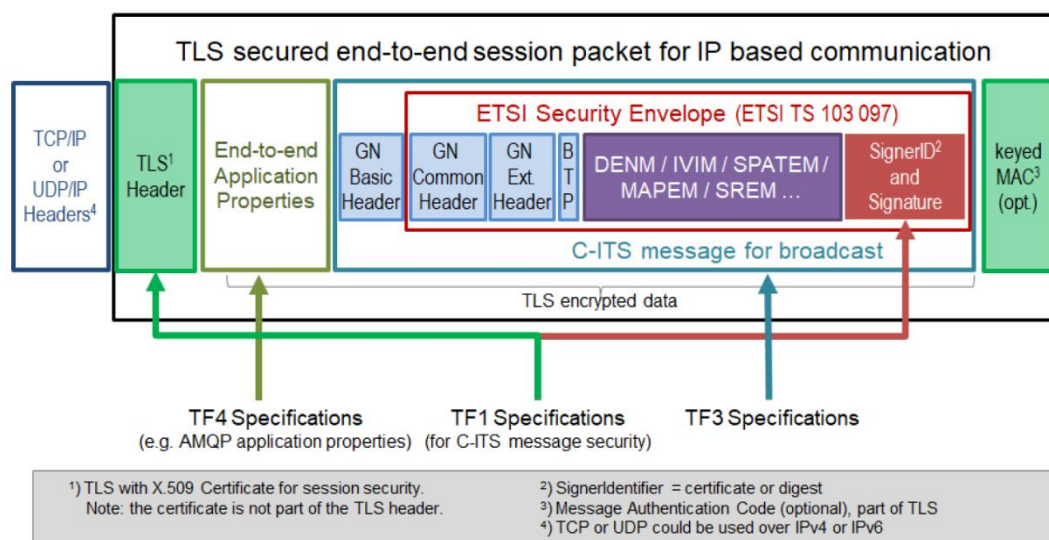
<https://via.teskalabs.com/cits/cpoc-ectl/?tenant=cpoc-ectl-l0#/pki/cits/trust-domain>

I denne listen finner man Vegvesenet, og man kan se hvilke typer sertifikat (Issuing permissions) som Vegvesenet kan utstede (CA Message, DEN Message, osv).



Figur 8: Her ser vi SVV sine Root-CA, EA og AA som driftes av TeskaLabs og administreres av Q-Free.

ATene fungerer per i dag fint for ITS-G5 kommunikasjon, men det er ønskelig også å kunne bruke de samme sertifikatene over mobilnettet, noe det arbeides med å få til. Da vil man kunne bruke ATer på samme måte som IKT-verdenen sine X.509-sertifikater for å autentisere TLS 1.3 kommunikasjon. TLS (Transport Layer Security) er den vanligste metoden for å sikre Internet-trafikk som f.eks websider, eposter og MQTT. Det er fortsatt ikke klare standarder for hvordan dette skal gjøres over mobilnettet, men C-Roads har kommet med et forslag i sin spesifisering "C_Roads_WG2_TF1_Security_and_Governance_R1.8.0", avsnitt "2.3 A hybrid communication system". Der finner man følgende figur.



Figur 9: Den blå boksen viser hva som kreves for å sende C-ITS meldingen over mobilnettet

Utover EU CCMS PKI som har blitt beskrevet her, så bør man for infrastrukturen også ta hensyn til standarden "ISO/SAE DIS 21434 Road vehicles - Cybersecurity engineering" som har fokus på felles sikkerhetsterminologi, minimumskriterier for sikkerhet og cybersikkerhetsnivå. Det vil tjene som et referansepunkt for regulatorer.

Posisjonering av kjøretøyene

En av de viktigste og vanskeligste oppgavene for en selvkjørende buss eller bil er å vite nøyaktig hvor den befinner seg. Alle moderne kjøretøy har i dag GNSS mottakere som kan ta imot posisjoneringssignal fra satellitt-konstellasjonene GPS (USA), Galileo (EU) og GLONASS (Russland). Men vi har jo alle opplevd at GNSS ikke alltid er så nøyaktig som vi skulle ønske oss, spesielt i dype bygater, tunneler, parkeringsanlegg og langs bratte fjellvegger. I tillegg kan det være spesielt vanskelige forhold helt i nord der mange av satellittene ligger lavt i horisonten, nordlyset forstyrrer atmosfæren og russerne jammer og spoofer GNSS signalene.

Her er en liste med ti måter å bøte på disse problemene, der de fem siste involverer infrastruktur langs veiene eller på stasjonsområdene:

1. **Odometer, styringsutslag og IMU** (Inertial Measurement Unit). Her måler kjøretøyet sine egne bevegelser i x, y og z retning, samt hjulomdreininger og styringsutslag for å anslå hvor langt og i hvilken retning det har beveget seg. Man kan oppnå svært god nøyaktighet med disse metodene så lenge kjøretøyet ikke stopper opp, rikser fram og tilbake for å snu eller skli på glatt føre.
2. **Snap-to-road**: Dette er en metode der kjøretøyet bruker GNSS, odometer og IMU for å finne sånn noenlunde nøyaktig posisjon. Deretter sjekker kjøretøyet kartgrunnlaget, og plasserer sin posisjon på nærmeste vei. Denne metoden brukes av navigasjonssystemet i de fleste moderne biler. Metoden feiler ofte dersom det er mange parallelle veier tett ved siden av hverandre eller over hverandre.
3. **HD Maps og lidar punktsky**: Området som den selvkjørende bussen eller biler skal ferdes i skannes med en lidar som lager en 3D-modell av omgivelsene i form av en punktsky. 3D modellen må bearbeides før den kan brukes, og det kan ta flere dager, inntil flere uker (Ruter har erfart at dette tar 30 arbeidstimer per kilometer). 3D modellen lastes så ned i minnet til kjøretøyet navigasjonssystem, og sammenlignes under kjøreturen med data som kommer inn fra egen lidar som er montert på taket. På den måten kan man oppnå svært nøyaktig posisjonering. I tillegg til ulempen med at innsamling og bearbeiding av HD maps og punktskyer er tidkrevende, så er det også tidkrevende å holde dette ajour med endringer langs veiene. I tillegg fungerer metoden dårlig i ensformige omgivelser der man har få klare holdepunkter. Et alternativ eller supplement til lidar er georadar (ground penetrating radar) som kartlegger bakken under asfalten og som kan brukes til posisjonering av selvkjørende kjøretøy. Noen som forsøker å få til dette er Wavesense: <https://wavesense.io/>
4. **Automated Lane Keeping System** (ALKS): Kjøretøyet kamera gjenkjenner kantlinjene langs veien og posisjonere seg korrekt i kjørebanelen. Dette krever selvfølgelig at kantlinjene ikke er utslitt eller tildekket. Dette kan kombineres med Adaptive Cruise Control (ACC) for å holde avstand til kjøretøyet foran. Mange har alt denne type funksjonalitet i sine personbiler.
5. **Augmented GNSS**: Denne metoden baserer seg på at vanlig posisjonering med GNSS-satellitter (GPS, Galileo og GLONASS) blir korrigert med tilleggsdata som enten kan komme fra geostasjonære satellitter (SBAS) eller bakkebaserte system nær flyplasser (GBAS). De fleste GNSS

mottakere for kjøretøy vil ta i bruk korreksjonsdata fra de europeiske geostasjonære satellittene (EGNOS) dersom dette er tilgjengelig, men i praksis hjelper det ikke så mye på posisjoneringsnøyaktigheten.

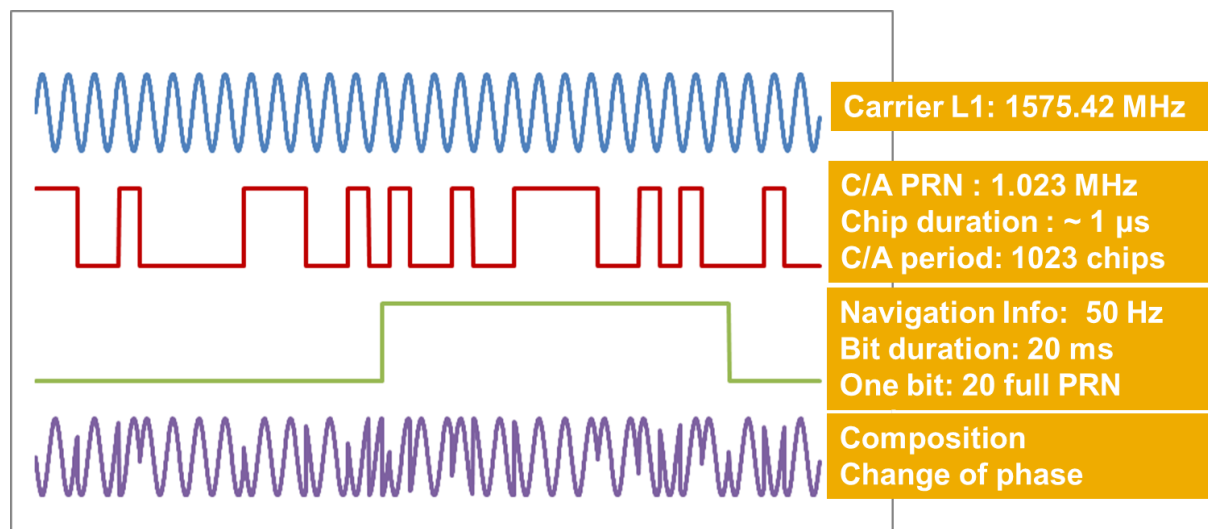
6. **Differential GNSS:** Dette er en samling metoder (klassisk DGNS, RTK, NRTK, PPP og PPP-RTK) som på mange måter fungerer som Augmented GNSS ved at man først mottar vanlige posisjoneringssignal fra GNSS-satellittene, og så korrigerer for eventuelle feil ved å hente inn korreksjonsdata. Men i dette tilfellet så kommer korreksjonsdataene fra bakkebaserte system som finnes overalt i Norge - ikke bare i tilknytning til flyplasser. Man kan enten sette opp sine egne private bakkesystem for korreksjonsdata, eller bruke løsninger fra Kartverket (CPOS og DPOS). Korreksjonsdataene kan overføres til kjøretøyet via mobilnettet, ITS-G5, eller ISM-båndet. Dette fungerer kun utendørs der man alt har forholdsvis gode GNSS-forhold, men ønsker enda bedre nøyaktighet. De mest aktuelle metodene for selvkjørende busser og biler er RTK (centimeter nøyaktighet) og PPP (desimeter nøyaktighet), og disse er beskrevet nærmere nedenfor.
7. **RTLS (Real Time Location Systems):** Dette går ut på å sette opp radiotransmittere av forskjellige slag, og så kan selvkjørende busser og biler triangulere sine posisjoner i forhold til disse (Det er viktig at man har nøyaktige koordinater for radiotransmitterne). Dette krever ikke GNSS og fungerer både utendørs og innendørs. Løsningene sliter imidlertid med at objekter (vegger, personer, kjøretøy) som blokkerer eller reflekterer radiosignalene kan medføre unøyaktigheter på flere meter. Noen få slike løsninger er beskrevet i eget avsnitt lenger nede.
8. **LTE Positioning Protocol (LPP):** Dette er en samling posisjoneringsmetoder som er utviklet for 4G og 5G mobilnettet og som har blitt tatt i bruk i mange land, men ikke i Norge (https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/137300_137399/137355/15.00.00_60/ts_137355v150000p.pdf). Den eneste metoden man har tatt i bruk i Norge er CID (cell ID) med mellom 100 og 1000 meters posisjoneringsnøyaktighet (<https://developer.telenor.no/api/identity/positioning/index.html>).
9. **Laser Guidance:** Reflektorer monteres på stolper eller vegger, og en roterende laser (som ser ut som en lidar) oppå kjøretøyet brukes til å triangulere posisjonen. Man kan oppnå centimeters nøyaktighet med 3 til 4 reflektorer i en radius på 10 meter. Maximum radius er 30 meter. Her er et eksempel: <https://www.agvnetwork.com/what-is-a-laser-guided-vehicle-lgv>. Denne metoden brukes av automatiske gaffeltrucker (Laser Guided Vehicle) på varelagre, men kan sikkert også brukes av selvkjørende busser og biler når de skal navigere inne på stasjonsområder. Kanskje man med litt ekstra forskning og utvikling kan få en lidar til å bruke reflektorene på samme måte som den roterende laseren.
10. **Boundary and guide wires:** Denne metoden kjenner mange fra robotgressklipperne som har blitt så populære de siste par årene. Man legger ned en avgrensingskabel i bakken rundt plenen, samt en ledekabel som gressklipperen kan følge tilbake til ladestasjonen. Tilsvarende prinsipp, ofte kalt inductive guidance, har blitt brukt for å lede industrielle AGVer (Automated Guided Vehicle) rundt på fabrikker og havner, i noen tilfeller med millimeters nøyaktighet. Tilsvarende ledekabel-prinsipp kan kanskje brukes når selvkjørende busser og biler skal fin-navigere seg inn til sine

ladestasjoner, gjerne i kombinasjon med et par nærhetssensorer (proximity sensors).

Som oftest så kombinerer man flere av disse metodene for å oppnå så nøyaktig posisjonering som mulig under varierende forhold. Da tar man i bruk såkalt sensor-fusion ved hjelp av Kalman-filter, particle-filter og annen avansert matematikk.

RTK

Ettersom GNSS posisjonering med RTK (Real-time kinematic) ofte blir brukt i pilotprosjekt med selvkjørende kjøretøy (F.eks Ruter/Holo sine busser i Oslo sentrum og Semcon/Yeti sine brøytebiler på flyplasser), så forklarer vi dette litt nærmere her.

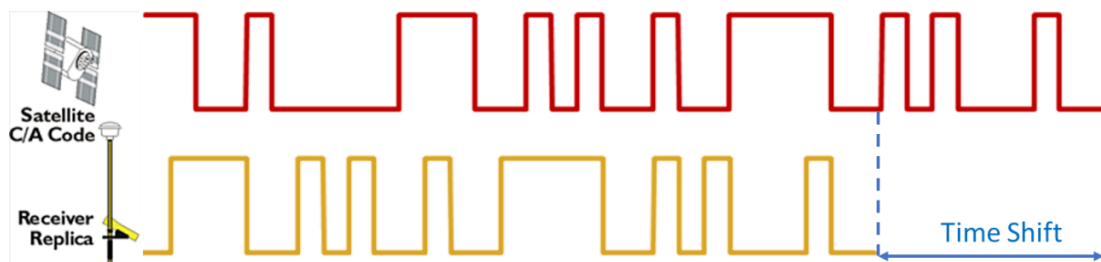


Figur 10: GNSS signal, kilde: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_signal

I figuren ovenfor, så ser vi GNSS signalet (composition) fra en satellitt angitt med lilla farge. Dette kompositt-signalet inneholder data fra det blå, rød og grønne signalet.

Det grønne signalet (navigation message) inneholder almanac og ephemerides. Almanac brukes for grovposisjonering og er den samme for alle satellittene i konstellasjonen. Det tar 12,5 minutt å laste ned almanac og datapakken er gyldig i 90 dager. Ephemerides brukes for finere posisjonering, og inneholder informasjon om satellittnøyaktighet, tidsstempel og orbitale parametere for en bestemt satellitt. Det tar 30 sekund å laste ned ephemerides, og datapakken er gyldig i to timer.

Det røde signalet C/A, (Coarse-Acquisition/Civilian-Access-code) er en sekvens med bit som gjentas kontinuerlig av satellitten, og sekvensen er unik for hver satellitt i konstellasjonen. GNSS-mottakeren kjenner sekvensen til hver satellitt, og sammenligner dette med sekvensen den har mottatt for å beregne tidsforskyvingen. På denne måten finner GNSS-mottakeren ut hvor langt unna satellitten befinner seg. Ved å gjenta dette for minst fire satellitter, så kan GNSS-mottakeren krysspeile og beregne sin posisjon med 5 til 10 meters nøyaktighet. Det finnes i tillegg et annet signal som kalles P-code (Precise-code/Military-code), som ikke er vist i figuren ovenfor, men som gir 2 til 5 meters nøyaktighet.



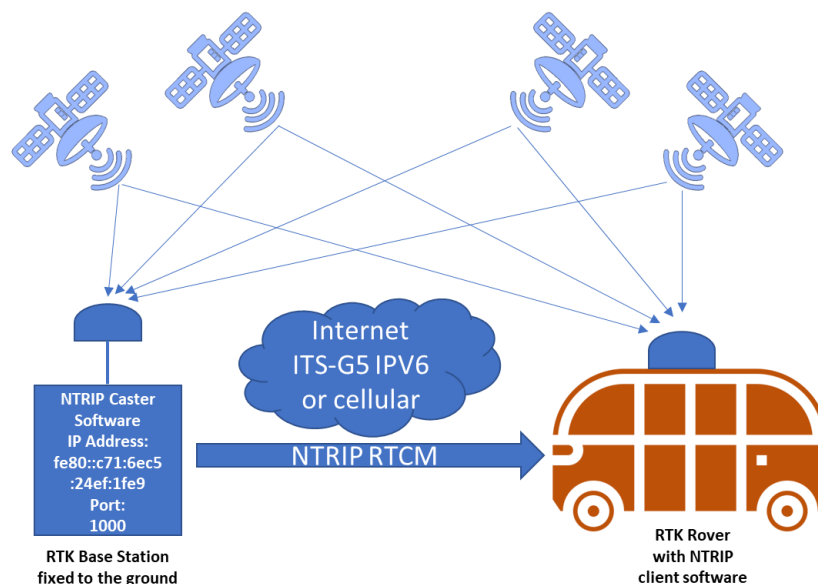
Figur 11: Her ser vi signal-sekvensen som satellitten sender ut og signal-sekvensen som mottakeren forventer.

Så langt har vi beskrevet såkalt code-phase-processing, der selve datainnholdet i GNSS signalene brukes til å beregne posisjonen med rundt 5 meters nøyaktighet. Men dette er ikke godt nok for selvkjørende busser og biler, så da må man i tillegg ta i bruk såkalt carrier-phase-processing.

Det blå signalet (carrier) i den øverste figuren er selve bæreølgen til signalene fra satellittene, og når GNSS-mottakeren har grovposisjonert seg som beskrevet ovenfor, så kan den beregne antall bølgetopper mellom seg selv og hver satellitt for på den måten å oppnå en meters posisjoneringsnøyaktighet. Dette kalles carrier-phase-processing og krever kontinuerlig fri sikt til satellittene for at det skal fungere. Mange GNSS mottakere mangler carrier-phase-processing funksjonalitet.

Men selv med alle disse metodene, så vil forstyrrelser i atmosfæren gjøre at signalene fra satellittene bøyer seg i forskjellige retninger, omtrent som lysstrålene i et svømmebasseng. Dette kan korrigeres med RTK (Real-Time Kinematic).

En RTK-basestasjon er en spesialisert GNSS-mottaker som monteres fast på en stolpe eller bygning. Ved hjelp av landmåling eller annen nøyaktig metode så legges helt korrekt posisjon inn i konfigurasjonen til RTK-basestasjonen. RTK-basestasjonen vil så ved hjelp av carrier-phase-processing funksjonaliteten beregne sin posisjon basert på signalene den mottar fra GNSS-satellittene. Den beregnede posisjonen vil variere alt etter forhold i atmosfæren og andre forstyrrelser. Ved å sammenligne korrekt posisjon med beregnet posisjon, så finner RTK-basestasjonen GNSS-feilen i området, noe som videresendes til RTK-roveren (den selvkjørende bussen) i nærheten som RCTM (Radio Technical Commission for Maritime Services) korreksjonsdata ved hjelp av NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) over mobilnettet eller via ITS-G5. RTK-roveren beregner også sin posisjon ved hjelp av carrier-phase-processing funksjonaliteten basert på signalene den mottar fra GNSS-satellittene, og bruker deretter mottatt RCTM til å korrigere disse beregningene. På den måten kan RTK-roveren oppnå et par centimeters posisjoneringsnøyaktighet. Dette prinsippet er illustrert i figuren nedenfor.



Figur 12: Her ser vi prinsippet for hvordan GNSS korreksjonsdata overføres fra RTK base-stasjon til RTK-rover

Det kan være inntil 20 kilometer mellom RTK-basestasjonen og RTK-roveren, mens det for NRTK (Network Real Time Kinematic) kan være en avstand på 30-40 kilometer, alt avhengig av nøyaktighetskravet.

De fleste pilotprosjekt med selvkjørende busser og biler setter opp egne RTK-basestasjoner, men man kan også bruke Kartverket sine virtuelle RTK-basestasjoner som kalles Virtual Reference Station (VRS) og som inngår i deres CPOS-abonnement over mobilnettet (CPOS med VRS er det samme som NRTK). En VRS estimerer sin korreksjonsdata i forhold til flere hundre permanente geodetiske stasjoner som Kartverket har plassert over hele Norge. Her kan du lese mer om CPOS:

<https://www.kartverket.no/til-lands/posisjon/hva-er-cpos> .

Her er prislisten for CPOS abonnement:

<https://www.kartverket.no/til-lands/posisjon/prisliste-pa-posisjonstjenester>

Det er typisk 50 til 70 km mellom Kartverket sine fysiske RTK-basestasjoner, mens det maksimalt er 5 km mellom en brukerposisjon og nærmeste virtuelle basestasjon. Men Kartverket holder for tiden på med en fortetting av basestasjonene for Banenor som trenger 10-15 km mellom fysiske stasjoner. Dette er ikke så langt unna E6, og disse basestasjonene vil inngå i CPOS systemet.

Kartverket kan håndtere flere tusen brukere, men CPOS krever to-veis kommunikasjon, så dagens løsning støtter ikke kringkasting av korreksjonsdata til hundretusenvís av kjøretøy som hopper fra den ene basestasjonen til den andre mens de kjører gjennom vårt langstrakte land. Det finnes en ny metode som kringkaster korreksjonsdata, men denne støttes for tiden hverken av CPOS eller de fleste mottakere/rovere. Du kan lese mer om denne nye metoden som kalles SSR her:

<https://www.u-blox.com/en/technologies/gnss-correction-services>

(SSR benyttes i PPP-RTK som er beskrevet litt lenger nede i denne rapporten).

CPOS er benyttet i flere piloter for automatisk kjøring i Norge. Her er noen uttalelser fra brukerne fra februar 2021:

Applied Autonomy: «Vi har benyttet CPOS fra Kartverket på samtlige prosjekter fra Svalbard i Nord til Kristiansand i sør og har ikke benyttet egen infrastruktur for å sikre nøyaktig posisjonering ved korreksjoner med referansedata. I utlandet har vi benyttet tilsvarende tjenester med gode erfaringer.»

Holo angående CPOS: «Very precise positioning is of critical importance for operation of autonomous vehicles. Holo has in the past only relied on our own base stations and GNSS positioning system, but that is an expensive, time consuming and not very scalable solution.

With the CPOS solution from Kartverket we are able to buy precise positioning at much lower costs than using our own system. But more importantly the solution is scalable to anywhere in Norway where our next Autonomous driving project will take place.

On our autonomous bus route at Ormøya, we switched from our own system to CPOS in August 2020. Since then, we have driven more than 8000 km on the route with very little issues related to positioning. These 4 months of operation with CPOS show clearly that the system is stable and precise. Exactly what we need for stable operation of autonomous vehicles. »

Ruter angående CPOS: «Mobility in cities is changing. After more than half of a century with private cars as the main mode of transport, a transport revolution is expected. Ruter believes that shared autonomous vehicles will play an important part in this transport revolution.

Fleets of shared autonomous vehicles have the potential to create individualized and cost-effective transport services that will become an attractive alternative to private cars. Next generation's geographical infrastructure and accurate positioning from The Norwegian Mapping Authority is one key component to future mobility. »

Kartverket testet selv CPOS for kjøretøy på Skøyen. Korreksjonsdata ble hentet ned med en Ice-ruter og sent til 3 high-end GNSS-mottakere som støttet alle fire konstellasjoner og dette fungerte veldig bra. Man testet også med billigere GNSS-mottakere, og de fungerte bra på landeveien, men dårlig i bygatene.

Kartverket tilbyr også en tjeneste som heter DPOS. Dette er en *Differential-GNSS* løsning tilsvarende CPOS, men den bruker bare *code-phase-processing*, og ikke *carrier-phase-processing* og er derfor mindre nøyaktig. Men års-abonnementet er mye billigere. DPOS er nok ikke en aktuell løsning for selvkjørende busser og biler.

PPP

Et alternativ til RTK er PPP (Precise Point Positioning) som består av et nettverk med globale referansestasjoner og korreksjonskalkulasjoner som tar høyde for alle ting som kan forstyrre GNSS-signalene. Korreksjonsdata sendes til GNSS-mottakeren via Internet eller satellitt, og det tar da ca. 20 minutt før man oppnår desimeters posisjoneringsnøyaktighet. PPP egner seg for ødemark, havområder og luftrom der man ikke kan plassere ut RTK-basestasjoner, og er derfor ikke så relevant for pilotprosjekt med selvkjørende busser og biler i norske byer.

PPP-RTK

De siste årene har hybrid PPP-RTK, også kalt SSR (State Space Representation), dukket opp som en ny metode. Referansestasjoner plassert omtrent 150 km fra hverandre samler inn GNSS-data og beregner både satellitt- og atmosfæriske korreksjonsmodeller. Korreksjonsmodellene kringkastes så til abonnentene via satellitter, mobiltårn eller internett. En abonnent vil så benytte mottatt korreksjonsmodell til bergene sine egne GNSS korreksjoner. Med PPP-RTK så kan man oppå god nok nøyaktighet og initialiseringstid for selvkjørende busser og biler. Fordelen med PPP-RTK i forhold til RTK og NRTK er at man ikke trenger så mange fysiske basestasjoner og at korreksjonsmodellene kan kringkastes til millioner av kjøretøy over store områder – ulempen er litt dårligere nøyaktighet enn CPOS.

Her er eksempler på noen ganske fersk PPP-RTK løsning med støtte for SSR som er designet for kjøretøy. Swiftnav har dekning i hele Norge (når arbeidet med denne rapporten startet, så hadde de kun dekning nord til Trondheim).

- Swiftnav Skylark: <https://www.swiftnav.com/skylark>
- UBlox PointPerfect (tidligere Sapcorda SAPA): <https://www.u-blox.com/en/product/pointperfect>

Her er noen andre løsninger som markedsføres for kjøretøy, men som foreløpig ikke støtter SSR:

- Trimble RTX Automotive: <https://onroadpositioning.trimble.com/>
- Hexagon: <https://hexagonpositioning.com/autonomous-x/automotive-positioning>
- HERE Technologies: <https://www.here.com/platform/positioning>

Basert på litteraturstudier, workshops og diskusjoner med offentlige og private aktører, så kan vi antyde følgende konklusjon:

Internasjonale private aktører vil utvikle levedyktige forretningsmodeller som kan konkurrere om å levere PPP-RTK tjenester med støtte for SSR til kjøretøy på tvers av landegrensene. Disse tjenestene vil være bygd på toppen av offentlige tjenester som GPS, Galileo og kanskje til og med Kartverkets CPOS. I dag anser ikke Kartverket det som sin oppgave å levere PPP-RTK tjeneste til et stort antall kjøretøy.

RTLS

RTLS (Real-time locating system) er en samlebetegnelse for en rekke forskjellige teknologier som kan brukes til å posisjonere kjøretøy der man ikke har mulighet for å bruke GNSS som f.eks tunneler, urban canyons og parkeringsanlegg:

- Cohda V2X-Locate. Denne løsninger har blitt installert i Bjørnegårdtunnelen og er basert på ITS-G5 kommunikasjon, der man måler tiden det tar en CAM-melding å bevege seg fra kjøretøyets OBU (Onboard Unit) til tunnelens fire RSUer (Roadside Units) og tilbake igjen til OBU. RSUenes posisjon har blitt målt opp, og overføres til OBU ved hjelp av en SAM (Service Announcement Message) når den nærmer seg tunnelen. Man oppnår 1 meters nøyaktighet med denne metoden.

Her kan man lese mer om dette: https://www.cohdawireless.com/wp-content/uploads/2018/08/CW_Product-Brief-sheet-V2X-Locate.pdf

- Waze Bluetooth Beacons er en rimelig løsning som også har blitt installert i Bjørnegårdstunnelen. 59 stykk beacons har blitt plassert i tunnelen med 40 meters mellomrom. Signalene fra disse kan fanges opp av en vanlig smarttelefon med Waze-appen eller Google Maps, og man oppnår 14 meters posisjoneringsnøyaktighet. Hver beacon sender ut en Eddystone-UID som mottas av appen. Appen har en liste der alle UID som er korrelert med posisjonskoordinatene til hvert beacon. Enhver blåttannmottaker kan fange opp UID fra disse beacons, og benytte dette i sin egen posisjoneringslogikk. Batteriet for en beacon varer i ca. 5 år. Du kan lese mer om dette her: <https://www.waze.com/beacons>
- Quuppa Bluetooth AoA (Angle of Arrival) Beacons er en mer avansert form for Bluetooth posisjonering. Her er det smarttelefonen eller en bluetooth-tag som sender ut signalet. Dette signaler fanges opp av flere mottakere som har den egenskap at de vet hvilken retning signalet kom fra. Mottakerne sender alle oppfangede signal via Ethernet til en sentral enhet som beregner posisjonen til alle smarttelefoner og bluetooth tags. Typisk posisjoneringsnøyaktighet med denne metoden er en halv meter. Du kan lese mer om dette her: <https://quuppa.com/>
- Ultra-wideband (UWB) er en svært utbredt posisjoneringsmetode og baseres på en radioteknologi som bruker veldig høy båndbredde (500 MHz) og lav energi for kortholds-kommunikasjon. UWB kan ha en rekkevidde på et par hundre meter og består av UWB-ankere (mottakere) som plasseres på kjente punkter i et større koordinatsystem, og UWB-tags som plasseres på utstyret som skal posisjoneres. Man kan posisjonere UWB-tags med ca. 10 centimeters nøyaktighet under ideelle forhold. Inntil nylig så var UWB stort sett brukt for å posisjonere utstyr og kjøretøy i industriell sammenheng, men i den senere tid så har enkelte bilprodusenter begynt å ta det i bruk til såkalt Passive Keyless Entry (PKE) for å låse opp døren og starte bilen med fjernkontrollen/nøkkelknippe eller smarttelefon. UWB har også blitt tatt med i iPhone 11 og Apple Airtags slik at du kan finne nøkler, lommebok og andre ting som du kanskje har rotet bort. Her kan du lese mer om UWB: <https://www.nxp.com/company/blog/the-future-of-the-automotive-experience-with-uwband:BL-FUTURE-AUTOMOTIVE-EXPERIENCE-UWB>

Veikantutrustning

Vegvesenet har veldig gode håndbøker som beskriver veikantutrustning (og mye mer), og de finner man her: <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker>

Noen av håndbøkene er kravdokument i forbindelse med veiprosjekt. Disse håndbøkene kalles også Vegnormaler, og de finner man her: <https://svv-cm-store-prod.azurewebsites.net/search?q=>

SVV AID-kamera og radar i tunneler og langs vei

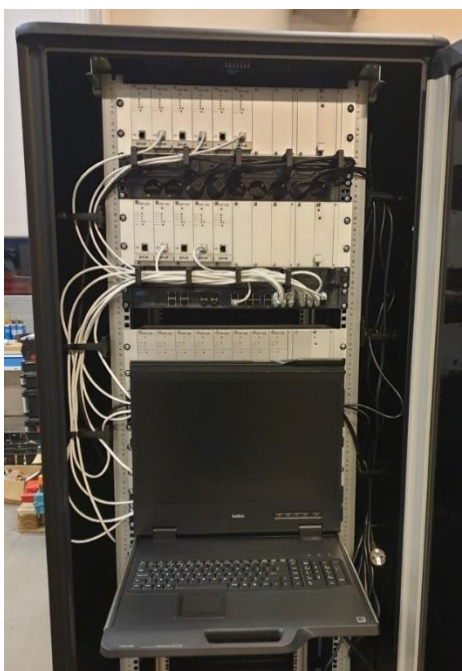
Selvkjørende busser og biler kan nyttiggjøre seg av radar og kamera langs veiene for å skaffe seg et fugleperspektiv av trafikkbildet. Disse kan også detektere andre trafikanter og andre objekt. Dette kan bidra med å løse problemet med at «synsfeltet» ofte er blokkert av andre kjøretøy, bygninger eller trær, og kan bidra til å utvide sensorhorisonten.

SVV bruker alt kamera og radar i tunneler for å detektere objekter, ikke bare for visuell overvåkning. Disse systemene er beskrevet i Vegvesenets håndbøker som man finner her:

- N500 (Vegnormal): <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/tunneler/regelverk-og-veiledning/n500-veggtunneler/>
- N601 (Vegnormal): <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n601/>
- V520 (Håndbok): <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/nyheter/handbok-v520-tunnelveiledning/>



Figur 13: Typiske kamera for tunnel



Figur 14: Skap-rack med AID-moduler og klientmaskin

AID står for Automatic Incident Detection, eller automatisk hendelsesdeteksjon. Systemet brukes for overvåkning av trafikkbildet, spesielt i vegtunneler og vil automatisk melde ifra til VTS om hendelser basert på analyse av videobilde. Typiske hendelser som kan detekteres er:

- Stanset kjøretøy
- Kjøretøy i feil retning
- Person i veibanen
- Mistet objekt i veibanen
- Saktegående kjøretøy
- Brann/varmeutvikling
- Røyk
- Kødannelse

I tillegg er det en del dynamiske data som kan hentes ut som f.eks:

- Kjøretøyklassifisering/telling
- Hastighetsmåling
- % belegg av kjøretøy i en sone.
- Analyse av bane/retning
- Posisjon kan beregnes indirekte fra koordinater i bildet og kameraets plassering.

Videobasert AID leveres i all hovedsak av 3 produsenter som listet opp under. I funksjon og ytelse er de nokså like selv om de er bygd opp med noe forskjellig intern struktur. Avhengig av krav og produsent leveres de som både frontend deteksjon (typisk i firmwaren/chip i selve kameraet.), modulbasert (kun Teledyne Flir) eller serverbasert (kun CitiLog og Sprinx). I senere generasjoner av produktene benyttes kunstig intelligens og maskinlæring for å bedre skille feilalarmer fra reelle.

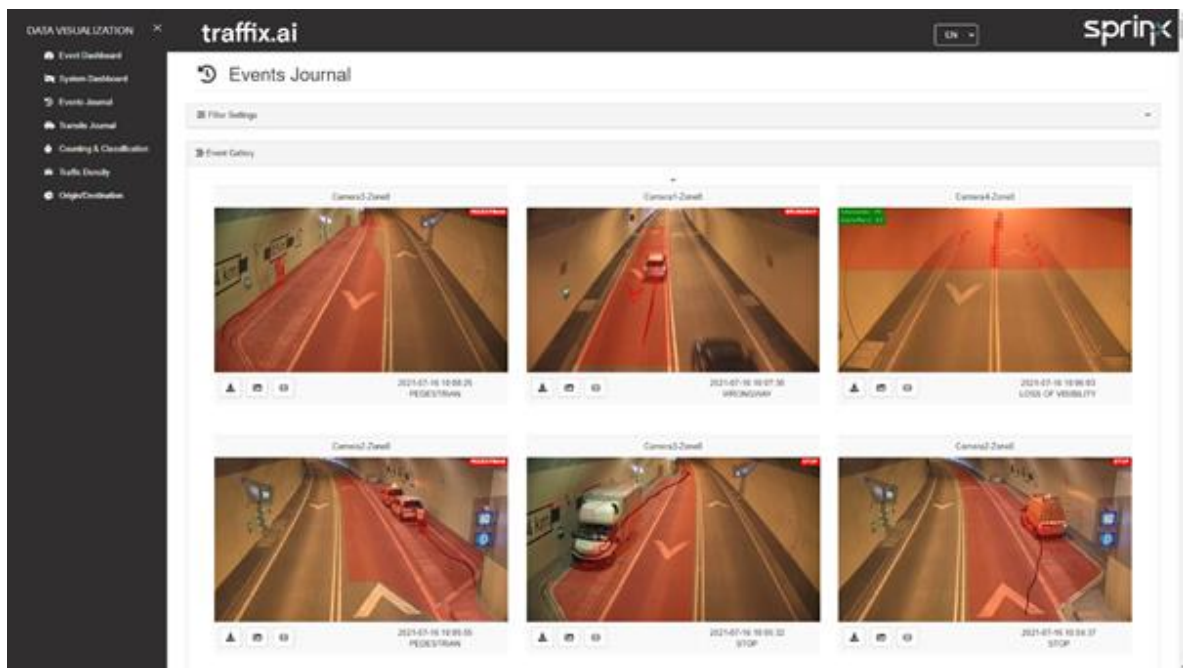
Teledyne Flir som de nå heter (Traficon de første årene) har siden midten av 90-tallet levert AID til norske tunneler. De tidligste systemene er analoge, senere generasjoner IP-basert og kombinert med termokamera. Har både egne kamera og støtter tredjeparts. Eksempler: Operatunnelen, Bodøtunnelen, Ryfast



Figur 15: Teledyne-Flir AID systemet har detektert en kasse i Operatunnelen i Oslo

Franske CitiLog har levert noen systemer, men har ikke gjort store innhogg i det norske markedet pr nå. Eksempel: Lørentunnelen.

Italienske Sprinx har de siste årene levert flere systemer til tunneler i Norge. Systemet kombinerer 3D object-tracking med maskinlæring/kunstig intelligens. Støtter alle tredjepartskamera som støtter RTSP (Real Time Streaming Protocol). Eksempler: Vålerengatunnelen, Frodeåstunnelen, Bagnskeiva



Figur 16: Hendelsesrapport i Sprinx der vi ser deteksjon av fotgjenger, feil kjøreretning, røyk og stoppet kjøretøy

Disse deteksjonssystemene brukes i kombinasjon med et Video Management System (VMS) som f.eks Milestone, Genetec Security Center eller Vegvokteren avhengig av hvilken region/Vegtrafikksentral AID systemet skal kobles opp mot. Systemene er vanligvis brukt som operatørstøtte, men kan i tillegg være koblet direkte mot signalplaner for f.eks stenging av kjørefelt.

Termo-kamera

Den siste og nyeste typen kamerabasert AID består av rene termokamera eller såkalte hybridkamera som har en termografisk kjerne i tillegg til et videokamera.

Den største fordelen med slike systemer er at man kan detektere forskjeller i temperatur og dermed brann og brannutløp. Kameraene er i stand til å detektere brann i løpet av sekunder etter tenning, lenge før brannen er i stand til å utløse et hvilket som helst tradisjonelt branddeteksjonssystem. Den intelligente branddeteksjonsalgoritmen tar hensyn til flere parametere som størrelse, dynamikk, vekst, bevegelse og så videre, noe som resulterer i enestående branddeteksjons-nøyaktighet.

I tillegg er dette systemet mindre følsomt for skitt på kameralinse og kan se gjennom røyk.

Radar-basert

Radarbasert AID er brukt i noen vegtunneler samt motorveger i Norge. Her benyttes radarer plassert langs veien eller i tunnelen for å detektere. For å visualisere hendelsen har man i tillegg til radaren, et videosystem uten AID. En hendelse detektert av radarsystemet vil gjøre at kamera som har dekning i området der hendelsen oppstår vil vise hendelsen til operatører på vegtrafikksentral. Typiske data/hendelser:

- Stoppet bil
- Fotgjenger
- Mistet last

- Trafikkdata
- Posisjonsdata pr. objekt

Basert på induktive sløyfer

Dette er en teknologi som kan benyttes til AID, men det er ikke noen slike systemer i drift for dette formålet i Norge. Systemet er brukt i noen tunneler i Tyskland. Systemet kan ikke detektere like mange hendelser som video og radar basert AID. Det norske selskapet Disruptive Engineering har imidlertid tatt dette et langt skritt videre og kan ved hjelp av sine magnetsensorer og algoritmer gjenkjenne individuelle kjøretøy. Dette har blitt installert i Arnanipa-tunnelen.

Trafikklys og bommer

I Norge har Swarco levert så godt som alle signalanlegg for trafikklys. Signalanlegget i hvert lyskryss passer på at det aldri blir konflikt mellom signalgivingen, slik at man ikke får grønt lys samtidig i to kryssende retninger på en måte som kan skape kollisjon. Utover det så kan signalanleggene synkroniseres, slik at man kan få en grønn bølge gjennom byen. I tillegg er det en sentralstyring på Vegtrafikksentralen der man kan iverksette forskjellige trafikkplaner.

Bymiljøetaten i Oslo, sammen med Viken Fylkeskommune og Vegvesenet får i disse dager installert en ny funksjonalitet som vil gi Ruter sine busser grønt lys dersom de er forsinket og har mange passasjerer som må rekke jobb og skole i tide. Bussene til Ruter vil sende sine GNSS-koordinater inn til en MQTT-broker, og videre til sentralsystemet. Her vil bussenes posisjoner sammenlignes med rutetabellene som hentes fra Entur. Dette, kombinert med forskjellige vektingsparametre vil avgjøre om det skal sendes prioritetsforespørsel til de aktuelle signalanleggene i form av RSMP-melding over Ethernet (Fiber, 4G, ADSL). RSMP er en nordisk kommunikasjonsprotokoll for trafikklys.

Dette kan også brukes andre veien, der sentralsystemet leser RSMP-status fra signalanleggene og publiserer dette til en MQTT-broker. Backend-systemene til de selvkjørende bussene og bilene kan så abonnere på trafikklysstatus fra denne MQTT-brokkeren, og sende korrekt trafikklysstatus til sine kjøretøy.

Du kan lese mer om RSMP i Oslo her:

<https://rsmp-nordic.org/rsmp-is-on-its-way-in-norway-too/>

Men en bedre måte er å benytte en RSU (Roadside Unit) koblet til signalanlegget som sender ut SPaT (Signal Phase and Timing) via ITS-G5 kommunikasjon direkte til kjøretøyene i område for å opplyse om hvilke kjørefelt som har rødt, gult eller grønt lys. I tillegg kan man sende ut en MAP melding som forteller hvilket lyssignal som gjelder for hvilket kjørefelt.

I tillegg til trafikklys i lyskryss, så har vi også rødblink i forbindelse med stengte tunneler, og da ofte i kombinasjon med en bom. Status for stengt tunnel pleier å være tilgjengelig fra OPC serveren til VTS. Denne informasjonen kan i framtiden enkelt sendes til selvkjørende busser og biler via standardiserte meldinger over mobilnettet. Alternativt så kan tunnelens lokale styresystem sette et databit i en RSU ved tunnelmunningen som via ITS-G5 kan sende DENM for stengt vei direkte til kjøretøy i området.

SVVs Værstasjoner

SVVs værstasjoner er målepunkt langs veier i Norge som måler værdata som:

- Lufttemperatur (°C)
- Vegbanetemperatur (°C)
- Relativ luftfuktighet (%), som gir duggpunktstemperatur (°C)
- Nedbørsmengde (mm), nedbørsintensitet (mm/time) og nedbørstype (yr/regn/hagl/snø)
- Vindhastighet (m/s), maks. vindkast siste 10 minutter (m/s) og vindretning
- Foto



Figur 17: Eksempel på en av Vegvesenets værstasjoner

I utgangen av 2018 stod minst 320 værstasjoner på riks og fylkesveinettet. Dataene som stasjonene sender til SVV blir oppdatert hvert 10. minutt. Værdata fra SVV er tilgjengelig på DATEX-format og gjort tilgjengelig under Norsk lisens for offentlige data (NLOD):

<https://dataut.vegvesen.no/dataset/vardata/resource/aa2ab860-59db-4cbb-8c3c-01cc758043fd>

Kilder til værdata fra både SVV og Meteorologisk Institutt (MET) kan være en mulighet for selvkjørende kjøretøy å danne seg et bedre overblikk over kjøreforholdene.

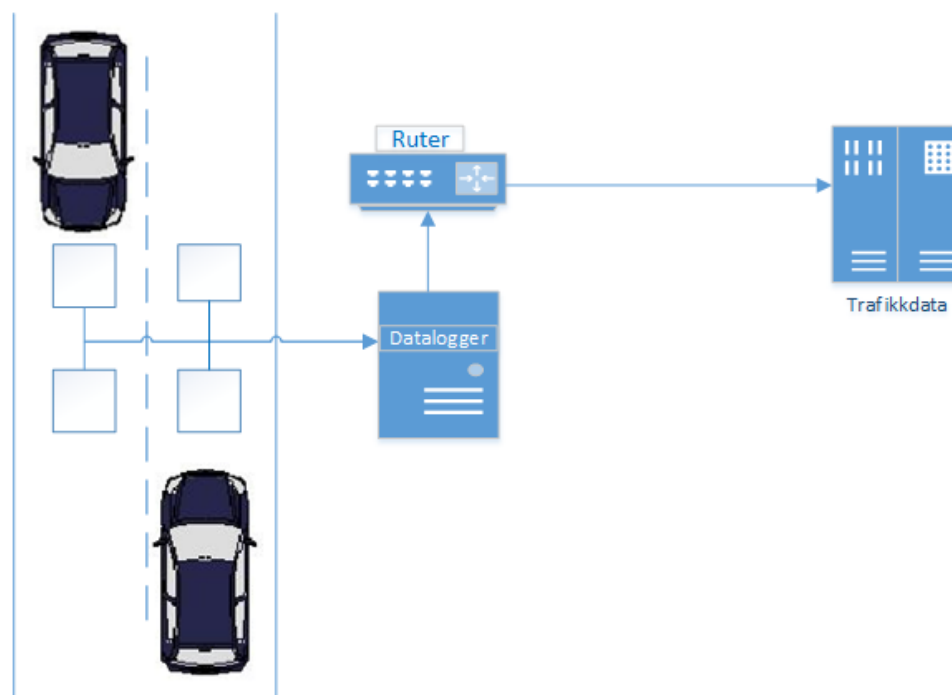
I motsetning til MET sine værstasjoner ligger SVV sine stasjoner langs veiene, altså er værdataene mer relevant for kjøretøy i nærheten av disse:

<https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/vegteknologi/tilstandsregistrering-pa-veg/varstasjoner-og-meteorologiske-data/>

I tillegg til å måle typiske værdata som MET gjør, måler SVVs stasjoner også vegbanetemperatur og annen vei-spesifikk info som gir økt innsikt i føreforhold.

SVV Tellepunkt

Tellepunktåmålere, slik navnet tilsier, teller kjøretøy som passerer dem. Trafikken registreres ved hjelp av induktive sløyfer i vegbanen. Når en bil kjører over sløyfen registreres lengde, fart, kjretyklasse og avstand i sekunder til forangående kjøretøy. Per dags dato er det over 2660 tellepunktåmålere i Norge som er koblet opp mot SVVs nettsider gjennom en tjeneste kalt "Trafikkdata". Trafikkdata kan forenklet visualiseres slik som i figuren nedenfor.



Figur 18: Visualisering av dataflyten til Trafikkdata

For å få så oppdatert info fra Trafikkdata som mulig bør man bruke API'er i stedet for SVVs nettsider som datakilde, da nettsiden viser trafikkdata fra 3 timer bak i tid. Oppløsningen på dataene er aggregert ned til timeniv på SVVs nettsider, men er for gamle til å gi et oppdatert bilde. Et forsøk på å lage en tjeneste som gir et oppdatert bilde av veitrafikken er Datainn prosjektet til SVV:

<https://blogg.bekk.no/vegtrafikk-og-sanntids-behandling-av-sensordata-8801a4426c73>

I dette prosjektet viser Bekk at det er mulig å utføre API spørringer på SVVs databaser som kan gi data fra så lite som 3 sekunder bak i tid, som er så godt som sanntid i denne sammenheng.

Innsikt i trafikkstatusen på en veistrekning er utvilsomt gunstig for å bedre innsikten til et selvkjørende kjøretøy. Høye trafikkdata kan for eksempel tolkes som en kø og kan gjøre selvkjørende kjøretøy flinkere til å regulere hastigheten sin. For selvkjørende kjøretøy som bruker video kan informasjon som kategorien på andre kjøretøy også være av interesse, slik at bilens AI lettere kan tolke verden rundt seg.

SVV VMS

Variable meldingsskilt (VMS) er skilt som kan endre utseendet sitt til å vise forskjellige typer info. Noen eksempler på hva skiltene kan vise er:

- veiforhold, for eksempel om veien er glatt, om det er løse steiner i veibanen, osv.
- alternative ruter
- uhell og ulykker langs veien
- veiarbeid
- opplysninger og beskjeder om tjenester som tilbys av veimyndighetene
- reisetid på gjeldende vei
- køer og trafikkork
- og fartsgrenser

SVV endrer på variable meldingsskilt gjennom trådløse OPC meldinger. Disse meldingene tillater for eksempel variable fartsgrenseskilt å endre seg fra å vise 60 til å vise 70 km/t. Det praktiske med slike skilt er at de raskt kan utplasseres og at de kan vise relevante midlertidig trafikkmeldinger.



Figur 19: Eksempel på et variabelt fartsgrenseskilt

Selvkjørende kjøretøy kan ofte ikke tolke VMS, derfor kan det være en idé å sende ut DATEX meldinger parallelt til dem. Kjøretøy som bruker lidar til å orientere seg er av og til ikke i stand til å se hva som står på skiltene grunnet aliasing mellom lyssignalet til skiltet og lidaren. En løsning på dette kan være at biler kan hente VMS oppdateringer på DATEX-noden. Altså kan VVS oversette OPC meldingene de sender sine VMS til DATEX-format og sende disse til leverandører av bilene i området til VMS skiltet.

Ladestasjoner

Sentrale styringssystem kan bidra med å beregne kjøretøyenes rekkevidde, opplyse om lokasjonen til ladestasjoner, og organisere reservering av ladestasjoner på en optimal måte for de reisende.

Det er en fordel om selvkjørende busser og biler kan koble seg til ladepunktet automatisk. Den kjente selvkjørende EasyMile minibussen plugges inn i laderen manuelt, men dette kan også gjøres av en konvensjonell industriell robotarm. I så fall er det en fordel at ladepluggen standardiseres i henhold til IEC 62196-2 AC Type-2 eller DC CCS Type-2.

For personbiler så finnes det også eksperimentelle løsninger for trådløs lading, og dette er den enkleste løsningen for automatisert lading. Den selvkjørende bilen parker ganske enkelt over ladeplaten. Det vil imidlertid være behov for posisjoneringsløsninger ut over GNSS for å treffe nøyaktig over platen. Et selskap som har kommet langt med utviklingen av trådløs lading for personbiler er WiTricity i USA.

De elektriske sjåførdrevne bussene til ATB i Trondheim har en pantografløsning for lading, og når selvkjørende busser blir litt større, så kan dette være en aktuell metode. Pantografer kommer i tre varianter: Arm montert i en bom over bussen (inverted pantograph), arm montert på selve bussen (roof-mounted pantograph), og arm montert i en boks i bakken eller gulvet (underbody charging). OppCharge (<https://www.oppcharge.org/>) er et forsøk på å standardisere pantografløsningen, slik at denne infrastrukturen kan brukes av alle store kjøretøy som ferdes langs veien, ikke bare rutebusser.

En annen løsning for lading er å bytte batteri (battery swap). Dette fungerer fint inne på store containerhavner der de automatiske containerkjøretøyene (AGV) skal være i drift 24 timer i døgnet. Men batteribytte har vist seg å være en dårlig løsning for personbiler.

Som alternativ til store batteri og ladestasjoner, så kan man også elektrifisere veiene. Dette kan gjøres med strømførende kjøreledninger over veibanen, strømførende skinner i veibanen eller induktive strømsløyfer under veibanen. I praksis så vil slike løsninger også fungere som ladestasjoner, men ladingen foregår i fart over lange strekninger slik at man ikke trenger så store batteri i kjøretøyene. Dette er beskrevet i Vegvesenet og SINTEF sitt ElinGo prosjekt som du kan lese mer om her:

<https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning-innovasjon-og-utvikling/avsluttede-programmer-og-prosjekter/elingo/>

Kontrolltårn

Flere steder i verden så har man alt opprettet løsninger for kontrolltårn som kan fjernstyre selvkjørende busser og biler dersom disse stopper opp fordi situasjonen blir for krevende for de innebygde sensorene og automasjonslogikken. I Norge så kan Applied Autonomy og Yeti Snow Technology tilby slike løsninger. Et annet eksempel er israelske Ottopia (<https://ottopia.tech/>).

Fjernstyring foregår ofte med at en operatør i kontrolltårnet (som ikke trenger å være et tårn) får inn sanntids video fra kjøretøyet. Han kan så overta kjøringen manuelt med en joystick, eventuelt at han kommanderer kjøretøyet til å foreta forhåndsprogrammerte rutiner for å komme ut av situasjonen. En slik rutine kan være å skru på nødblink, kjøre ut av veibanen og stoppe på veiskulderen.

En av de største utfordringene per i dag for denne type fjernstyring, er at mobilnettet ofte er for tregt og upålitelig, spesielt når operatøren er avhengig av god kvalitet på videostrømmen for å ta riktige avgjørelser. Måten dette løses på i dag, er at kjøretøyet bruker mange SIM-kort i parallell for å få høy nok båndbredde. Forhåpentligvis så vil dette forbedre seg når 5G rulles ut.

Kapittel 2: Internasjonale retningslinjer, spesifikasjoner og standarder.

ODD, OEDR

ODD (Operational Design Domain) er en forkortelse som brukes for å beskrive hvilke forhold en selvkjørende buss eller bil er laget for å håndtere. Til å begynne med så hadde de selvkjørende minibussen en ODD som begrenset seg til et avsperrert område, gjerne i forbindelse med ITS-konferanser. Nå har ODD for disse minibussene blitt utvidet til å håndtere bygatene i Oslo, Kongsberg og Stavanger så lenge det er en sikkerhetssjåfør ombord. På Ski så ble ODD utvidet ytterligere, slik at sikkerhetssjåføren kunne byttes ut med fjernkontroll fra et kontrolltårn dersom det oppstod en situasjon som automatikken ikke kunne håndtere. En gang langt inn i framtiden så kan det kanskje tenkes at ODD for en selvkjørende buss inkluderer kolonnekjøring på vinterfjellet bak en selvkjørende brøytebil.

OEDR (Object and Event Detection and Response) er en forkortelse som brukes for å beskrive hvilke typer objekt og trafikkhendelser den selvkjørende bussen eller bilen kan gjenkjenne. Objekter kan være personer og dyr av forskjellige slag, hull i veibanen og autovern. Situasjoner kan for eksempel være protestmarsj eller trafikkuhell.

Disse begrepen brukes i spesifikasjoner og standarder både i USA og Europa, og du kan lese mer om dem her:

http://users.ece.cmu.edu/~koopman/pubs/Koopman19_SAFE_AI_ODD_OEDR.pdf

ISAD

De fleste har hørt om SAE-nivåene for automatisert kjørefunksjoner. Hvis du ikke har hørt om dette, så finner du en fin tabell her:

<https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>

En tilsvarende klassifisering er i ferd med å bli utviklet for veier med digital infrastruktur som kan støtte selvkjørende busser og biler. Dette kalles ISAD (Infrastructure Support levels for Automated Driving). Tanken er her at et kjøretøy for eksempel kan være designet for en ODD som krever at veien har ISAD-A nivå, som er det høyeste nivået med mest mulig digital infrastruktur. Du kan lese mer om ISAD her:

<https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id57/ERTRAC-CAD-Roadmap-2019.pdf>

ETSI POTI

Dersom man ønsker å benytte RTK i forbindelse med ITS-G5 kommunikasjon så er det beskrevet i denne standarden fra ETSI:

https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302800_302899/30289002/02.01.01_20/en_30289002v020101a.pdf

Standarden tar også for seg RTLS løsningen fra Cohda som her kalles «R-ITS-S ranging augmentation Service».

C-ITS standard meldinger

For C-ITS så har man så langt kommet fram til følgende standardiserte melding for ITS-G5 kommunikasjon:

- CAM (Cooperative Awareness Message), ETSI EN 302 637-2, beskriver kjøretøyets posisjon, hastighet og retning. Meldingen sendes regelmessig fra kjøretøy mellom en og ti ganger i sekundet.
- DENM (Decentralized Environmental Notification Message), ETSI EN 302 637-3 beskriver forskjellige veimeldinger, både SRTI (Safety-Related Traffic Information) og RTTI (Real-Time Traffic Information).
- IVI (In-Vehicle Information), ISO 19321, er virtuelle trafikkskilt, inkludert dynamiske fartsgrenser.
- SPAT/MAP: (SAE-J2735 and ISO 19091): Signal Phase And Timing angir statusen for trafikkllys, mens MAP er en kartsnitt som viser alle kjørefeltene i lyskrysset, og hvilke lyssignal som gjelder for disse.
- SRM (Signal Request Message) kan brukes i forbindelse med SPAT av offentlig transport- og utrykningskjøretøy for å be om prioritet i lyskrysset.
- SSM (Signal Status Messages) er et svar fra lyskrysset på SRM, og forteller hvilke kjørefelt som har fått innvilget eller avslått prioritetsforespørselen.
- SAM (Service Announcement Message), ETSI EN 302 890-1, kan brukes for å annonsere meldinger og tjenester som ikke er dekket av de øvrige meldingsstandardene. Dette gjør C-ITS veldig fleksibelt, og kan tilpasses lokale ordninger og behov.
- CPM (Collective Perception Message) kan brukes i forbindelse med veikryss, der en RSU utstyrt med kamera, lidar eller radar kan sende melding til kjøretøyene om posisjonen til fotgjengere, syklistene og biler.
- MCM (Maneuver Coordination Message) kan brukes til å koordinere ting som forbikjøring, kjørefeltsbytte og fletting.

Når det gjelder DENM og IVI, så finnes det tilsvarende meldinger i DATEX-II standarden. Men DATEX-II meldinger kan ikke sendes direkte fra en RSU (Roadside Unit) til OBU (Onboard Unit) i forbigående biler slik man kan med DENM og IVI.

C-Roads

C-ITS standardene beskriver tusenvis av parameter som kan settes til forskjellige verdier, og her er det rom for forskjellige tolkninger. Derfor har EU kommisjonen og veimyndighetene i de forskjellige land, inkludert Norge, opprettet C-Roads for å lage spesifikasjoner med parameter-profiler som skal brukes i Europa. Du kan lese mer om dette her: <https://www.c-roads.eu/platform.html>

Car 2 Car

Lenge før veimyndighetene opprettet C-Roads, så opprettet kjøretøy- og utstyrsprodusentene Car 2 Car Communication Consortium for å harmonisere hvordan de tolket alle C-ITS standardene. Du kan lese mer om dette her:

<https://www.car-2-car.org/documents/>

Trafikklys RSMP

Det finnes mange protokoller for å kommunisere med signalanleggene i lyskryss, men de fleste er proprietære og eies av Swarco eller Siemens. Som et alternativ så har man i Norden utviklet RSMP (Road Side Message Protocol), som er en åpen protokoll og som støttes av utstyr fra Swarco. Du kan lese mer om dette her:

<https://rsmp-nordic.org/>

Kapittel 3: Hva kan selvkjørende kjøretøy forvente seg av en digital vei-infrastruktur

Høynøyaktig og tilgjengelig GNSS posisjonering

ESA (European Space Agency) sier de vil levere Galileo High Accuracy Service (PPP), noe som vil gi selvkjørende kjøretøy 20 centimeters posisjoneringsnøyaktighet. Intensjonen bak tjenesten er å bl.a. gjøre europeiske Mobility as a Service (MaaS) tjenester mer konkurransedyktige globalt. CTO'en i European Association of Automotive Suppliers (CLEPA) har bedt ESA om å gjøre den fremtidige tjenesten gratis for alle forbrukere og dette har ESA lovet de skal:

<https://www.gsa.europa.eu/newsroom/news/galileo-critical-autonomous-driving>

Galileo High Accuracy Service sin GPS tjeneste har som mål å være gratis i Europa og tilgjengelig i 2024. Allerede i 2022 vil Fase 1 av prosjektet være tilgjengelig, men man kan ikke forvente 20 centimeters posisjonsnøyaktighet før i 2024. For øyeblikket er tjenesten i Fase 0, "High Accuracy testing and experimentation".

GNSS RTK Basestasjoner tilgjengelig for alle

I Norge er det nok best at Kartverket bygger ut CPOS-løsningen sin, slik at denne kan brukes av alle pilotprosjekt for selvkjørende busser og biler.

Posisjonering i områder uten GNSS-dekning

Selvkjørende busser bruker i dag lidar-punktsky for posisjonering enten de har GNSS-dekning eller ei. Dette er imidlertid en veldig kostbar og tungvint løsning fordi det er svært resurskrevende å holde lidar-punktskyene oppdatert. I denne rapporten har vi beskrevet flere alternativ der en digital infrastruktur kan hjelpe til med å posisjonere kjøretøyene.

Radar og kamera langs vei for å avhjelpe selvkjørende kjøretøy

AID systemene som finnes i dagens veganlegg gir flere typer meldinger til operatørene på vegtrafikksentralen, og noen av disse meldingene kan også deles direkte til kjøretøy dersom de oversettes til standardiserte C-ITS meldinger.

Se kapittel 2.3.1 for en oversikt over AID systemene som er i bruk i dag og type deteksjoner de støtter.

Det skal være ett objekt «77. Kamera» for hvert installerte kamera.

Status

Bit	Maske	Høy	Lav
0	1	Alarm/melding	Ok
1	2	Alarm/melding blokkert	Frigitt/OK
2	4	Feil	Ok
3	8	Feil blokkert	Frigitt/OK
4	16	Kamera valgt	Kamera ikke valgt
5	32	Dårlig bilde	Bilde ok
6	64	Kamera ut av posisjon	Posisjon ok
7	128	Røyk/brann detektert	Ingen røyk/brann detektert
8	256	Kjøretøy i gal retning	Ingen kjøretøy i gal retning
9	512	Stopp detektert	Ingen stopp detektert
10	1024	Kø	Ingen kø
11	2048	Fotgjenger/myk trafikant	Ingen fotgjenger/myk trafikant
12	4096	Objekt i vegbane	Ingen objekt i vegbane
13	8192		
14	16384		
15	32768	Feil på detektor	Ikke feil på detektor

Figur 20: Datastruktur i SVV region sør/vest/midt/nord sitt OPC prosessgrensesnitt

Pr i dag sendes disse dataene via OPC standarden til vegtrafikksentralene. OPC står for «OLE for Process Control» og benyttes i dag av Statens vegvesen for standardisert kommunikasjon med installasjoner langs vegene. OPC benyttes som standard i alle 5 vegtrafikksentraler, men strukturen på dataordene er noe forskjellig.

Status

Bit #	Beskrivelse	Maske
0	Normal	1
1	Alarmfrys fra meldekontakt (MKNT, MKAP, MKBA, MKTR, SOSK) og AID (visning alarmmonitor) *	2
2	Signalplanfrys (STS - signalplan monitor)	4
3		8
4	Frys kjøretøy - stoppet	16
5	Sperret kamerafrys og AID**	32
6	Saktegående kjøretøy	64
7	Mistet last	128
8		256
9		512
10	Røyk	1024
11	Motsatt kjøreretning	2048
12	Frys person	4096
13	Objektet er sperret for alarmer	8192
14		16384
15		32768

*) Gjelder for ITVD

Figur 21: Bit-struktur på OPC kameraobjekt-status SVV region øst

Varsling - trafikkflyt	
ITVB*	ITV-AID detektors belegg i % av overvåkningssektor. 'Value' holder snittverdi for alle feltene.
KOVA*	Alarm fra køvarslingssystem (Køvarslingsnivå beregnet fra AID - verdi: 0-4). 'Value' holder maksverdi for feltene.
SHAS*	Snitthastighet i en gitt sektor over en tid på 1-10 min. 'Value' holder snittverdi for alle feltene.
TELx*	Tellepunkt fra vegkant – over en tid på 30s – 60 min. (x = 1 – 9 - kjøretøyklasser, sum alle klasser: x=A - AID system, X= L - laser eller x= S – sløyfepkt og x=T – brikke(tag) i kjøretøy). 'Value' holder sum for alle feltene.

*) Kan benyttes som parameterobjekt når det er nødvendig å hente inn trafikkflyt pr. felt i løpet. Limit1..4 tilsvarer felt fra venstre i normalretning for løpet. I ettløps tunnel starter nummereringen fra laveste avsnittsnummer og fra venstre. Limit1 – tilsvarer altså felt nr 1 til venstre i løpsretning.

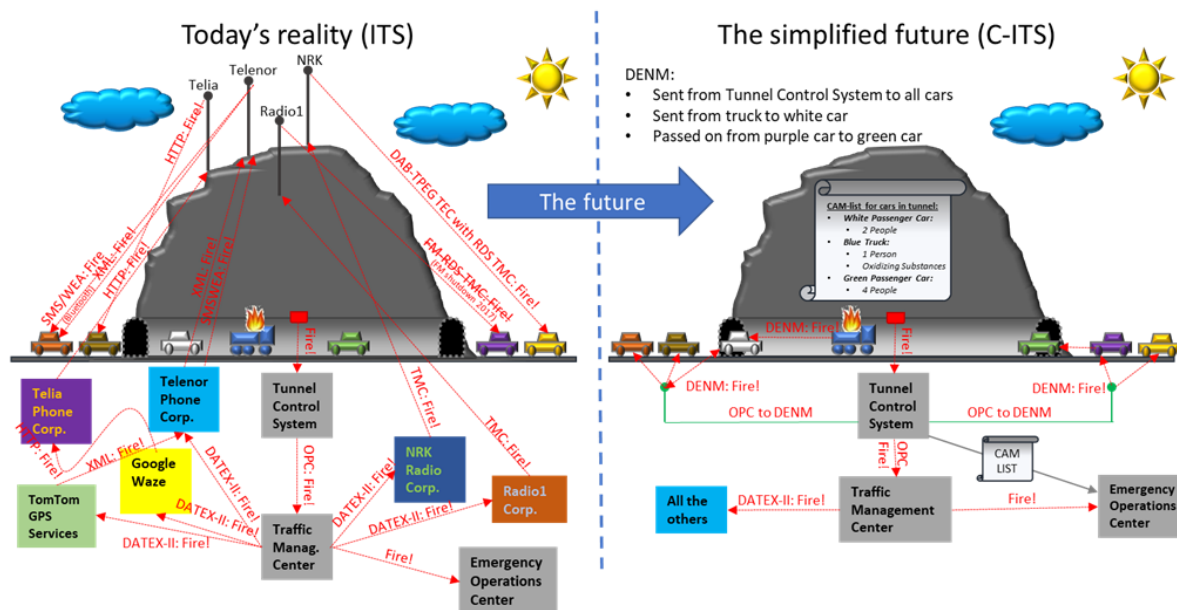
Figur 22: Eksempel på objekter i SVV Region Øst sitt OPC-prosessgrensesnitt

Det er flere måter å hente ut disse dataene på. Man kan hente dem ut direkte i veginstallasjon, eller man kan hente dem ut fra vegtrafikksentral. Med tanke på at dette bør være sanntidsdata er det en ide å sende dataene ut rett fra veg installasjon. I eksempelet over kan dette gjøres ved å snakke med AID server direkte eller fra OPC server. Her kan man lage en software som samler inn data fra AID systemene og gjør disse om til standardiserte meldinger som kan sendes ut til kjøretøy, f.eks. DENM meldinger.

Et eksempel på dette er Bjørnegårdtunnelen (region øst SVV). Denne tunnelen er klargjort for kommunikasjon med kjøretøy ved at det er plassert ITS-G5 RSUer i tunnelen. ITS-G5 standarden er en måte å sende sanntidsdata direkte til kjøretøy. Kjøretøyene kan da få melding direkte fra tunnelen om trafikale hendelser som ulykker, kø, bil i feil kjøreretning osv. Dette kan hjelpe både de de selvkjørende bilene og bilsjåfører å ta bedre avgjørelser.

På denne måten rører man ikke systemene til tunnelen og kobler seg bare på for å få ut data som man trenger til kjøretøyene.

Instant warnings save lives



Figur 23: Til venstre ser vi dagens løsning - til høyre hvordan man kan sende varsel direkte fra tunnel til kjøretøy

Data fra eksisterende veiinfrastruktur

I tillegg til OPC data fra tunneler som beskrevet i forrige avsnitt, så kan man fra SVV sin Datalnn løsning hente OPC data fra værstasjoner og tellepunkt. Dette kan også gjøres om til DENM trafikkmeldinger og sendes direkte til kjøretøyene i det aktuelle området via ITS-G5.

Trafikklys med SPAT

Man kan installere ITS-G5 RSU i alle lyskryss der selvkjørende busser og biler skal ferdes, og ITS-G5 OBU i kjøretøyene. RSUen vil sende SPAT meldinger til kjøretøyene for å informere om statusen til trafikklysene. Dette er en lavt-hengende frukt og er beskrevet tidligere i denne rapporten.

Selvkjørende skilt

I november 2019 ble master oppgaven til Martin Folkedal Hjelle, «Self-driving Sign for Mobile Road Work», kåret til årets beste vei-master. Han skrev om selvkjørende varslingsskilt som kan følge etter anleggsmaskinene, som eksempelvis driver med kantslått eller asfaltering, fremfor at varslingsskiltene må flyttes manuelt. NTNU har siden den gang jobbet med å utvikle en prototype som del av en 2-årig stipendiat oppgave. Dette kan du lese mer om her:

<https://www.veier24.no/artikler/selvkjorende-skilt-ble-karet-til-beste-vei-master/478251>

Backup-løsninger når sikkerhetssjåføren fjernes

Uansett hvor godt instrumentert en selvkjørende buss blir, og hvor godt den blir integrert med veikantutstyr og digital infrastruktur, så er det ikke til å se bort ifra at bussen på ett eller annet tidspunkt vil trenge hjelp til å ta korrekte avgjørelser. I dag er dette løst med en sikkerhetsvert om bord i hver buss, men dette er selvfølgelig lite hensiktsmessig når målet nettopp er å erstatte sjåføren.

Løsningen de fleste tenker seg er en kontrollsentral for selvkjørende kjøretøy som kan ta hånd om uforutsette hendelser og støttet de selvkjørende kjøretøyene ved behov. Dette kan gjøres på flere måter. Enten ved at en fjernoperatør velger en forhåndsdefinert aksjonsplan i bussen for å løse utfordringen den står ovenfor, eller ved at fjernoperatøren tar over styringen av bussen i manuell modus, og deretter setter bussen tilbake i automatisk modus.

Løsningen med kontrollsentral høres ved første tanke fin ut, men det er noen utfordringer som må løses.

Det man umiddelbart tenker på er hvem som skal eie kontrollsentralen og stå ansvarlig for driften. Man kan tenke seg at Statens vegvesen kunne påtatt seg en slik rolle i fremtiden. Statens vegvesen har i dag fem vegtrafikksentraler som er bemannet 24 timer i døgnet og er vant med å håndtere trafikksituasjoner. Endringer i eierstrukturen for det norske vegnettet kan derimot gjøre at en slik rolle i fremtiden kan bli distribuert til flere veieiere som for eksempel fylkeskommunene og Nye Veier.

En annen tanke er at kollektivtraffikkselskap som Ruter, AtB og Brakar kan drifte slike kontrollsentraler for deres respektive områder. Disse selskapene har i dag oversikt over bussparken og rutene som kjøres, så det kan være en nærliggende tanke at disse kan ha et ansvar for kontrollsentralene.

Utfordringen med eierskapet til slike kontrollsentraler er at det trolig kommer til å være kjøretøyprodusentene som eier softwaren som gjør bussene selvkjørende. Man kan da spørre seg om det er riktig at aktørene som drifter kontrollsentralene skal ta ansvaret for noe som er utviklet av bussprodusenten. Her vil det være mange faktorer som spiller inn. Skal man for eksempel ha et sertifiseringssystem for selvkjørende kjøretøy som gjør at det er enklere for busseiere å ta ansvaret for selvkjøringsfunksjonaliteten for sine respektive busser.

Man kan også tenke seg at det å legge driftsansvaret over på bussprodusentene er det enkleste, da de har kontroll på stort sett hele verdikjeden når det kommer til teknologien. Men det mest nærliggende alternativet er nok at private selskap som Holo, Mobility Forus og Applied Autonomy tar denne rollen på vegne av kollektivtraffikkselskapene. Disse private selskapene har spesialisert seg på å knytte selvkjørende busser og andre kjøretøy fra forskjellige produsenter opp mot sine baksystem som igjen kan knyttes opp mot kollektivtraffikkselskapenes IT-løsninger.

Kapittel 4: Hvordan kan ISAD

veistrekninger se ut

Det EU-finansierte prosjektet Inframix ble ledet av den østerrikske forskningsorganisasjonen Austriatech. Med seg hadde de blant andre ASFINAG, som er de østerrikske myndigheters tollveiselskap, samt Siemens, TomTom og flere andre. Prosjektet svarte på Horizon 2020 utlysningen «ART-05-2016 - Road infrastructure to support the transition to automation and the coexistence of conventional and automated vehicles on the same network». Prosjektet ble avsluttet 31.mai 2020.

Her er en oversikt over prosjektet: <https://cordis.europa.eu/project/id/723016>

Prosjektet leverte en rekke interessante dokumenter, og noen av disse finner man her: <https://www.inframix.eu/public-deliverables/>

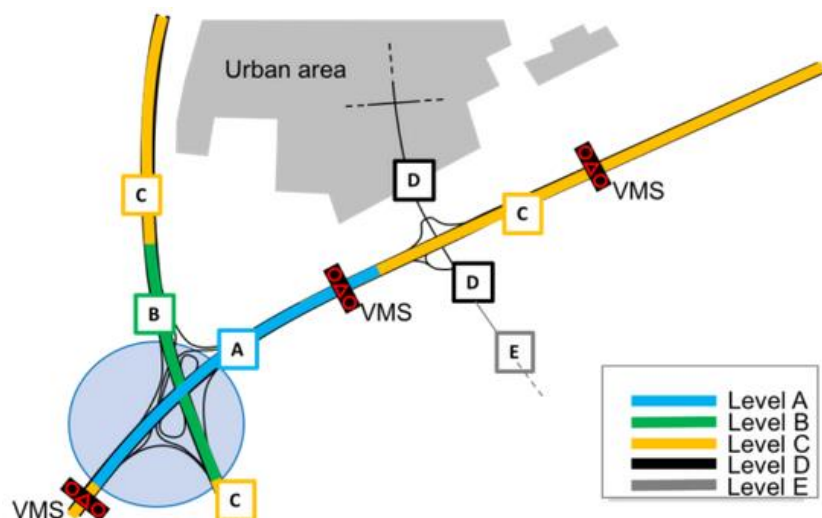
Ett av disse dokumentene er «D.5.4 Infrastructure Classification Scheme», og der beskrives et konsept de kaller ISAD (Support Levels for Automated Driving).

ISAD har blitt en skikkelig hit i Brussel som alle snakker om.

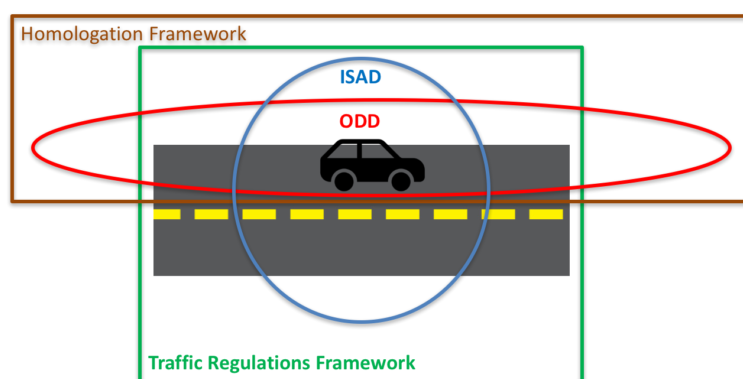
Virkelighetsoppfatningen til automatiserte kjøretøyer er begrenset av deteksjonsrekkevidden og egenskapene til de innebygde sensorene. Vegvesenet bruker allerede mange typer sensorer langs veiene, og disse kan potensielt dele sin informasjon med de automatiserte kjøretøyene. For å klassifisere og harmonisere en veiinfrastrukturs evne til å støtte og veilede automatiserte kjøretøyer, foreslo Inframix et enkelt klassifiseringsprinsipp, veldig likt SAE-nivåene for automatiserte kjøretøyeegenskaper. Disse nivåene kan tildeles deler av veinettet for å gi automatiserte kjøretøy og deres operatører informasjon om i hvilken grad en veistrekning er tilrettelagt for selvkjørende busser og biler.

Level	Name	Description	Digital information provided to AVs			
			Digital map with static road signs	VMS, warnings, incidents, weather	Microscopic traffic situation	Guidance: speed, gap, lane advice
Digital infrastructure	A	Cooperative driving Based on the real-time information on vehicles movements, the infrastructure is able to guide AVs (groups of vehicles or single vehicles) in order to optimize the overall traffic flow	X	X	X	X
	B	Cooperative perception Infrastructure is capable of perceiving microscopic traffic situations and providing this data to AVs in real-time	X	X	X	
	C	Dynamic digital information All dynamic and static infrastructure information is available in digital form and can be provided to AVs	X	X		
Conventional infrastructure	D	Static digital information / Map support Digital map data is available with static road signs. Map data could be complemented by physical reference points (landmarks signs). Traffic lights, short term road works and VMS need to be recognized by AVs	X			
	E	Conventional infrastructure / no AV support Conventional infrastructure without digital information. AVs need to recognise road geometry and road signs				

Figur 24: Her ser vi de forskjellige ISAD-nivåene for veistrekninger



Figur 25: Her ser vi en motorvei med ISAD-nivåene A, B, og C på forskjellige strekninger



Figur 26: Sammenhengen mellom ISAD, ODD, trafikkregler og typegodkjenning

I figuren ovenfor så ser man et automatisert kjøretøy som har blitt utrustet til å kunne operere innfor rammen av et sett med ODD. En forutsetning for denne rammen kan være at kjøretøyet kun kan bruke sine automatiske kjørefunksjoner på en veistrekning som har ISAD-nivå A. Kjøretøyet kjenner også trafikkreglene for denne veistrekningen. Til sammen så kan ISAD-nivået, ODD-rammen og trafikkregleforståelsen i kombinasjon danne grunnlag for en typegodkjenning (homologation) for dette kjøretøyet. Man kan for eksempel tenke seg at et vogntog typegodkjennes for å kjøre automatisk i høy hastighet på motorveier med ISAD-nivå A.

Alle figurene i dette avsnittet er hentet fra Inframix prosjektet.

Kapittel 5: Diskusjon med aktører

I utarbeidelsen av denne rapporten, har det blitt avholdt workshop den 20.11.2020 og 28.08.2021 sammen med Statens vegvesen, Viken fylkeskommune, Ruter, Holo, TØI, ITS Norway, Kartverket og SAMS Norway. I disse workshopene ble det tatt opp mange aspekt relatert til Digital Infrastruktur for automatisert transport. Dette kapittelet sammenstiller viktige innspill, poenger og diskusjoner fra disse workshopen.

Ansvarsområder for digital infrastruktur

Hvem som burde ha ansvar for de ulike delene av digital infrastruktur er en viktig diskusjon som ble tatt opp i workshop. Her har det blitt nevnt at Statens vegvesen bør ha ansvar for kartdata/inventory management, mens kommunikasjon burde falle inn under telecom-selskapene. Samtidig så har alt fysisk utstyr som står langs veiene eierskap som følger veiloven (kommune, fylke, stat), så det er ikke nødvendigvis sikkert at Statens vegvesen skal ha ansvar for dette. SVV har ansvar for riksveier, Nye Veier har ansvar for sine veier, og fylkeskommunene har ansvar for fylkesveiene.

Ansvar for fjernstyring av selvkjørende kjøretøy

Selvkjørende busser og biler kan havne i situasjoner der de ikke klarer å ta korrekte avgjørelser på egenhånd, så her kan det være et behov for å fjernstyre dem. Men hvem som skal levere denne fjernstyring må defineres. Her kan det tenkes at Vegtrafikkentralen kan spille en rolle som 24/7 kontrolltårn for selvkjørende busser og biler. Ellers bør ansvaret ligge hos de som skal ha kjøretøyene på veien. Det kan også hende at Statens vegvesen tar ansvar for enkelte ting i pilotprosjekter, men der ikke gitt at vegvesenet skal ha dette ansvaret i framtiden.

Ansvar for førerprøver for selvkjørende kjøretøy

Det vil etter hvert bli innført typegodkjenning av selvkjørende busser og biler. En slik typegodkjenning vil beskrive hvilke områder og omstendigheter som bussen kan operere under, og et lovforslag rundt dette har alt blitt vedtatt i Tyskland. Det kan du lese mer om her:

<https://erticonetwork.com/germany-adopts-autonomous-driving-law-for-commercial-use/>

Her er det naturlig at Statens vegvesen blir involvert, men det kan bli utfordrende å avgjøre på forhånd hvilke situasjoner kjøretøyene kan håndtere. Derfor har CCAM Partnership tatt til orde for å opprette en felles europeisk hendelses- og scenario-database med datasett fra selvkjørende kjøretøy som har kjørt på offentlige veier og testbaner. Disse datasettene kan brukes i simulatorer der programmeringslogikken for automatisert kjørefunksjonalitet må bestå forskjellige valideringsmetoder som blir en slags førerprøve for disse kjøretøyene. Det er også viktig at de som utvikler algoritmene kan lære fra hverandre når ulykker inntreffer, og analysere hendelsene for å unngå at samme feil skjer igjen. I tillegg til alle sensorene som blir brukt i et selvkjørende kjøretøy, så er det også mange algoritmer som er basert på kunstig intelligens. Her burde det kreves innsyn i hvordan algoritmene fungerer. Et annet viktig punkt er at software i selvkjørende kjøretøy ofte blir oppdatert. Tesla oppdaterer sin

software regelmessig, der det noen ganger endres på bremsefunksjoner og annen kritisk funksjonalitet etter at kjøretøyene har blitt typegodkjent. Hvordan dette skal håndteres jobbes det med hos det europeiske FN-organet UNECE. Her kan du lese mer om dette:

<https://unece.org/sustainable-development/press/un-regulations-cybersecurity-and-software-updates-pave-way-mass-roll>

Dagens posisjoneringsløsninger: CPOS

HOLO har gode erfaringer med CPOS som posisjoneringsløsning. Men det er usikkert hvor god og hvor skalerbar CPOS dekningen er over hele Norge. Før brukte HOLO egen RTK, men med CPOS behøver de ikke å vedlikeholde og drifte eget utstyr. Kartverket har nylig vært igjennom en strategiprosess rundt dette, og har besluttet at CPOS skal bygges ut for å dekke hele landet. Per i dag er det manuell onboarding av nye enheter til CPOS, så her er det nødvendig at Kartverket lager en helautomatisk registrering via API-er.

Bilen som sensor

I workshopene ble det spurt om det hentes nok værdedata fra biler, som temperatur, føreforhold, ABS bremses og om bilen spinner eller ei. TØI er involvert med SVV og Volvo for å hente anti-spinn data fra bilens sensor. Et problem her er at man får denne anti-spinn dataene hovedsakelig i svinger og kryss, men ikke strekninger med høy hastighet. Så der ble det bare fanget opp data som ikke var så interessante. For Viken fylkeskommune som vei-eier, mener de at det alltid er interessant å kunne bruke sensorikk fra biler for å kunne si noe om veiens tilstand, da særlig i sammenheng med å kunne planlegge drift, vedlikehold, brøyting, strøing og den type ting. Dette er spesielt interessant i forbindelse med bestillings-transport og deres kollektivsystem. Men hvem som skal håndtere disse dataene og tilgjengeliggjøre dem er en stor diskusjon. Enten kan dette være et offentlig ansvar, eller det offentlige kan utfordre markedet for å kjøpe denne tjenesten istedenfor å utvikle og drifte den selv.

Meteorologisk Institutt tilbyr værvarsling i form av «now-casting» i Norge, der man kan sjekke hvordan været er akkurat nå i et punkt eller sted, men løsninger støtter ikke spørring om hvordan være og føre er langs en veistrekning. Standarder for dette har imidlertid nylig blitt utviklet av OGC og det kan du lese mer om her:

<https://www.ogc.org/standards/ogcapi-edr>

Dette er noe som bør bli et krav for automatisering av transporten i fremtiden, for man kan ikke akseptere at noen kjøper en kundereise samtidig som now-cast sier at det er uframkommelige vær- og føreforhold langs denne strekningen.

ISAD

Det å kategorisere norske veier i henhold til ISAD har vært et aktuelt diskusjonstema blant aktører som Ruter og Holo. Holo har arbeidet mye med å bruke digitale kilder for å kategorisere veier som en helhet. Det å kategorisere veier i henhold til ISAD vil bidra til at man på forhånd vet hvilke veier som faktisk er trygge å kjøre automatisert transporter på. Her er det viktig å ha en plan for hvilke nivåer man ønsker at ulike områder, veier og traseer skal ha, og man må vurdere hvor det er hensiktsmessig og samfunnsøkonomisk nyttig med ISAD nivå A. For eksempel i byer, strekninger med mye pendling eller godstransport eller trafikk fra havnene. Å gjøre hele det norske veinettet på flere tusen kilometer til klasse A er urealistisk, men det å ha hele veinettet kategorisert basert på data fra blant annet Kartverket og Vegvesent er nødvendig for skalering av selvkjørende transporter. Selv for de lavere ISAD klassifiseringene så vil infrastrukturen utgjøre en stor forskjell. I dag går produsenter av selvkjørende kjøretøy ut ifra at de ikke trenger hjelp fra infrastrukturen, og at de skal klare seg på egenhånd. Men det er ting som de sliter med, som for eksempel å lese trafikklys og å håndtere venstresving i lyskryss. Her er det et klart ønske om å få informasjon om trafikklys og lyskryss digitalt, gjerne gjennom et skybasert system. Dette er noe aktører som Holo kan benytte seg av med engang. For å få mer erfaring med ISAD nivå A, mener aktører at det er viktig å bygge ut områder med denne klassifiseringen, for eksempel i testområdet i Ski, eller på enkelt strekninger rundt omkring i landet sånn at man kan ha åpen innovasjon i flere områder i Norge. Her er det også interessant å ha ulike testområder med høy ISAD klassifisering, som for eksempel trafikk langs skolevei, midt i byer eller boligfelt og i landeveier med høyere hastigheter, men med mindre komplisert trafikk. Dette er spesielt aktuelt for selvkjørende kollektivtrafikk.

Smart Digital Infrastruktur

I workshopen ble det diskutert nyttigheten av edge computing, som for eksempel dataservere som står i basestasjoner der man får tilgang til å spinne opp sine egne virtuelle Linux maskiner som kan utføre jobber i mobiltårnet. Da kan for eksempel Vegvesenet leie kapasitet i slike servere, og bilene kan snakke med hverandre over mobilnettet ved at deres meldinger går til nærmeste basestasjon for så og kringkastes til andre kjøretøy i nærområdet. I denne diskusjonen ble det nevnt at de mest tidskritiske meldingene likevel bør kommuniseres over ITS-G5 direkte fra bil til bil.

3D vegkart

Det å levere 3D vegkart kombinert med trafikkregler (som UVAR og METR) og sanntids trafikkinformasjon er også noe som ble diskutert i workshopen. Her må man finne riktig rollefordeling mellom forskjellige offentlige etater og næringslivet. På Ski-prosjektet har det blant annet vært et samarbeid mellom Kartverket, Vegvesenet og Ruter. Når det gjelder datagrunnlaget som Kartverket ønsker å levere til aktører innen selvkjøring, så er det punktskykart (HD kart) som har størst bruksverdi. I forbindelse med Ski-prosjektet har en felles punktskyforvaltning blitt testet. Her kan en felles forvaltningsdatabase der man samler punktskydata bli utviklet videre. HERE Technologies og TomTom har også vist interesse for å dele punktskykart i en slik forvaltningsdatabase.

Kapittel 6: Anbefalinger til fremtidige piloter

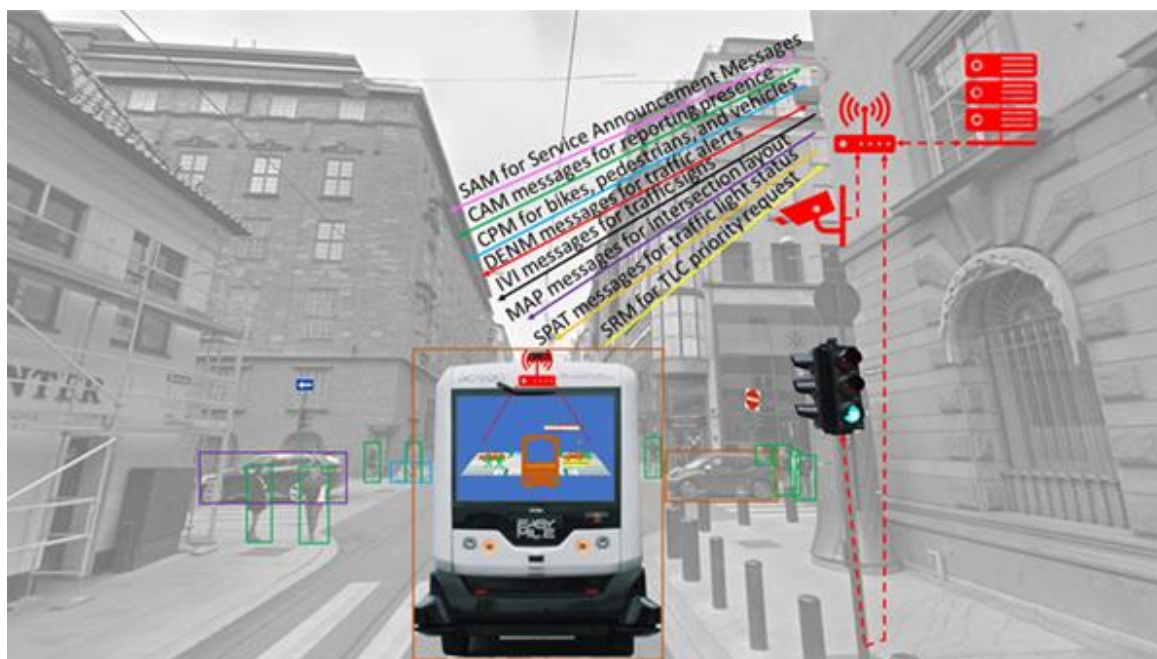
I dette kapittelet gir vi anbefalinger til fremtidige piloter og prosjekter basert på innspill fra intervjuer og workshops vi har holdt med aktører i forbindelse med utarbeidelsen av rapporten.

Fugleperspektiv i veikryss

Dette forslaget for framtidig pilotprosjekt her i Norge går ut på å lage intelligente lyskryss som kan hjelpe selvkjørende busser og biler med å tolke trafikkbildet. Dette har alt vært forsøkt flere steder i verden, og typiske prosjekt er bygd opp på denne måten: Flere kamera, radar eller lidar plasseres over veibanen og dataene sendes til en datamaskin (veikantstasjon). Der brukes kunstig intelligens til å gjenkjenne kjøretøy, fotgjengere og syklist. Oppdaterte lister med lokasjonene til alle disse trafikantene sendes til den selvkjørende bussen flere ganger per sekund, og selvkjøringsalgoritmene kan kombinere dette med bussens egne sensordata for å få en bedre oversikt over trafikkbildet. I tillegg kan infrastrukturen sende en mengde annen data for å øke bussens forståelse av situasjonen.

Dette kan være til spesielt god hjelp når bussen skal svinge til venstre i lyskrysset, men løsningen kan også brukes i veikryss uten trafikkllys. Den kan også brukes når bussen skal kjøre fra stasjonsområdet og ut på en travel vei.

Illustrasjonen nedenfor viser hvordan dette kan gjøres med standard C-ITS meldingstyper. Se beskrivelse av meldingstypene i et foregående avsnitt.



Figur 27: Typisk eksempel på pilotprosjekt der lyskrysset snakker med selvkjørende busser

Her er et eksempel fra Iteris og Continental Automotive:

<https://www.iteris.com/products/detection-sensors/vantage-fusion>

Statens vegvesen har gjennomført mange lignende, men enklere prosjekt som dette. Da har man kalt det TLA (Trafikk Lys Assistanse), og du kan lese mer om dette her: <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/prosjekt/stor/pilotprosjekter/trafikklysassistanse-tla/>

Dersom man gjennomfører en slik pilot, så kan man også se på muligheten for å gi selvkjørende busser prioritet. Alternativt så kan dette kanskje gjøres ved å ta i bruk Oslo TLP (trafikklys prioriteringssystem) som Oslo Kommune fikk installert i 2021. Her kan du lese mer om dette:

<https://www.nelfo.no/om-oss/bransjene/Integra/integranyheter/nytt-system-for-trafikklysprioritet-for-trikk-og-buss-i-stor-oslo-regionen/>

Midlertidige trafikklys ved veiarbeid

Et annet forslag til pilotprosjekt som har kommet opp i forbindelse med utarbeidelsen av denne rapporten er å utvikle midlertidige trafikklys som kan assistere selvkjørende busser med å navigere gjennom områder med veiarbeid og anleggstrafikk i bygater. Man kan da ta utgangspunkt i midlertidige trafikklys som vist i bilde nedenfor, og kombinere dette med en RSU.



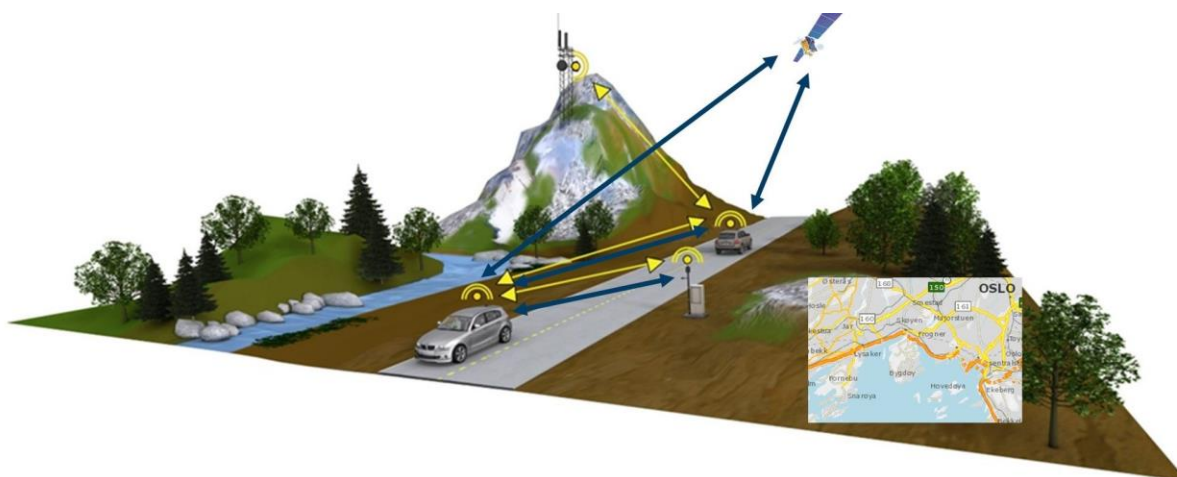
Figur 28: Berghaus trafikklys som forhandles av Brødrene Dahl AS

Posisjoneringsløsninger

En tilbakevennende utfordring for selvkjørende kjøretøy, spesielt inne på stasjonsområder, parkeringsplasser, havner og distribusjonssentre er nøyaktig posisjonering. Avsnittene om RTK og RTLS beskriver mange muligheter. Aktuelle posisjoneringsløsninger kan annonseres med SAM (Service Announcement Message) som kan inneholde informasjon om hvilke typer navigasjonsløsninger som er tilgjengelig i området, og hvordan den selvkjørende bussen eller andre selvkjørende biler kan koble seg til disse. Dette kan kanskje kombineres med en test av forskjellige løsninger på et komplisert industriområde/parkeringsanlegg/terminal. Se avsnittet «Posisjonering av kjøretøyene» for en oversikt over hvilke teknologier som finnes.

Se for øvrig TEAPOT prosjektet der Statens vegvesen er med:

<https://www.sintef.no/prosjekter/2021/teapot/>



Figur 29: Illustrasjon fra TEAPOT prosjektet

Kapittel 7: Hva skjer i andre land

Her er en oversikt over noe av det som skjer i andre land for å tilrettelegge fysisk og digital vei-infrastrukturen for selvkjøring. Utover et stort antall pilotprosjekt og studierapporter, så er det egentlig ikke så mye som skjer med tanke på permanente løsninger for offentlige veier. Dette skyldes naturligvis at veimyndighetene ikke kan begynne å klargjøre veinettet for selvkjøring før bilprodusentene begynner å produsere denne type kjøretøy i store antall og nye finansieringsordninger er på plass.

EU-EIP (European ITS Platform), Europa: Flere europeiske prosjekt har over lang tid studert behovet for å oppgradere vei-infrastrukturen med tanke på tilrettelegging for selvkjørende biler. EU-EIP, der Statens vegvesen har hatt en viss deltakelse, har samlet mye av dette i en oversiktlig rapport som tar for seg både fysisk og digital infrastruktur og har en oversiktlig tabell i avsnitt 5.3. Du finner rapporten her: https://www.its-platform.eu/filedepot_download/1950/6681

FHWA, USA: Federal Highway Administration i USA har laget en rapport der de har samlet inn synspunkt fra flere hold om hvordan veiene bør klargjøres for selvkjøring. Dette ligner litt på EU-EIP rapporten som ble nevnt ovenfor, men FHWA rapporten er av nyere dato, og du finner den her:

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/21015/21015.pdf>

Trafikverket, Sverige: På oppdrag fra svenske myndigheter skal Trafikverket undersøke hva som må gjøres med den fysiske infrastrukturen for å klargjøre veiene for selvkjørende biler. Scania, Volvo Trucks, Volvo Cars og NEVS (tidligere SAAB) har alle hovedkontor i Sverige og disse bilprodusentene ligger langt framme i utviklingen av automatisert kjørefunksjonalitet, så denne rapporten kan bli interessant. Rapporten skal være klar 29. juli 2022. Her kan du lese mer om dette:

<https://www.drivesweden.net/en/swedens-government-investigate-av-readiness-its-roads>

Cavnue, USA: Dette selskapet har utspring i Alphabet/Google/Waymo/Sidewalk-Labs og har til hensikt å bygge dedikerte kjørefelt for selvkjøring med tilhørende infrastruktur for å oppnå dette. De vil starte med en motorvei-korridor i Michigan mellom Detroit og Ann Arbor som tar en time å kjøre. Her kan du lese mer:

https://www.michigan.gov/mdot/0,4616,7-151-9621_101547---,00.html

CCAM, Europa: CCAM Partnership (EU Kommisjonen) og CCAM Association (næringsliv, akademia, samt lokale og nasjonale myndigheter) vedlikeholder en SRIA (Strategic Research and Innovation Agenda) for CCAM (Connected, Cooperative, and Automated Mobility). Avsnittet 7.4 *Cluster 4: Integrating the vehicle in the transport system*, tar blant annet for seg forsknings- og utviklingsbehov for fysisk og digital vei-infrastruktur. Siste versjon ble utgitt 9. desember 2021, og den finner du her:

<https://www.ccam.eu/ccam-strategic-research-and-innovation-agenda-adopted/>

Kapittel 8: Tabell over infrastruktur-løsninger

Her er først en tabell over de funksjonelle vegklassene i NVDB

Funksjonell vegklasser i NVDB	Veger
0	Motorveg, Europaveg
1	Resten av riksvegene med vegnummer < 3 siffer
2	Riksveger med 3 siffer
3	Primære fylkesveger
4	Sekundære fylkesveger
5	Øvrige fylkesveger
6	Kommunale veger
7	Private veger
8	Skogsbilveger
9	Veger det ikke er anbefalt å kjøre på, men mulig å kjøre på.

Her er forslag til en tabell over løsninger som kan tas i bruk for å klargjøre vei-infrastrukturen for selvkjøring i Norge. Løsningene er stort sett tilgjengelige i dag, men noe videreutvikling vil være nødvendig.

● Minimum ○ Anbefalt	NVDB funksjonell vegklasser										Merknader
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	ISAD nivå										
	A	A	B	C	D	D	D	E	E	E	

Trådløsdatakommunikasjon med kjøretøyene											
4G mobilnett	●	●	●	●	●	●	●				Stortinget vedtok i 2021 at alle riksveier skal ha 4G dekning.
5G mobilnett							○				De begynner å bli god dekning i store byområder.
RSU: C-ITS ITS-G5 eller C-V2X PC5	○	○	●	●	●	○	●				Installert på steder med spesielle behov (se RSU under veikantutrustning lenger nede)

● Minimum ○ Anbefalt	NVDB funksjonell vegklasser										Merknader
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	ISAD nivå										
	A	A	B	C	D	D	D	E	E	E	
Offentlig tilgjengelig data (se rapport 5.2)											
NVDB – Skiltplate	●	●	●	●	●	●	●				Her finner man skiltinformasjon
NVDB - Fartsgrense	●	●	●	●	●	●	●				Statiske fartsgrenser
NVDB – Feltstrekning med feltoversikt	●	●	●	●	●	●	●				NVDB mangler nøyaktig plassering av kjørefelt, samt mangler data om midtrabatter og gresstriper, men noe av dette finnes kanskje hos Kartverket.
NVDB - Vegoppmerking	●	●	●	●	●	●	●				Mangelfullt i NVDB per i dag
NVDB - Vegskulder	●	●									Mangelfullt i NVDB per i dag
DATEX – Trafikkmeldinger	●	●	●	●	●	●	●				Mangelfullt utenfor europa- og riksveier.
DATEX – Hastighet for variable fartsgrenser	●	●	●	○	○	○	○				Mangler per i dag. Kan muligens publiseres via DATEX eller C-ITS.
DATEX – Informasjon fra variable meldingsskilt (VMS)	●	●	●	○	○	○	○				Mangler per i dag. Kan muligens publiseres via DATEX eller C-ITS.
DATEX – Status for variable kjørefeltsignal	●	●	●	○	○	○	○				Mangler per i dag. Kan muligens publiseres via DATEX eller C-ITS.
Punktsky & HD kart med veimerking (Kartverkets NDR/PISI)	●	●	○	○	○	○	○				Bør også opprettes for kommunale gater der det ferdes selvkjørende busser
METR	○	○	○	○	○	○	●				Elektroniske trafikkregler under utvikling. Kan muligens publiseres via DATEX eller C-ITS.
UVAR	○	○	○	○	○	○	●				Elektroniske regler for sonekontroll under utvikling. Kan muligens publiseres via DATEX eller C-ITS.
C-ITS meldinger	●	●	●	●	●	●	●				Se avsnitt for C-ITS standard meldinger ovenfor.

● Minimum ○ Anbefalt	NVDB funksjonell vegklasser										Merknader
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	ISAD nivå										
	A	A	B	C	D	D	D	E	E	E	
Posisjoneringsløsninger											
PPP-RTK	●	●	●	●	●	●	●				
RTK			○	○	○	○	○				Bør vurderes i enkelte lyskryss
R-ITS ranging	○	○	○	○	○	○	○				Bør vurderes i enkelte lyskryss og tunneler
RTLS											
Veibane											
Veimerking tilpasset automatisk kjørefunksjonalitet	●	●	●	●	●	●	●				Her er noen anbefalinger: https://erf.be/wp-content/uploads/2019/03/ERF-Recommendations-on-Road-Markings_FINAL.pdf
Egne midlertidige kjørefelt for selvkjørende vogntog på motorvei.	○	○									Dette forslaget dukker ofte opp, spesielt for kjøring om natten.
Veikantutrustning											
AID	○	○	○	○	○	○	○				Kan sende CPM (Collective Perception Message) til kjøretøy
VMS	●	●	○	○	○	○	○				Meldinger bør gjøres tilgjengelig via DATEX eller C-ITS
VSL	●	●	○	○	○	○	○				Fartsgrense bør gjøres tilgjengelig via DATEX eller C-ITS
Kjørefeltsignal	●	●	○	○	○	○	○				Status bør gjøres tilgjengelig via DATEX eller C-ITS
RSU - Lyskryss	○	○	○	○	○	○	●				SPAT og MAP
RSU - Veiarbeid	●	●	○	○	○	○	○				RWW (Road Works Warning) fra veiarbeid-utstyr.
RSU - Trafikkovervåkning	○	○	○	○	○	○	○				Trafikkmåling, reisetidsmåling, kødeteksjon, deteksjon av bil i feil kjøreretning.

Bidragstere

Navn	Ansettelsessted
Magnus Larsson	Statens vegvesen
Nils Audun Karbø	Statens vegvesen
Ingar Skogli	Statens vegvesen
Christian Berg Skjetne	Statens vegvesen
Erlend Aakre	SVV /Nå SINTEF
Ane Dalsnes Storsæter	SVV /Nå Q-Free
Tore Abelvik	Kartverket
Tore-Ole Dahlø	Kartverket
Reidun Kittelsrud	Kartverket
Morten Taraldsten Brunes	Kartverket
Pål Jødahl	JProfessionals
Espen Johnson	TØI, ITS-gruppa
Jenny Simonsen	ITS Norway
Hans Friedberg	Holo
Thomas Sjølland	Viken fylkeskommune
Torun Degnes	SAMS Norway
Olav Madland	Applied Autonomy
Lars Gunnar Lundestad	Ruter
Randi Harnes	Statens vegvesen
Amiri Farzin	Statens vegvesen

Rapporten er utarbeidet av Jan Olav Larssen, Admir Bitanga og Bjørn Elnes fra Aventi, samt Kaare Knudsen og Scott A. F. Sørensen fra CGI, på oppdrag for Statens vegvesen.

Prosjektteamet ønsker å takke alle bidragstere for sine bidrag til rapporten.

Ved henvendelser om eller spørsmål til rapporten, kan Magnus Larsson kontaktes på magnus.larsson@vegvesen.no.