

NY TEKNOLOGI OG VEGUTFORMING

Mulige virkninger av selvkjørende kjøretøy for krav til utforming av nye veger





KUNDE

Vegdirektoratet

KONTAKTPERSON

Camilla Nørbech-Aronsen

Tema

Vegutforming, ITS, autonome kjøretøy

Selskap

Analyse & Strategi AS, Multiconsult AS, Iterio AS,
eSmartSystems

Forfattere

Marte Mariussen
Lars Peder Larsgård
Johannes Raustøl
Anders Jordbakke

Dato

Februar 2018

INNHALDSFORTEGNELSE

Forord	4
Sammendrag	5
1 Innledning	8
2 Noen sentrale begreper	11
3 Avgrensing	14
4 Hva sier litteraturen om autonome kjøretøy og mulig betydning for utforming av vegger?	17
5 Fysiske faktorer som påvirker utforming av nye vegger	22
6 Nye muligheter og krav til utforming av nye vegger	33
6.1 Vegnettets egnethet for autonome kjøretøy	33
6.2 Mulig tilpassing til selvkjørende kjøretøy	37
6.2.1 (2M2+) Flerfelts motorveg	38
6.2.2 (1M1+) 2-feltsveg med fysisk midtdeler og forbikjøringsmulighet	40
6.3 Vegtype (1+1) 2-feltsveger uten midtdeler, adskilt med oppmerking	43
6.3.1 (1+) Andre lokalveger	44
7 Vurdering av virkninger	47
7.1 Framkommelighet og forsinkelser	47
7.2 Nullvisjonen for trafikksikkerhet	48
7.3 Miljøvirkninger av vegtransport	49
7.4 Samfunnsøkonomiske virkninger	50
8 Oppsummering	53
9 Referanser	54



FORORD

Denne utredningen inngår i Statens vegvesens FoU program om Vegutforming - arbeidspakke «Framtidsscenario 2030». Bakgrunnen for oppdraget er at ny ITS teknologi og autonome kjøretøy kan utløse behov for endringer i vegnormalene. Denne rapporten er skrevet av Analyse & Strategi AS, Multiconsult AS, Iterio AS og eSmartSystems AS på oppdrag fra Statens vegvesen Vegdirektoratet.

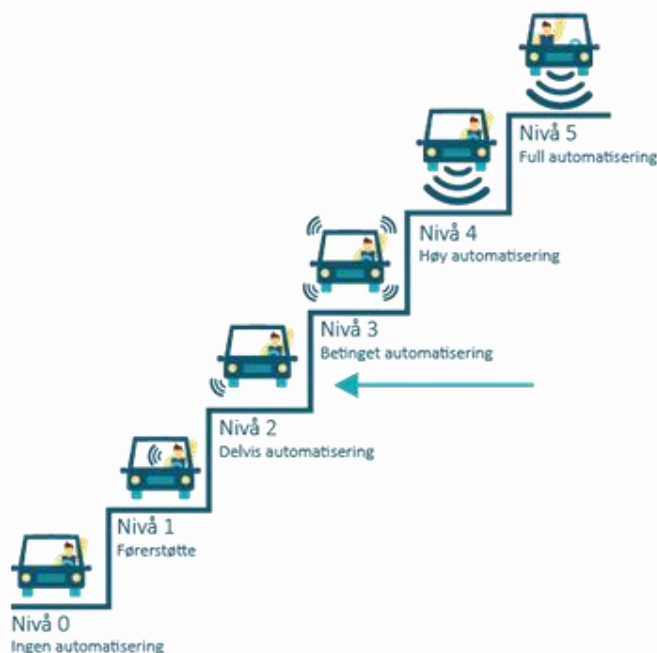
Basert på gjennomgang av relevant litteratur og med utgangspunkt i Statens vegvesens vegnormaler vurderer rapporten hvordan autonome kjøretøy kan påvirke utforming av fremtidens veier. Rapporten diskuterer nye muligheter med innfasing av automatiserte kjøretøy og aktuelle målkonflikter ved utnyttelse av disse.

SAMMENDRAG

Nye ITS-løsninger, selvkjørende biler og integrerte mobilitetssystemer – muliggjort av kunstig intelligens og vår raskt økende evne til å håndtere store datamengder – er teknologi med potensielt samme samfunnsomveltende kraft som den masseproduserte personbilen.

Det er rimelig å anta at utvikling av samvirkende automatisert transport vil stille nye krav til utforming av fremtidig veginfrastruktur. Ny teknologi som tillater at bilene kjører tettere og mer koordinert, vil for eksempel kunne øke kapasiteten i et gitt vektvernsnitt. Videre kan automatiske kjøretøy som kjører sikrere enn menneskelige førere, myke opp kravene til trafikksikkerhetstiltak, linjeføring og siktlinjer. Dette kan bidra til reduserte investeringskostnader og mindre omfattende naturinngrep ved bygging av nye veger.

Det skilles mellom ulike nivåer for automatisering av kjøretøy – fra dagens manuelle biler til fullstendig autonome kjøretøy. Society of Automotive Engineers (SAE) klassifiserer kjøretøy i seks nivåer fra null automatisering (nivå 0) til full automatisering (nivå 5), som vist i Figur 2-1 (SEA_International, 2016)



Fokus i denne utredningen er hvordan bruk av selvkjørende kjøretøy kan påvirke utforming av **nye vegstrekninger**. Det skilles mellom to plansituasjoner:

- Den nye strekningen er bare åpen for fullstendig autonome kjøretøy (SAE nivå 4 og 5)
- Den nye strekningen er åpen for både førerstyrte og selvkjørende kjøretøy

Det er stor usikkerhet rundt utvikling av selvkjørende kjøretøy og hvor raskt de vil tas i bruk. Selv om det er gjort store framskritt innenfor automatisering av kjøretøy de siste årene, er det fremdeles

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

flere teknologiske utfordringer som må løses. I tillegg til utvikling av ny teknologi i kjøretøyene pågår utvikling av informasjons- og kommunikasjonssystemer for å legge til rette for automatisert vegtransport. Blant annet samarbeider bilprodusenter og teknologiselskaper i et nettverk for å utvikle mobilteknologi for å muliggjøre såkalt V2X kommunikasjon som betyr at autonome kjøretøy kan utveksle sanntidsinformasjon med veg, andre kjøretøy og ikke motoriserte trafikanter.

Med utforming av nye veger menes først og fremst fysisk utforming med linjeføring og krav til ulike vegelementer. Utforming av veger kan også omfatte kommunikasjons- eller informasjonssystemer som er nødvendig for at kjøring med autonome kjøretøy skal fungere sikkert og effektivt. Rapporten gjennomgår de parameterne i håndbok V120 (premisser for geometrisk utforming av veger) som det er grunn til å tro kan endres ved innføring av autonome kjøretøy.

Med utgangspunkt i disse dimensjonerende faktorene vurderes muligheter for bygging av enklere og billigere veger. I disse vurderingene skilles det mellom følgende typer veger:

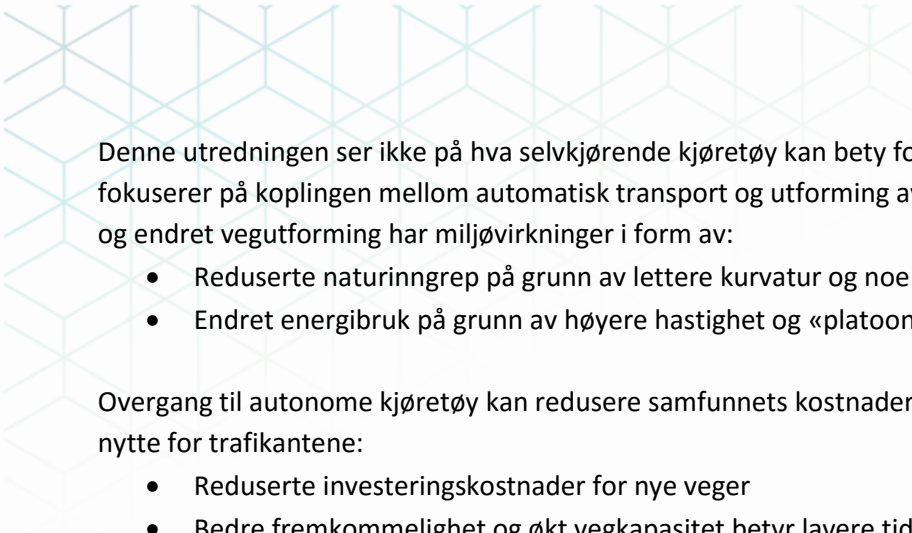
- Flerfelts motorveg
- 2-feltsveg med fysisk midtdeler og forbikjøringsfelt
- 2-feltsveger uten midtdeler, atskilt med oppmerking
- Andre lokalveger og kjørearealer uten oppmerket skille mot møtende trafikk

Innfasing av selvkjørende kjøretøy på det norske vegnettet kan uten økt ressursinnsats bidra til økt måloppnåelse når det gjelder framkommelighet, trafikksikkerhet og miljø. Omvendt kan autonome kjøretøy frigjøre midler til andre formål i transportsektoren eller i andre sektorer uten at dette reduserer framkommelighet og trafikksikkerhet på vegene eller øker miljøskader forårsaket av vegtransport. Autonome kjøretøy vil endre samfunnsøkonomisk lønnsomhet av prosjekter og virkemidler. For eksempel vil nytten av trafikksikkerhetstiltak reduseres med selvkjørende kjøretøy med lavere sannsynlighet for alvorlige ulykker enn dagens førerstyrte biler.

Autonome kjøretøy kan kjøre tettere enn manuelle biler og vil bidra til mer effektiv trafikkavvikling der det er køer og forsinkelser. Veger som planlegges i dag, dimensjoneres ut fra forventet trafikk 20 år frem i tid, og vil sannsynligvis fortsatt være en del av vegsystemet 50 år fram i tid. I dette tidsperspektivet er det grunn til å anta at autonome kjøretøy betyr at en gitt veg kan avvike vesentlig mer trafikk enn med førerstyrte biler. Isolert sett kan dette tilsi at det også bør tenkes nytt for vegstrekninger der det allerede foreligger vedtatte planer. På den annen side kan selvkjørende kjøretøy bidra til mer biltrafikk og økt behov for kapasitet, men dette avhenger av fremtidig bruk av virkemidler.

Menneskelige feil er en viktig årsak til ulykker, og det synes å være bred enighet om at autonome kjøretøy vil bety færre trafikkulykker. Sikrere kjøring med autonome kjøretøy åpner for å redusere kostnader til ulykkesforebyggende tiltak i veginfrastrukturen og i kjøretøyene. Det vil være mulig å bygge veger med smalere kjørefelt og uten eller med enklere midtdelere og rekkverk og lettere kjøretøy uten fordyrende kollisjonssikring - uten at dette betyr redusert trafikksikkerhet. Det er en politisk avveining om redusert risiko (sannsynlighet x konsekvens) skal tas ut som et stort skritt i retning av «nullvisjonen» eller som innsparte kostnader som kan brukes til andre tiltak med antatt større samfunnsnytte.

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming



Denne utredningen ser ikke på hva selvkjørende kjøretøy kan bety for utvikling av biltrafikken, men fokuserer på koplingen mellom automatisk transport og utforming av nye veger. Autonome kjøretøy og endret vegutforming har miljøvirkninger i form av:

- Reduserte naturinngrep på grunn av lettere kurvatur og noe smalere veger
- Endret energibruk på grunn av høyere hastighet og «platooning»

Overgang til autonome kjøretøy kan redusere samfunnets kostnader til veginfrastruktur eller gi økt nytte for trafikantene:

- Reduserte investeringskostnader for nye veger
- Bedre fremkommelighet og økt vegkapasitet betyr lavere tidskostnader for personer og gods
- Økt trafiksikkerhet og lavere ulykkeskostnader

Noen av gevinstene kan høstes uten endring i dagens vegnormaler. Autonome kjøretøy kan gi økt kapasitet i eksisterende vegnett og redusere samfunnets køkostnader. I en overgangsfase kan det imidlertid tenkes at innfasing av selvkjørende kjøretøy i blandet trafikk vil redusere vegkapasiteten.

Med dagens kunnskapsgrunnlag er det vanskelig å trekke klare konklusjoner om fremtidig krav til vegutforming som tilpassing til en situasjon med autonome kjøretøy. Større endringer i utforming av nye vegstrekninger forutsetter at alle kjøretøy er selvkjørende. Det er en utfordring å fastsette vegnormalkrav for et transportmiddel som foreløpig ikke finnes.

1 INNLEDNING

Denne utredningen inngår i Statens vegvesens FoU program om Vegutforming - arbeidspakke «Framtidsscenario 2030». Bakgrunnen for oppdraget er at ny ITS teknologi og autonome kjøretøy kan utløse behov for endringer i vegnormalene. EU har vedtatt en ITS-strategi med et mål om at samvirkende ITS (C-ITS) skal realiseres i nye kjøretøy fra 2019. Samtidig pågår en rivende teknologiutvikling for å automatisere vegtransporter. Norge signerte i mars 2016 Amsterdamerklæringen («Cooperation in the field of connected and automated driving») som forplikter partene til å jobbe mot et europeisk rammeverk for automatiserte kjøretøy og legge til rette for utprøving av selvkjørende kjøretøy.

Rapporten belyser dagens kunnskapsgrunnlag om autonome kjøretøy og vurderer hvordan den nye teknologien kan påvirke utforming av nye veger utenfor byer og tettsteder. Tidsperspektivet for analysen er 2030 – 2050.

Nye ITS-løsninger, selvkjørende biler og integrerte mobilitetssystemer på tvers av transportmidler – muliggjort gjennom kunstig intelligens og vår raskt økende evne til å håndtere store datamengder – er teknologi med potensielt samme samfunnsomveltende kraft som den masseproduserte personbilen. Virkningene vil avhenge av samspill mellom rutegående transport og mer individuelt tilpasset selvkjørende transport og i hvilken grad autonome kjøretøy er personlig eid som dagens biler eller organiseres i kjøretøyflåter og deles.

Det skjer en rask utvikling i førerstøttesystemer i nye kjøretøy. I dag omfatter slike systemer primært teknologi for økt trafiksikkerhet ved manuell kjøring, men både tradisjonelle bilprodusenter og nye teknologiaktører har ambisjoner om å utvikle helt selvkjørende kjøretøy som ikke trenger fører.

Bilprodusenter og teknologiselskaper investerer milliarder dollar i utvikling av fremtidens mobilitetssystemer. Høsten 2017 foretok en av de største norske bilimportørene en navneendring og tok i bruk begrepet «mobility» for å vise markedet at de innstiller seg på nye tider. En av konkurrentene proklamerte i en stor annonse at «Den siste personen som tar lappen er allerede født» og lyste ut nye stillinger for tjenestedesignere og analytikere.

Ny teknologi vil påvirke etterspørsel etter transport, behov for arealer til veger og parkering og konkret utforming av vegene. Denne utredningen handler om den sistnevnte virkningen, det vil si hvordan ny teknologi kan påvirke fysisk (og elektronisk) utforming av vegsystemet.

Planlegging av store vegprosjekter, særlig i byområder, kan ta svært lang tid slik at åpning av vegprosjekter som i dag er i tidlig planfase kan ligge mange år frem i tid. Nye veger skal dessuten dimensjoneres ut fra forventet trafikk 20 år etter åpning. Samfunnsøkonomisk analyse beregner nåverdien av nytte og kostnader i 40 år. I sum betyr det at veger som planlegges i dag bør være funksjonelle i en trafiksituasjon som kan være helt annerledes enn i dag.

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

Det er rimelig å anta at utviklingen av samvirkende automatisert transport vil stille nye krav til utforming av fremtidig veginfrastruktur. Ny teknologi som tillater at bilene kjører tettere og mer koordinert, vil for eksempel kunne øke kapasiteten i et gitt vektvernsnitt. Videre kan automatiske kjøretøy som reagerer mye raskere enn menneskelige førere, myke opp kravene til trafikksikkerhetstiltak, linjeføring og siktlinjer. Dette kan bidra til reduserte investeringskostnader og mindre omfattende naturinngrep.

På den annen side kan det tenkes at autonome kjøretøy kan forutsette strengere krav til utforming av nye veger. I utgangspunktet er det et åpent spørsmål om selvkjørende kjøretøy vil medføre mulighet for å bygge smalere veger eller behov for bredere veger.


Krav til vegutforming omfatter fysisk utforming av selve vegen (kurvatur, siktlinjer, kryssutforming, vegoppmerking, skilting mm) og digital infrastruktur for overvåking og styring av trafikken (ITS). Bruk av ITS-teknologi har allerede bidratt til oppnåelse av målene i Nasjonal transportplan om effektiv, sikker og miljøvennlig transport. I dag handler det mye om sanntidsinformasjon til trafikantene om forhold som påvirker sikkerhet og reisetid: spesielle vær- og føreforhold, planlagte arbeider og hendelser. Dette gir trafikantene mulighet til å gjøre valg som reduserer ulempene.

Sanntidsinformasjon hjelper trafikantene å treffe rasjonelle valg av reisemål, transportmiddel og reisetidspunkt. Et stadig mer komplekst vegnett, blant annet med flere lange tunneler, har sammen med teknologiutvikling ført til økt bruk av ITS i det norske vegsystemet.

Så langt har ITS-løsninger for trafikkstyring og førerstøttesystemer i kjøretøy i mindre grad/ikke påvirket fysisk utforming av vegene. I dag kommuniserer vegene ikke med kjøretøyene, men enkelte biler har førerstøttesystemer som leser vegmerking.

Lov om utprøving av selvkjørende kjøretøy på offentlig veg ble høsten 2017 vedtatt av Stortinget (Prop 152 L (2016-2017) Lov om utprøving av selvkjørende kjøretøy). Et viktig formål med utprøvingsordningen vil være å avdekke i hvilken grad eksisterende infrastruktur er tilstrekkelig for videre innføring av selvkjørende kjøretøy, og hvilket behov det vil være for særlig tilrettelegging av den fysiske og digitale infrastrukturen. Det forutsettes i utgangspunktet at utprøving etter lovforslaget kan gjennomføres ved bruk av eksisterende infrastruktur. Det er imidlertid klart at ulike selvkjørende kjøretøy benytter teknologi som i forskjellig grad er avhengig av den fysiske og digitale infrastrukturen. Resultater fra utprøving av autonome kjøretøy i utlandet er ikke nødvendigvis gyldige for norske veger og værforhold.

I utgangspunktet er det naturlig å forutsette at selvkjørende kjøretøy kan kjøre mer effektivt og sikrere enn manuelle kjøretøy (med førerstøttesystemer) på hele dagens vegnett før de godkjennes for alminnelig bruk. Det er lite realistisk å forutsette omfattende investeringer i digital infrastruktur i hele vegnettet for å supplere den informasjonen det enkelte kjøretøy selv samler inn og prosesserer. Avhengig av teknologien i det enkelte automatiserte kjøretøyet, kan det likevel være behov for ytterligere informasjon fra omgivelsene – såkalt samvirkende ITS – for å forbedre egenskapene til autonome kjøretøy. Samvirkende ITS kan bidra med informasjon om vegen framover og om kjøreforhold og uforutsette hendelser som ikke kan registreres av det enkelte kjøretøy. Denne



informasjonen kan komme fra mobiltelefoner, andre kjøretøy eller fra sanntidsinformasjon i «skyen». Dette stiller strenge krav til rask og kapasitetssterk datakommunikasjon.

Nye ITS løsninger for trafikkstyring og gradvis mer automatiserte kjøretøy gir muligheter for å tilby mer effektiv, sikker og miljøvennlig transport. Samfunnsnyttene av dette er potensielt svært høye, men realisering av gevinstene kan kreve til dels sterk virkemiddelbruk i transportpolitikken. Endringene betyr også økt usikkerhet i transportplanlegging generelt og vegplanlegging spesielt. Hensikten med dette oppdraget er å:

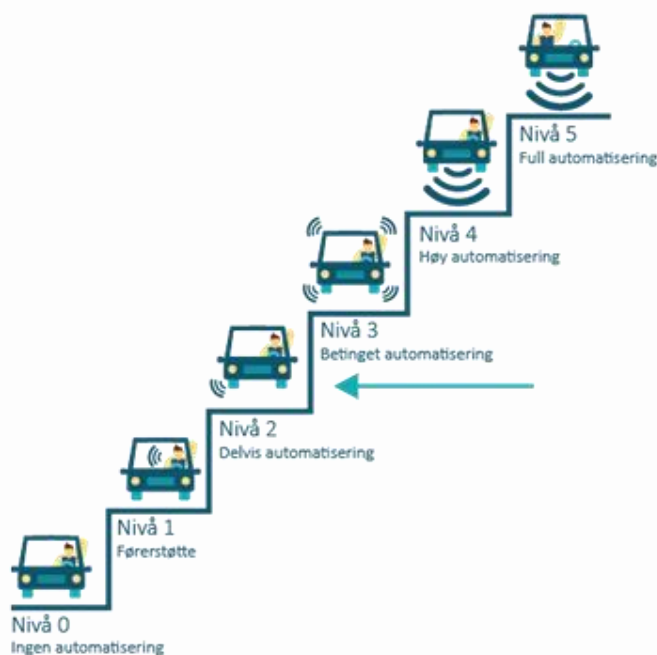
- undersøke status for utvikling av ny teknologi for koordinert, kommuniserende og automatisert transport
- vurdere mulige konsekvenser for utforming av vegnettet
- vurdere virkninger av ny teknologi og endret vegutforming ut fra sentrale politiske mål for transportsektoren

2 NOEN SENTRALE BEGREPER

I denne rapporten brukes i tillegg til «autonome kjøretøy» begrepene «selvkjørende kjøretøy» og «automatiske biler» om kjøretøy som løser føreroppgavene uten samarbeid med en menneskelig fører. Dagens biler der fører løser alle føreroppgaver uten maskinell hjelp, kalles «manuelle kjøretøy» eller «førerstyrte biler/kjøretøy».

Automatiske biler kan gjøres sikrere og mer effektive ved bruk av ulike samvirkende ITS-løsninger (cooperative ITS, såkalt C-ITS, eller cooperative, communicative, automated mobility, CCAM) der det utveksles sanntidsinformasjon mellom kjøretøy eller mellom kjøretøy og veg. Slike ITS-løsninger kan også forbedre trafikksikkerhet og trafikkavvikling i et system med førerstyrte biler.

Det skilles det mellom ulike nivåer for automatisering av kjøretøy – fra dagens manuelle biler til fullstendig autonome kjøretøy. Society of Automotive Engineers (SAE) har den mest brukte definisjonen på de ulike nivåene av automatisering og klassifiserer kjøretøy i seks nivåer fra null automatisering (nivå 0) til full automatisering (nivå 5), som vist i Figur 2-1 (SEA_International, 2016)



Figur 2-1: Nivåer for automatisering av kjøretøy

De ulike SAE-nivåene har følgende innhold:

- **Nivå 0:** Den menneskelige sjåføren utfører alle dynamiske kjøreoppgaver, selv når kjøringen forbedres av systemer som advarer om farer og gir råd om bedre kjøring
- **Nivå 1:** Systemet i kjøretøyet og den menneskelige sjåføren deler på føreroppgavene. Systemet kan styre eller bremse
- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

- **Nivå 2:** I noen situasjoner kan systemet både styre og bremse
- **Nivå 3:** I noen situasjoner utfører systemet alle kjøreoppgavene, men *sjåføren må kunne overta kjøreoppgavene på forespørsel fra systemet*
- **Nivå 4:** I noen situasjoner utfører systemet alle kjøreoppgavene. Hvis *sjåføren ikke responderer tilfredsstillende på forespørsel om å overta kjøringen, stanser systemet reisen på en sikker måte.*
- **Nivå 5:** Under *alle* kjøreforhold der det er mulig for et manuelt styrt kjøretøy å kjøre, utfører systemet alle kjøreoppgaver

I dagens kjøretøypark finnes det biler med teknologi på nivå 2 (delvis automatisering som er markert med pil i figuren over), slik som Tesla med sin cruisekontroll og automatisk styring. Flere bilaktører har ambisjoner om å lansere biler på nivå 3 og 4 i løpet av få år. Google Driverless Car er det mest omtalte «revolusjonære» produktet, og har teknologiske egenskaper som plasserer det i nivå 4 (Hughes, 2017; Frisoni R. D., 2016).

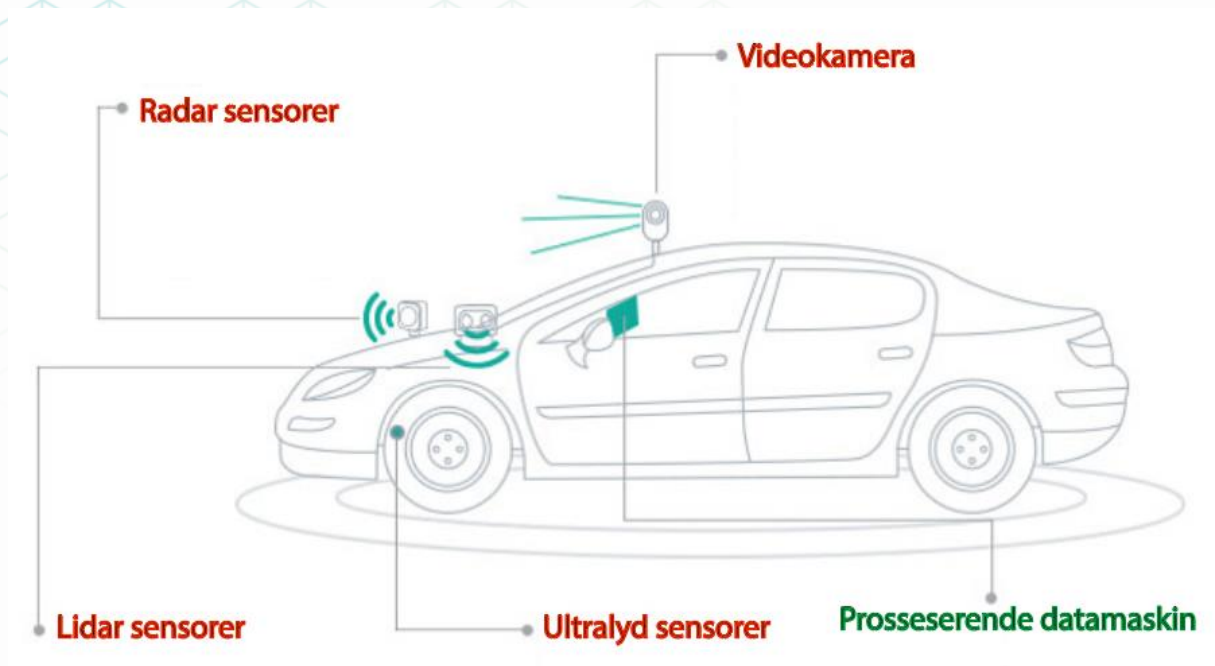
Når føreroppgavene automatiseres, er det avansert teknologi som overtar de funksjonene som før var tildelt den menneskelige sjåføren. Teknologien må erstatte alle sansene som menneskene bruker for å oppfatte kjøresituasjonen, den menneskelige resoneringen rundt det som sanses og menneskets motoriske evner til å fysisk manøvrere kjøretøyet. Den siste funksjonen er den enkleste å automatisere, og er allerede i dag langt på vei løst gjennom avansert førerstøtte.

For at kjøretøyene skal kunne erstatte menneskets sanser brukes ulike teknologier som for eksempel:

- Videokameraer plassert over frontruta gir et bilde av omgivelsene og leser trafikklys og skilt
- Radarer ulike steder rundt bilen gir lavoppløselige data om posisjon for store objekter langt unna
- Ultralyd sensorer i lav høyde rundt bilen for parkering
- Lidar (Light Detection And Ranging) oppdager vegkant og vegoppmerking

Den informasjonen som samles inn av ovennevnte teknologi kan sammen med GPS-informasjon om «kjørbar veg» og landemerker, bestemme et kjøretøys posisjon med få cm presisjon.

For å erstatte menneskets evne til å resonere og handle riktig ut fra den informasjonen som sansene gir, trenger kjøretøyet en datamaskin som kan prosessere informasjon fra den sensoriske teknologien. Prosesseringen må være så god at kjøretøyene klarer å skille mellom ulike objekter og vurdere hva som er farlige og ufarlige situasjoner. Kjøretøyet må kunne skille mellom en plastpose i ve-gen, som den kan kjøre over, og en stor stein, som den må vike unna eller stoppe for.



Figur 2-2: Teknologien som selvkjørende kjøretøy er avhengig av

3 AVGRENSING

Ny teknologi, inklusiv selvkjørende kjøretøy, vil påvirke hele vegtrafikksystemet som i tillegg til kjøretøyene og selve vegen med utstyr består av ITS-systemer for overvåking og styring av vegtrafikken. ITS-systemene omfatter både vegtrafikksentralenes informasjonsformidling og trafikkstyring via radio og variable skilt samt kommersielle «skytjenester». De ulike elementene i vegtrafikksystemet er illustrert i Figur 3-1 nedenfor.

Til tross for at aktørene i bil- og mobilitetsmarkedet satser tungt på utvikling av fullstendig selvkjørende kjøretøy og nye mobilitetstjenester (ofte kalt MaaS – Mobility as a Service) er det stor usikkerhet om tidsperspektivet for overgang til automatisk transport støttet av samvirkende ITS (kommunikasjon mellom kjøretøy og veg (V2I) eller mellom de enkelte kjøretøyene (V2V)). Blant annet av den grunn er det vanskelig å vurdere tidsforløp for utvikling i andel autonome kjøretøy i perioden 2030 – 2050 som er tidsperspektivet for Vegdirektoratets utlysning av dette oppdraget.

Fokus i utredningen er hvordan ulike forutsetninger om bruk av selvkjørende kjøretøy vil påvirke utforming av **nye vegstrekninger**. Det skilles mellom to planforutsetninger:

- Den nye strekningen er bare åpen for fullstendig autonome kjøretøy (SAE nivå 4 og 5)
- Den nye strekningen er åpen for både førerstyrte og selvkjørende kjøretøy

I litteraturen er de fleste enige om at autonome kjøretøy vil utgjøre en betydelig del av mobilitetssystemet i fremtiden, men det er uenighet om hvor langt frem i tid dette er. Vi ser derfor også på muligheter for å bygge nye strekninger for førerstyrte biler på en måte som gir nye muligheter for framtidig tilpassing til innfasing av selvkjørende kjøretøy sammenlignet med gjeldende vegnormaler. Videre vurderes muligheter for endret utnyttning av dagens vegnett for å høste gevinster av autonome kjøretøy.

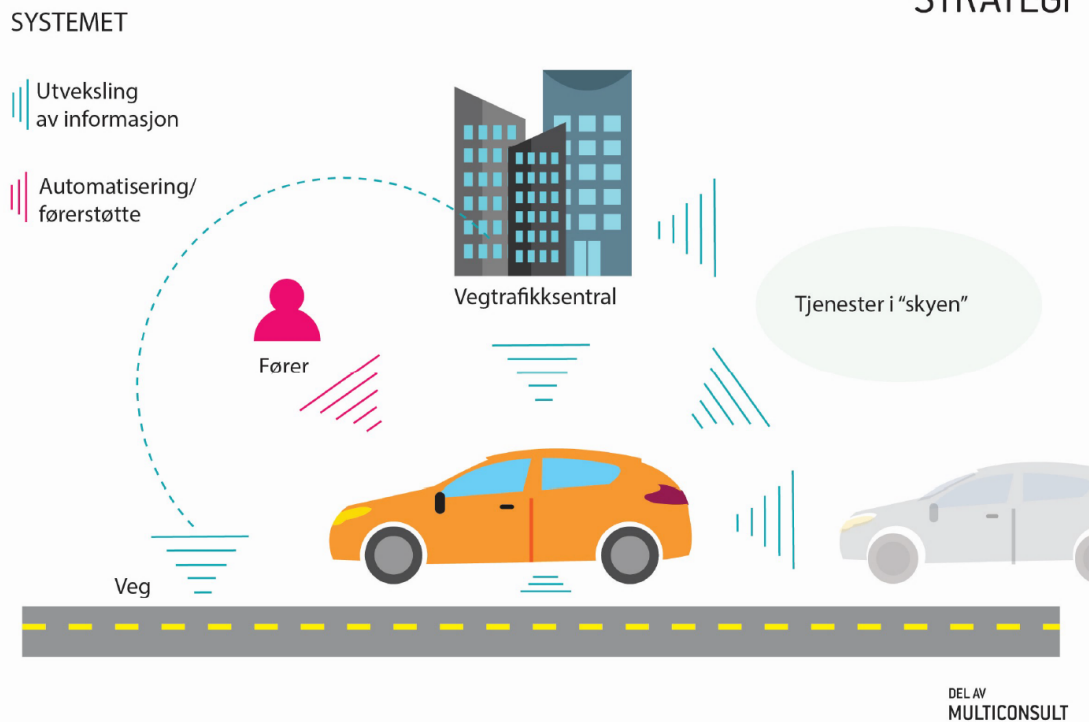
Utredningen belyser verken scenarier for tilpassing av hele vegnettet eller **når** det vil være fornuftig å planlegge nye vegstrekninger med andre forutsetninger enn de som ligger til grunn for dagens normaler. Dette spørsmålet krever en mer overordnet strategi for utvikling av hele vegnettet. Analysene i denne rapporten ser bare på hvordan nye strekninger kan/bør utformes med ulike forutsetninger om blanding av autonome og tradisjonelle kjøretøy på nye vegstrekninger.

Utgangspunkt for vurdering av krav til nye **strekninger** er følgelig ikke tidfestede forutsetninger om andel autonome kjøretøy.

Et fremtidig system for automatisk vegtransport med autonome kjøretøy kan bestå av mange elementer, jf Figur 3-1. Fokus i dette oppdraget er hvordan utforming av nye vegstrekninger (både veg-geometri og digitalt utstyr i og ved vegen) kan påvirkes av:

- teknologiske løsninger om bord i autonome kjøretøy (SAEs nivå 4 og 5)
- kommunikasjon mellom kjøretøy og infrastruktur (V2I)
- kommunikasjon mellom kjøretøy (V2V)

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming



Figur 3-1 Ulike komponenter i et fremtidig system for automatisk vegtransport.

Allerede i dag kan førere av tradisjonelle biler nyttiggjøre seg nettjenester med informasjon om tilstanden i vegnettet for å velge effektive ruter og være forberedt på eventuelle avvik fra normalsituasjonen (for eksempel vegarbeid og større hendelser). Autonome kjøretøy vil ha minst like gode muligheter for å innhente og utnytte slik informasjon, men dette holdes i denne utredningen utenfor begrepet kommunikasjon V2I og V2V. Med V2I og V2V menes i denne utredningen utveksling av sanntidsinformasjon om lokale variasjoner i tilstand på vegen underveis på reisen. Kommunikasjon mellom kjøretøy og veg kan inkludere utstyr i eller langs vegen som hjelper kjøretøyene med riktig posisjonering i vegbanen.

Normalt kontrolleres risikonivå for tekniske systemer ved å formulere risikoakseptkriterier, som er et krav til hvor ofte en bestemt sikkerhetsfunksjon aksepteres å feile. Hvis selvkjørende kjøretøy skal møte samme sikkerhetskrav som de som settes til andre automatiserte sikkerhetskritiske systemer, som for eksempel togtrafikk, vil det kreves mindre enn én feil per 100 millioner driftstimer. Dette gjelder både kjøretøyenes egne styringssystemer, og andre systemer kjøretøyene er avhengige av, f.eks. for posisjonering og kommunikasjon.

Én utfordring er at dokumentasjon av sikkerhet i kunstig intelligens i all hovedsak vil måtte baseres på testing, og testing alene kan kun dokumentere relativt begrensede sikkerhetsnivåer. Det finnes forskning på måter å bruke kunstig intelligens i kritiske systemer, men så vidt vi kan vurdere gir de ikke grunnlag for å bruke kunstig intelligens som basis for sikkerhetskritiske funksjoner på nåværende

tidspunkt. Hvis systemene utvikles som «konvensjonelle» systemer uten bruk av kunstig intelligens vil utfordringen med å møte dokumentasjonskravene være mindre, men potensielt kostbar.

Vi har ikke grunnlag for å vurdere hva som vil være nivå for risikoakseptkriterier for selvkjørende kjøretøy. Utredningen vurderer ikke mulige dokumentasjonskrav for sikkerhet i systemer basert på kunstig intelligens.

For å undersøke hva autonome kjøretøy kombinert med samvirkende ITS kan bety for utforming av nye veger starter vi med en gjennomgang av et utvalg av litteratur fra litteratursøk på nettet. Med utgangspunkt i Statens vegvesens håndbøker om premisser for veggeometri går vi i kapittel 5 gjennom faktorer som påvirker krav til vegutforming. I neste kapittel vurderes om egenskaper ved selvkjørende kjøretøy kan gi mulighet for å endre kravene ved bygging av nye veger. Her er det viktig å skille mellom ulike vegtyper. I denne forbindelse legger vi til grunn to ulike planforutsetninger om andel selvkjørende kjøretøy på ny vegstrekning.

Avslutningsvis diskuteres i kapittel 7 mulige virkninger av de skisserte endringene. I mange tilfeller må mulig gevinst på ett område veies mot ulemper på andre områder. For eksempel vil redusert risiko for ulykker påvirke forhold mellom nytte og kostnader for trafiksikkerhetstiltak.

4 HVA SIER LITTERATUREN OM AUTONOME KJØRETØY OG MULIG BETYDNING FOR UTFORMING AV VEGER?

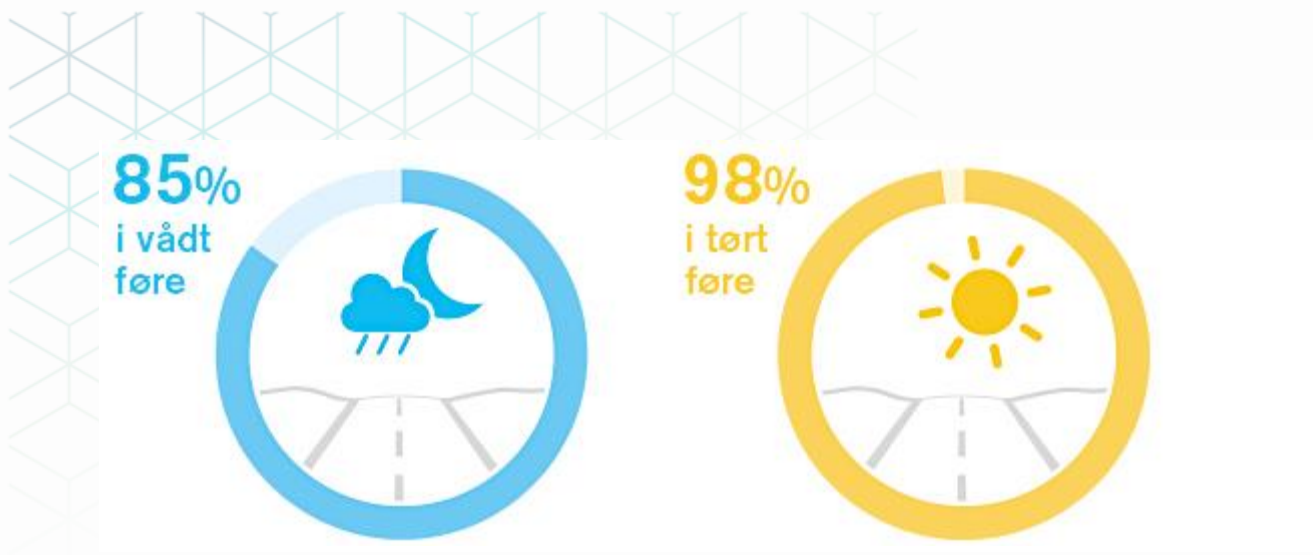
Det er stor usikkerhet om utvikling av nødvendig teknologi

Det er stor usikkerhet rundt utvikling av selvkjørende kjøretøy og hvor raskt de vil tas i bruk. Bazilinskyy, Kyriakidis og Winter (2017) oppsummerer anslagene for introduksjon av nivå 5-kjøretøy i ulike kilder fra 2017 til 2075 (Bazilinskyy, Kyriakidis, & Winter, Researchgate, 2017). Andre antar at kjøretøy med delvis automatisering (nivå 2-4) vil være på markedet i løpet av 5-20 år, og at fullstendig autonome biler først kan bli en realitet på lang sikt (>20 år) (Frisoni R. D., 2016)

Noen ser for seg at selvkjørende teknologi først vil bli tatt i bruk i tunge godsbiler fordi høye sjåførkostnader i transportbransjen vil kunne forsvare merkostnadene for ny teknologi. Dessuten fornyes kjøretøyparken av tunge kjøretøy hurtigere enn personbiler (Vejdirektoratet, 2017).

Selv om det er gjort store framskritt innenfor automatisering av kjøretøy de siste årene, er det fremdeles flere teknologiske utfordringer som må løses (Farah H. , Erkens, Alkim, & van Arem, 2018). I dag er det en utfordring at lidar-teknologien som kan gi svært presis posisjonering, er for dyr for å brukes i masseproduksjon av kjøretøy. Presis prosessering av informasjon er en stor utfordring for selvkjørende kjøretøy. I denne forbindelse vil utvikling av kunstig intelligens ved maskinlæring være sentralt.

Mange legger til grunn at autonome kjøretøy skal kjøre sikrere enn manuelle biler på dagens vegnett uten annen informasjon enn den som samles inn av kjøretøyets egne kameraer og sensorer. I denne forbindelse er vegoppmerking viktig for at selvkjørende kjøretøy skal finne riktig posisjon på vegen. Vejdirektoratet i Danmark har testet hvordan et utvalg av de mest avanserte automatiserte kjøretøyene leste oppmerking på en 250 kilometer lang motorvegstrekning (Vejdirektoratet, 2017). Testen viste at bilene i dagslys og tørt vær kunne lese 98 prosent av vegoppmerkingen, og at dette i mørke og regnvær ble redusert til 85 prosent. Andelen av vegoppmerkingen som var lesbar varierte fra 69 – 92 prosent for de ulike bilene.



Figur 4-1 Automatiske kjøretøys evne til å lese vegoppmerking ved ulike forhold. Kilde: Vejdirektoratet

Enkelte bilprodusenter har ambisjoner om å utvikle nivå 3 biler (betinget automatisering) i nær fremtid, mens andre som for eksempel Volvo og Ford vil hoppe over dette nivået for automatisering (Robotics Law Journal, 2017) (Davies, 2017). BMW, Mercedes-Benz, Audi, Nissan og Honda utvikler nivå 3 kjøretøy med forutsetning om at fører skal overta kjøring i løpet av 10 – 30 sekunder. Volvo mener at en menneskelig fører trenger to minutters forvarsel for å kunne overta kjøringen på en trygg måte, og bruker dette som argument for at de ikke vil utvikle nivå 3 biler.

I tillegg til utvikling av ny teknologi i kjøretøyene pågår utvikling av informasjons- og kommunikasjonssystemer for å legge til rette for automatisert vegtransport. Blant annet samarbeider bilprodusenter og teknologiselskaper i et nettverk for å utvikle mobilteknologi for å muliggjøre såkalt V2X kommunikasjon som betyr at autonome kjøretøy kan utveksle sanntidsinformasjon med veg, andre kjøretøy og ikke motoriserte trafikanter (5G Automotive Association, u.d.).

Vegtrafikksystemet omfatter allerede i dag systemer, som for eksempel radiomeldinger og «skytjenester», som informerer bilfører om rutevalg, vegarbeid og større hendelser. Et system med autonome kjøretøy kan øke behovet for og nytten av effektive informasjonssystemer som kontinuerlig leverer sanntidsinformasjon til kjøretøyene (Eltoweissy, Olariu, & Younis, 2010) Det er grunn til å stille spørsmål om mobilnettet kan bli så sikkert og raskt at det kan håndtere sikkerhetskritisk informasjon om situasjoner som krever umiddelbar handling for å unngå ulykker.

Med autonome kjøretøy kan det være mulig å bygge smalere og billigere veger

Mange kilder er opptatt av at selvkjørende kjøretøy med sikrere posisjonering i kjørebanelen kan gi mulighet for å bygge smalere veger (Hayeri, 2016). Smalere veger kan redusere investeringskostnader og naturinngrep. Det må gjøres egne vurderinger for mulighet og konsekvenser av å redusere bredden for ulike elementer i vegens tverrsnitt: kjørefelt, midtdeler og vegskulder.

Litteraturen peker også på faktorer som taler mot redusert vegbredde. Én begrensning ligger i fremkommeligheten for ambulanse og andre utrykningskjøretøy. Selv om disse kjøretøyene også er selvkjørende og kan kjøre sikkert i smalere felt, må det fortsatt sikres nok plass til at det er mulig å komme frem når ulykker inntreffer (Farah H. , Erkens, Alkim, & van Arem, 2018).

Smalere kjørefelt vil konsentrere vegslitasjen om et smalere spor enn med dagens relativt brede felt som sprer slitasjen, særlig fra tunge kjøretøy, over et større areal. Smalere kjørefelt kan derfor bety økte kostnader til vedlikehold. På den annen side kan det tenkes at autonome kjøretøy kan redusere vedlikeholdsbehovet for kjørefelt med dagens bredde ved at de programmeres slik at de kjører der det er minst slitasje (Farah H. , Erkens, Alkim, & van Arem, 2018).

Med 100 prosent selvkjørende vegtrafikk kan det tenkes at investeringskostnadene i vegnettet kan reduseres fordi autonome kjøretøy er mindre avhengig av skilt enn mennesker. Samtidig vil en situasjon der kommunikasjonen med infrastrukturen og GPS-systemene i kjøretøyene svikter få katastrofale konsekvenser. Et mulig sikkerhetstiltak kan derfor være å beholde skilting for nødssituasjoner (Vejdirektoratet, 2017; Farah H. , Erkens, Alkim, & van Arem, 2018).

Selvkjørende kjøretøy vil redusere sannsynlighet for trafikkulykker

Behov for midtdeler og midtrekkverk må vurderes ut fra risiko for ulykker. Det er konsensus i litteraturen om at selvkjørende kjøretøy vil føre til færre ulykker i trafikken. Ifølge U.S. Department of Transportation (2008) skyldes mer enn 90 % av alle trafikkulykker menneskelige feil, som uoppmerksomhet og påvirkning av rusmidler. Dette er ulykker som blir borte med selvkjørende kjøretøy. En stor usikkerhet ligger i at nye typer risiko som programmeringsfeil, kommunikasjonssvikt, og hacking kan føre til ulykker med selvkjørende kjøretøy. Konsekvensen og hyppigheten av disse risikoelementene er vanskelig å forutsi (Litman, 2017)

Maskiner kan også ha feil, og Vejdirektoratet i Danmark vurderer derfor om det er behov for å bygge flere havarilommer som kan benyttes hvis det blir problemer med de selvkjørende kjøretøyene. Vejdirektoratet er også klar på at så lenge det er blandet trafikk med selvkjørende kjøretøy og manuelle biler er det viktig å beholde elementer som er viktige for manuelle kjøretøy, som skilting, vegmerking og sikkerhetselementer (Vejdirektoratet, 2016).

Sikkerheten i trafikken påvirkes også av hvordan kjøretøyene er utformet. Med redusert sannsynlighet for ulykker er det mulig at bilprodusenter vil kunne selge lettere kjøretøyer, med mindre kollisjonssikring som vil øke konsekvensene av en trafikkulykke (Litman, 2017).

Sikkerheten i vegtrafikken påvirkes også av hvordan kjøretøyene er utformet for å redusere konsekvensene av ulykker. Kollisjonssikring øker kostnader og vekt. Økt vekt betyr større energiforbruk som er uønsket av miljøhensyn. Hvis risiko for trafikkulykker blir drastisk redusert, vil dette påvirke nytte/kostnad for kollisjonssikring. Sammenholdt med miljøhensyn og ut fra en samfunnsøkonomisk betraktning kan dette bety at det er fornuftig å produsere lettere kjøretøyer med mindre kollisjonssikring.

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

Det er få som tror at sannsynligheten for ulykker vil bli lik null selv om selvkjørende kjøretøy har tatt over hele markedet. I de tilfellene der ulykker skjer vil det da få større konsekvenser jo lettere kjøretøyene er. Det er også mulig å tenke seg at kjøretøyene blir tyngre, fordi det blir etterspørsel etter kjøretøyer til pendlere med seng eller skrivebord og kontorutstyr inne i kjøretøyet (Litman, 2017).

Autonome kjøretøy kan øke vegkapasiteten

Mye av litteraturen trekker frem kapasitetsgevinster i et vegsystem med selvkjørende kjøretøy. Det har blitt gjort flere simuleringer med forskjellige forutsetninger og forskjellige utfall, som vist i Tabell 4-1. En simulering fra motorveg i USA, viste at 100 prosent selvkjørende kjøretøy omtrent ville doble kapasiteten. Simuleringen forutsatte at kjøretøyene kjørte i «tropp», men spesifiserte ikke forutsetning om kjøretøyteknologi (Simko, 2016). En annen studie av autonom kjøring i tropp, fokuserte på forskjellen mellom å bruke sensorer i kjøretøyene og at kjøretøyene kommuniserte med hverandre. Når sensorer i kjøretøyene ble brukt til å kjøre i tropp, ble kapasitetsøkningen beregnet til ca. 40 prosent, mens kapasitetsøkningen ble beregnet til ca. 270 prosent når kjøretøyene kommuniserte med hverandre (Diakaki, et al., 2014). Tientrakool et al. (2011) viste at delvis automatiserte kjøretøy med automatisk bremsing og utstyrt med sensorer som registrerer farten til kjøretøyet foran kan øke kapasiteten på motorveg med 40 prosent.

Litteraturen peker først og fremst på kapasitetsgevinster som kan hentes ut når selvkjørende kjøretøy er eneste kjøretøytype på vegene, eller når selvkjørende kjøretøy kjører i egne felt. Kapasitetseffektene ved mindre andel enn 100 prosent selvkjørende kjøretøy er usikker, fordi det er vanskeligere å estimere eller simulere hvordan en menneskelig fører vil oppføre seg når det er selvkjørende kjøretøy på vegen. Effekten antas å være dårligere dersom selvkjørende og manuelle biler deler vegen (Pinjari & Augustin, 2014). Tientrakool et al. (2011) indikerer at 50 prosent selvkjørende biler kan øke kapasiteten på motorveger med 80 prosent.

En studie utført ved University of Illinois (UIUC College of Engineering) antyder at fem prosent selvkjørende kjøretøy i trafikken sammen med vanlige kjøretøy kan øke kapasiteten og bedre trafikkavviklingen. De selvkjørende kjøretøyene fungerte som fartsholdere (Arbogast, 2017). I dagens trafikk blir kapasiteten påvirket av at førere ikke klarer å kjøre smidig, og trafikken går i rykk og napp med «start og stopp» pulser. Kilden oppgir at drivstoffbruken gikk ned med 40 prosent noe som kan tyde på at kapasitetsøkningen var betydelig.

Mye av dagens køproblemer skyldes trafikkulykker, og køproblemene kan dermed ventes å bli mindre når trafikkulykker blir færre med selvkjørende biler.

Tabell 4-1: Kapasitetsgevinster i vegsystem med selvkjørende kjøretøy

Andel autonome kjøretøy	Kommunikasjon mellom de autonome kjøretøyene	SAE nivåer	Kapasitets-økning	Kilde
100 %	Ikke spesifisert	4/5	+ ca 100 %	Simko (2016)
100 %	«V2V communication»	4/5	+ 273 %	Diakaki et al. (2014)
100 %	Sensorer i kjøretøyene, ikke direkte kommunikasjon	4/5	+ 43 %	Diakaki et al. (2014)
100 %	Sensorer i kjøretøyene, ikke direkte kommunikasjon	2	+ 40 %	Tientrakool et al. (2011)
50 %	«V2V communication»	3	+ 80 %	Tientrakool et al. (2011)
5 %	Fullt selvkjørende, ikke spesifisert nærmere	4/5	Økning (drivstofforbruk sank med 40 %)	UIUC College of Engineering (2017)

5 FYSISKE FAKTORER SOM PÅVIRKER UTFORMING AV NYE VEGER

Med utforming av nye veger menes først og fremst fysisk utforming med linjeføring og krav til ulike vegelementer. Utforming av veger kan også omfatte kommunikasjons- eller informasjonssystemer som er nødvendig for at kjøring med autonome kjøretøy skal fungere sikkert og effektivt.

Vegdirektoratets Håndbok V120 Premisser for geometrisk utforming av veger beskriver ulike faktorer som ligger til grunn for geometriske og fysiske krav til utforming av veger (Vegdirektoratet, 2014). Disse premissene danner sammen med krav til trafiksikkerhet, kapasitet og økonomi grunnlag for ulike dimensjoneringsklasser og krav til vegutforming i Håndbok N100 «Veg- og gateutforming» (Vegdirektoratet, 2014). Vegnormalene N100 har vært under kontinuerlig utvikling, og det foreligger et høringsutkast til nye vegnormaler (Statens Vegvesen, 2016).

I dette kapitlet omtales de parameterne i håndbok V120 som det er grunn til å tro kan endres ved innføring av autonome kjøretøy. Ved utforming av nye veger må det blant annet tas hensyn til naturkrefter som er viktige for trafiksikkerhet. Det er de samme naturlovene som påvirker autonome og førerstyrte kjøretøy. Automatisering av bilene endrer derfor ikke behovet for å forholde seg til for eksempel friksjon og akselerasjons- og retardasjonskrefter.

Kjøretøyenes størrelse

Med kjøretøy menes her alle registrerte kjøretøy som kan benyttes på veger åpne for allmenn ferdsel. Dette gjelder lette kjøretøy som personbiler, varebiler, minibusser og tyngre kjøretøy som busser, lastebiler og vogntog. Moped, motorsykler, traktorer etc. omhandles ikke her siden disse kjøretøyene i langt mindre grad er bestemmende for vegutforming. Om kjøretøyene benytter bensin, diesel, elektriske batterier eller andre energibærere er heller ikke avgjørende i denne sammenheng.

Kjøretøys lengde, bredde og høyde (herunder førers sitte-/øyehøyde) er viktige størrelser for prosjektering av nye veger. Naturlig nok er det de største kjøretøyene som virker dimensjonerende for vegbredder og horisontalkurvatur og utforming av kryss. Når det gjelder krav til siktlinjer, er disse primært fastsatt ut fra øyehøyde for fører i personbil. Typiske mål for personbil og tunge kjøretøy er vist i tabellen under. Personbiler kan både være større og mindre enn oppgitte størrelser, mens det for tunge kjøretøy er oppgitt maksimalverdier for bredde, lengde og høyde.

Tabell 5-1: Dimensjonerende mål personbil og tunge kjøretøy

Biltype	Bredde	Lengde	Høyde	Øyehøyde
Personbil	2m	5m	2m	1,2 m
Tunge kjøretøy	2,55 (+speil)	20m	4,5m	>1,2 m

Vogntogene blir stadig større, spesielt utenlandske kjøretøy kan være større (og tyngre) enn det som tillates i Norge i dag. Personbilenes størrelse er mer trend-avhengige, og Norge har en relativt høy andel store og tunge personlige kjøretøy (eksempel SUVer). Det er ikke grunn til å tro at selve automatiseringen bidrar til endring av kjøretøystørrelser, bortsett fra marginalt smalere kjøretøy fordi autonome kjøretøy ikke trenger speil.

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

Kjøretøyenes størrelse og eventuelt endringer av disse vil begrense mulighet for å bygge smalere veger tilpasset selvkjørende kjøretøy som har mer presis plassering i vegbanen enn førerstyrte biler.

Kjørefeltbredde/vegbredde

Kjørefelt- og vegbredde er i utgangspunktet bestemt av største, tillatte bredde for vogntog og andre store kjøretøy. Førerens evne til å holde kjøretøyet innenfor kjørefeltbredden og til dels kjøretøyets egenskaper, samt kjøretøyets hastighet, er faktorer som avgjør behovet for kjørefeltbredde.

På motorveger og veger med tillatt hastighet over 80 km/t er det krav om 3,5 m kjørefeltbredde, med unntak for 2-feltsveg med midtdeler ved forbikjøringsfelter med kjørefeltbredde 3,25 m og 90 km/t. Dette gjelder selv om kjøretøyet i seg selv er vesentlig smalere, spesielt lette kjøretøy. De største kjøretøyene, særlig semitrailere og modulvogntog, og til dels busser krever i tillegg breddeutvidelse pga. sporing og overheng i skarpe kurver. Feltbredden utvides normalt når kurveradius er mindre enn 500 meter (R500), og behovet for utvidelse øker kraftig med redusert kurveradius.

Autonome kjøretøy vil ha bedre evne til å holde nøyaktig posisjon i kjørebanelen og kan derfor kjøre sikkert i smalere kjørefelt, også ved høy hastighet. Smalere kjørefelt (3,0 m) kan bety at det kan bygges noe smalere og billigere på strekninger som bare skal trafikkeres av autonome kjøretøy eller strekninger med ett felt reservert for autonome kjøretøy. Det kan dessuten være mulig å utnytte tverrsnitt på eksisterende veger til flere felt ved kun autonome kjøretøy. Autonome kjøretøy vil imidlertid ikke fjerne behovet for ekstra breddeutvidelse i kurver, da dette dimensjoneres av størrelsen på de store kjøretøyene.

Øyehøyde, stoppsikt og siktlinjer

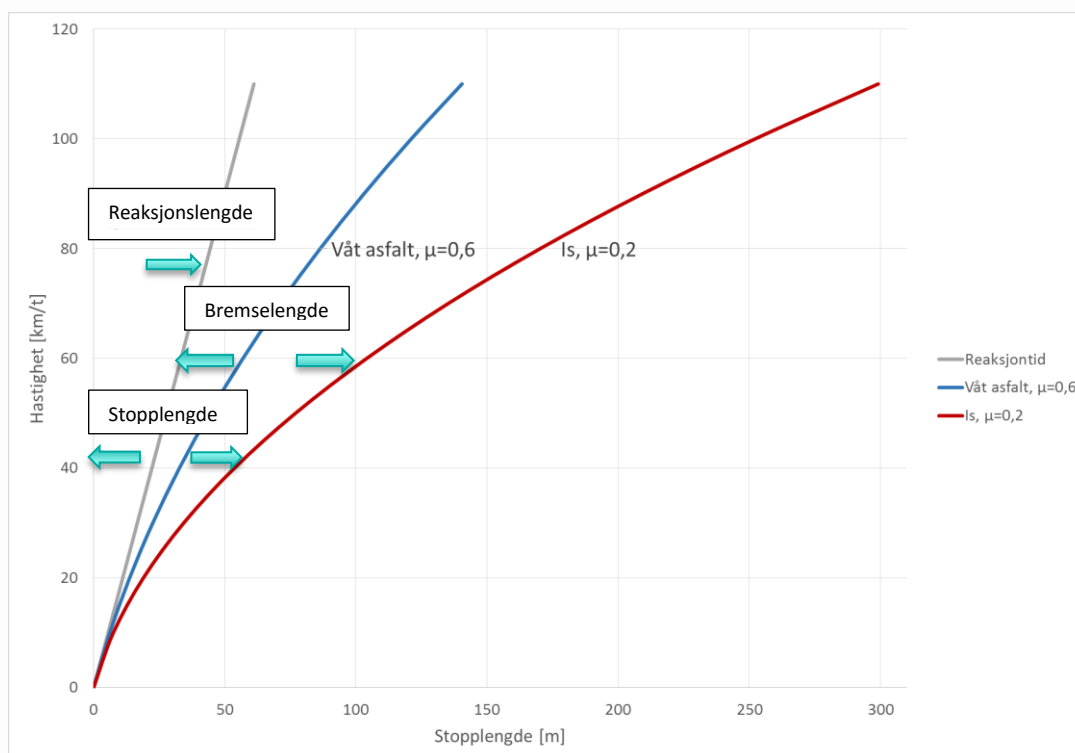
Øyehøyde er definert som en førers øyehøyde over kjørebanelen og er viktig for å bestemme siktlinjer og krav til vertikalkurvatur. I dag brukes 1,1 m øyehøyde sammen med hastighet som grunnlag for minstekrav til vertikalkurvatur (utforming av bakketopper). For autonome kjøretøy kan kameraer og annet sensorbasert utstyr plasseres høyere for å gi lengre sikt over bakketopper.

Siktlinjer over bakketopper og gjennom svinger sammenholdt med stopplengder er viktig for alle typer veger. På 2-felts-veger uten midtdeler og egne forbikjøringsfelter for å slippe fram raskere kjøretøy, vil også *forbikjøringssiktlengde* være en dimensjonerende faktor. Forbikjøringsikt er nødvendig for å kunne foreta en forbikjøring på en trygg måte ved å benytte motgående kjørefelt. På 1-feltsveger må det dessuten tas hensyn til *møtesikt*, slik at motgående biler kan passere hverandre på et sted med ekstra bredde (møteplass el.l.).

Stopplengden er summen av reaksjonslengde og bremselengde. Reaksjonslengde er kjørelengde fra man oppdager et annet kjøretøy, en gående eller syklende eller en farlig gjenstand til man begynner å bremse (og tiden dette tar er reaksjonstiden) og bremselengde er lengden fra oppbremsing startet til kjøretøyet står stille under gitte friksjonsforhold.

Dimensjonerende reaksjonstid for et menneske i en uventet stoppsituasjon er i Håndbok V120 satt til to sekunder. De fleste reagerer raskere. Reaksjonstiden påvirkes av kompleksiteten i situasjonen som oppstår. I autonome kjøretøy vil reaksjonen bli bestemt av et dataprogram, og det er prosesseringstiden til dataprogrammet som vil bestemme reaksjonstiden til kjøretøyet. Slike dataprogrammer er allerede i dag overlegne mennesker når det gjelder å prosessere informasjon og ta raske beslutninger. Med rapportens perspektiv frem mot 2050 er det behov for å anta noe om langsiktig utvikling av maskiners prosesseringsevne. Basert på kunnskap om maskiners prosesseringsevne i dag og de siste års nærmest eksponentielle utvikling i maskinlæring, er det grunnlag for å forvente at reaksjonstid for autonome kjøretøy kan bli ned mot null. Dermed reduseres stopplengden med nesten hele reaksjonslengden slik at krav til siktlinjer kan reduseres for strekninger som bare er åpne for selvkjørende kjøretøy. Muligens vil

Bremselengden øker eksponentielt med økende hastighet. Reaksjonslengde og bremselengde ved ulike hastighet og føreforhold er vist i Figur 5-1. For autonome kjøretøy reduseres stopplengden tilsvarende i takt med reduksjonen i reaksjonstid.



Figur 5-1 Reaksjons- og bremselengde med to sekunders reaksjonstid (for førerstyrte biler) og ulike friksjonsforhold

Krav til stoppsikt ved hastighet 110 km/t er 230 – 260 meter. Under ugunstige snø- og isforhold kan stopplengden være betydelig lengre selv med de beste vinterdekk.

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

Både autonome og førerstyrte kjøretøy er avhengig av friksjonen mellom bilhjul og vegdekke, og det forventes ikke noen snarlig revolusjonerende framskritt på dette området. Det viktigste bidraget til bedre veggrep er kanskje bedre og smartere vegvedlikehold som blant annet kan baseres på informasjon fra kjøretøyene som er på veggen.

Det er grunn til å tro at kommunikasjonsteknologi, enten mellom kjøretøy eller mellom veg og kjøretøy, vil gjøre det mulig å oppdage objekter og hendelser «rundt neste sving» uten at man har visuell sikt. Dette vil ikke være avhengig av at kjøretøyene er selvkjørende.

Hastighet

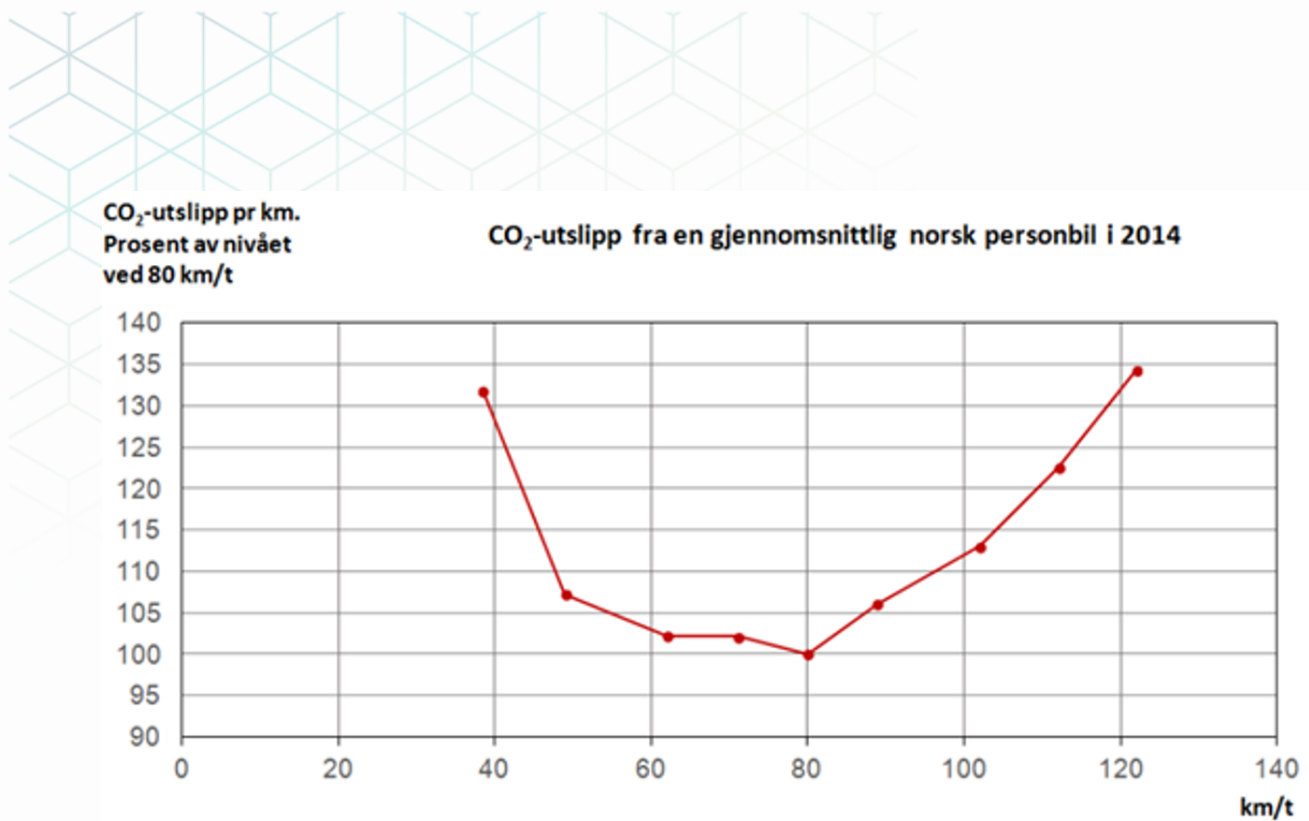
I situasjoner med normalt veggrep bør autonome kjøretøy kunne kjøre sikkert i større hastigheter på grunn av sikrere observasjon av veg og trafikk og kortere reaksjonstid, eventuelt supplert med kommunikasjon med andre kjøretøy og med veg infrastrukturen. Sikt lengder, horisontalkurvatur og aktuell friksjon og forholdene rundt veggen avgjør hva som er sikker hastighet. Bygging av ny veg skal utføres slik at skiltet hastighet skal gi sikker kjøring under normale friksjonsforhold (våt vegbane), men fartsgrensen er ikke sikker hastighet uansett værforhold (snø og is, tåke, storm, store vannmengder etc.). For eksisterende veger som ikke tilfredsstiller kravene i N100, er ikke den generelle fartsgrensen nødvendigvis sikker selv under normale friksjonsforhold.

I tettbebygde strøk settes ofte hastigheten ned pga. økt sannsynlighet for at farlige situasjoner kan oppstå i kryss og avkjørsler og økt antall hendelser langs veggen. Ved blandet trafikk settes hastigheten ytterligere ned av sikkerhetsmessige grunner.

Autonome kjøretøy vil ikke ha problemer med å registrere hva som er tillatt hastighet og forholde seg til den. Autonome kjøretøy vil også kunne lese kurvaturen på veggen fra et GPS-kart og kontinuerlig tilpasse farten (forutsatt at veggen har riktig overhøyde/dosering i kurvene). Videre er det sannsynlig at selvkjørende kjøretøy kan bedømme friksjonsforholdene like godt som mennesker, og ta lavere risiko på slikt føre.

Det er mulig at autonome kjøretøy vil kjøre saktere enn mennesker på et dårlig vegnett, mens de har potensial for å kjøre noe fortere på et godt vegnett med få konflikter. Høyere hastighet kan bety noe dårligere kjørekomfort, større slitasje både på veg og kjøretøy, større sjanse for at noe går galt og ikke minst øke konsekvensene av ulykker.

Riktig fart bør i tillegg til trafiksikkerhet og komfort ta hensyn til energiforbruk og miljømål. Energiforbruket øker med høyere hastighet og dette skyldes i stor grad luftmotstand som øker eksponentielt med hastigheten. Økt luftmotstand betyr i praksis enda mer for elektriske kjøretøy som har en høy virkningsgrad på motoren.



Figur 5-2 Sammenheng mellom hastighet og CO₂-utslipp personbil 2014. Kilde: TØI Tiltakskatalogen

Høyere hastighet vil bety nytte i form av redusert reisetid for trafikantene, men samtidig også større konsekvens ved trafikkuhell. Det synes ikke riktig å forutsette betydelig økt hastighet ved dimensjonering av nye vegger.

Vegkapasitet

Mulighet for å kjøre tettere og tillate høyere hastighet kan medføre gevinst når det gjelder kapasitet og framkommelighet. Dette må veies mot hensyn til trafiksikkerhet. Det er gjort ulike estimering av dette i litteraturen, jfr. kapittel 4.

Gevinsten regnet som økt teoretisk kapasitet avhenger i tillegg til kjøretøyteknologi av hvilke forutsetninger som legges til grunn for eksisterende trafikk: kjøreatferd, tidsluker, kjøring gjennom kryss og ved feltveksling.

Forsøk utført av NTNU (Arvid Aakre m.fl.) illustrerer hvordan ulik kjøreatferd (forsiktig/rask/aggressiv) kan gi betydelige utslag i hvor mye trafikk som kan avvikles, både på vegstrekninger og i kryss. Dette gjelder tidsluker mellom kjøretøy på strekninger og oppstart og følgetid i kryss. Forsøkene viser at instruksjon og opplæring av sjåførere kan gi betydelige kapasitetsgevinster. Dette stiller krav til hvordan bilførerne følger med på trafikken rundt seg mens man samtidig skal ivareta trafiksikkerheten.

Forsøk og simuleringer som er beskrevet i litteraturgjennomgangen i kapittel 4, gjelder i hovedsak kjøring på vegstrekninger med kjøring i platoons/tropp der en rekke selvkjørende kjøretøy kjører nesten som et tog. Samhandlende kjøretøy med liten fysisk avstand og høy hastighet avvikler flere

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

kjøretøy enn tradisjonell trafikk med normale tidsluker og sikkerhetsavstand. På fri vegstrekning kan slik kjøring bli mer effektiv enn dagens trafikk:

- Jevnere fart, færre saktekjørende biler i trafikkstrømmen
- Høyere hastighet, eventuelt høyere fartsgrense
- Kortere avstand mellom bilene
- Færre trafikkulykker
- Når kjøretøyene er «sammenkoblet» i tropp vil bremsing og akselerasjon skje koordinert uten «trekkspilleffekt», som både reduserer flyten og gir trafikkulykker

Det kan ikke utelukkes at ny teknologi gjør det mulig å bygge ned 4-felts veger til 2-felts veg. Dette kan være mulig, men det er normalt lite å oppnå. Under norske forhold vil man pga. store høydeforskjeller mange steder ha store hastighetsforskjeller på grunn av motorkraft og ulike fartsgrenser for ulike kjøretøy. Dette gjelder også for autonome kjøretøy.

Etter vår vurdering er det for tidlig å endre vegnormalene når det gjelder sammenheng mellom kapasitet og forventet trafikkmengde. Det mangler erfaringsbaserte tall for å vurdere eventuell endring i krav til kapasitet på strekninger og utforming av tilstøtende kryss.

Resultater for endring av kapasitet i kryss i et vegsystem med selvkjørende biler spriker i materialet som finnes. Det rapporteres om problemer i rundkjøringer, men gevinster i signalregulerte kryss og forkjørsregulerte kryss. På flerfelts veger kan det være et samspill mellom selvkjørende kjøretøy og førerstyrte kjøretøy som kan være komplisert ved flettestrekninger, start og slutt for kollektivfelt samt av- og påkjøringsfelt. Effekten av raskere oppstart, lavere sikkerhetstider, kortere følgetid, og bedre utnyttelse av tidsluker i signalregulerte kryss og forkjørsregulerte kryss synes å være positiv.

Med høy andel autonome kjøretøy er det mulig at man over tid i større grad velger forkjørsregulering eller signalregulering for kryss utenfor tettbygd strøk. En mulighet vil også være å utvikle nye retningslinjer for hvordan kjørefelt som kollektivfelt, eventuelle felt reservert for selvkjørende kjøretøy, samt av- og påkjøringsfelt skal dimensjoneres, startes og avsluttes.

Utfordringene som nevnt vil kunne bli løst etter hvert, forhåpentlig ved at industrien utvikler nødvendige standarder. I kryss kan det være spesielt behov for endring i vegnormalenes krav til vegutstyr i form av kommunikasjons- og sikkerhetsutstyr for den nye kjøretøyparken.

Momentene nevnt foran kan utløse behov for endringer av krysstyper og feltløsninger på eksisterende vegnett, men dette er usikkert.

For å illustrere mulige effekter når det gjelder vegkapasitet (og fremkommelighet) er det i Aimsun gjennomført en mikrosimulering av en strekning på 480 meter i tre situasjoner: trafikkavvikling med bare autonome kjøretøy, 50/50 autonome og førerstyrte kjøretøy og trafikkavvikling med kun førerstyrte kjøretøy.

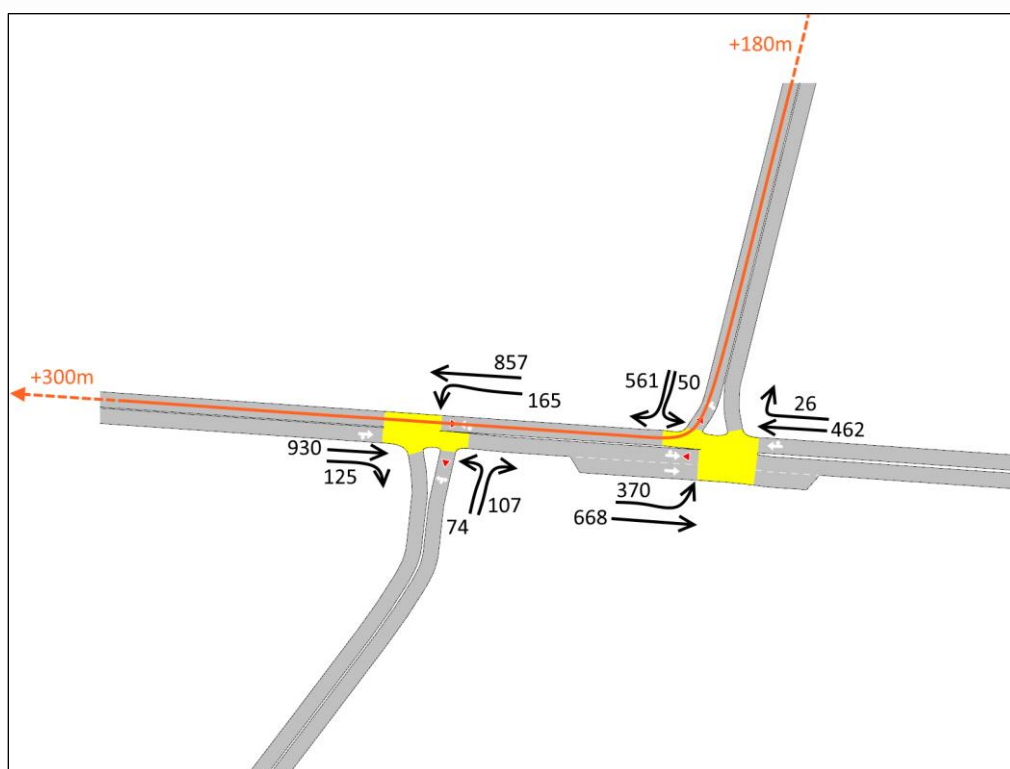
Som tilnærming til et atferdsmønster for autonome kjøretøy er én sentral parameter endret – reaksjonstid, som er satt til 0,1 sekund som et eksempel i en beregning. Kortere *reaksjonstid* betyr at

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

bilene kan kjøre med mindre avstand til bilen foran, noe som vil ha betydning for kapasiteten på vegene. Det er delte meninger om hvor kort reaksjonstid autonome kjøretøy kan oppnå. Det er mulig forutsetningen om reaksjonstid på 0,1 sekunder er for optimistisk.

Reaksjonstid vurderes som den tryggeste parameteren å justere for å simulere blandet trafikk. Andre endringer, som f.eks. justering av avstand til bilen foran og lukeaksept i kryss, er ikke inkludert. Dette blant annet fordi det er knyttet for stor usikkerhet til hvordan autonome kjøretøy vil programmeres hvis de skal kjøres i blandet trafikk.

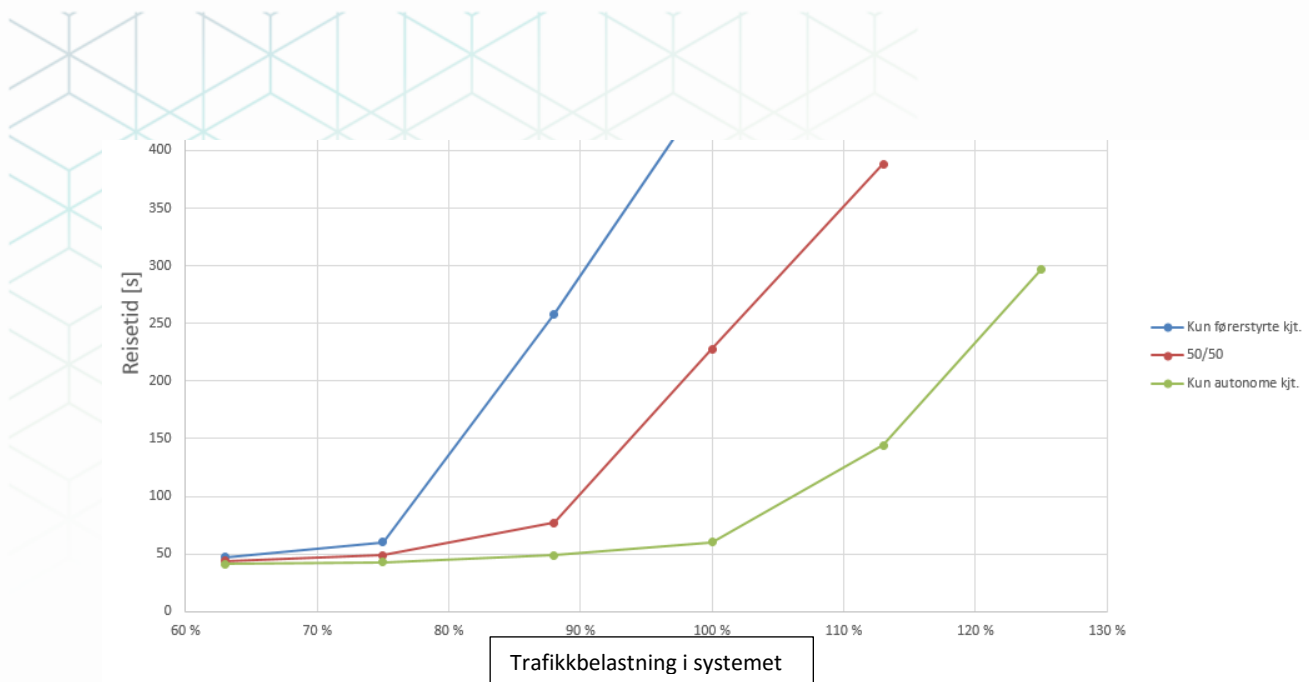
Figur 5-3 viser utgangspunktet med trafikkbelastning på strekningen som er benyttet for gjennomsnittsberegning (av flere simuleringer) av reisetid.



Figur 5-3 Utgangspunktet - trafikkbelastning [kjt/time] og reiserute for gjennomsnittsberegning.

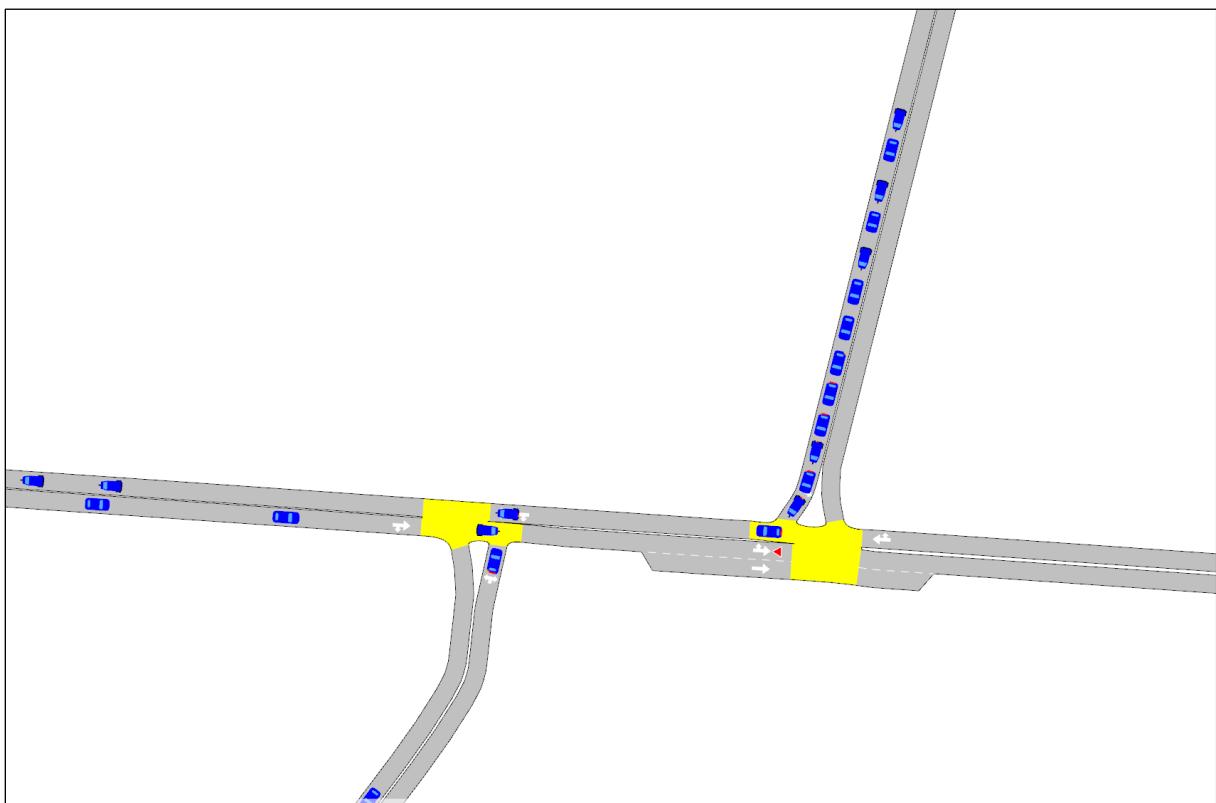
Kilde: Multiconsult, simulering i Aimsun

I Figur 5-4 er det vist hvordan andelen av autonome kjøretøy sammen med trafikkbelastning med forutsetningene i simuleringen påvirker reisetiden på den aktuelle strekningen. Settes reaksjonstiden for autonome kjøretøy høyere, blir kapasitetsøkningen også lavere. Men redusert reaksjonstid bidrar uansett til bedre avvikling. På den annen side vil man heller ikke oppnå ubegrenset kapasitet med autonome kjøretøy selv med reaksjonstid ned mot null.



Figur 5-4 Kapasitet illustrert som reisetid for ulik andel autonome kjøretøy. Kilde: Multiconsult, simulering i Aimsun

Figur 5-5 illustrerer tilbakeblokkering fra krysset i simulering av en situasjon med 50 prosent autonome kjøretøy.



Figur 5-5 Bilde av kø i situasjon 50 prosent autonome og 50 prosent førerstyrte i en situasjon med ca. 90 prosent trafikkbelastning. Kilde: Multiconsult, simulering i Aimsun

Middeler og rekkverk

Midtrekkverk har til hensikt å forhindre møteulykker. Utbygging av veger med midtrekkverk og ombygging av eksisterende veger til veg med midtrekkverk har vist seg å gi meget positive resultater på ulykkesstatistikken, spesielt de mest alvorlige ulykkene.

Rekkverk langs vegen har til hensikt å unngå de farligste konsekvenser ved utforkjøringer, eksempelvis på bruer, i tunnelmunninger og i bratte skråninger. I tillegg utformes sideterenget for å redusere behov for ekstra siderekkverk.

Autonome kjøretøy gjør ikke menneskelige feil, men må forholde seg til de samme naturkrefter og vær- og føreforhold som førerstyrte biler. Muligens vil autonome kjøretøy være mer pålitelige enn dagens biler, men det vil fortsatt kunne skje tekniske feil under kjøring. Flere komponenter og flere avanserte innretninger i biler vil i seg selv tilsa økt risiko for at noe kan gå galt. Samtidig vil konsekvensene av tekniske feil bli mer alvorlige da teknikken blir gitt større ansvar.

Rekkverk har en viktig sikkerhetsfunksjon ved å forhindre møteulykker og utkjøringer. Nullvisjonen tilsier at det må foreligge dokumentasjon og praktisk utprøving før man eventuelt fjerner et så effektivt trafikksikkerhetstiltak som rekkverk representerer. Dette betyr at det fortsatt bør være rekkverk, også på strekninger som er reservert for autonome kjøretøy, men at det kan være et potensial på lengre sikt for å redusere bruken av midtrekkverk og siderekkverk hvis erfaring med autonome kjøretøy viser at dette er forenlig med nullvisjonen.

Vegoppmerking og skilt

I dag kreves omfattende skilting for å gi bilførere informasjon om gjeldende regler og annen informasjon for sikker kjøring. Digitale (variable) skilt har det de senere årene gjort det mulig å formidle mer dynamisk informasjon, for eksempel om midlertidig miljøfartsgrense og om omkjøringer ved store kødannelser eller ulykker.

Med mer intelligente kjøretøy vil denne informasjonen kunne kommuniseres direkte til kjøretøyet uten fysiske skilt. På bakgrunn av informasjonen kan fører eller kjøretøyet selv foreta hensiktsmessige valg, avhengig av teknologi. Autonome kjøretøy vil ikke bryte fartsgrenser, og dette vil bety lavere risiko for ulykker.

Bilprodusentene deltar i et kappløp for å utvikle autonome kjøretøy. Det er rimelig å legge til grunn at i hvert fall første generasjon automatiske kjøretøy må «klare seg selv» i eksisterende vegnett og blant annet kunne lese vegoppmerking og skilt. Per i dag gis denne informasjonen i liten grad digitalt. Parallelt med digitalisering av informasjon som i dag gis ved oppmerking og skilt, vil det i en overgangsperiode være behov for fysisk skilting for biler uten teknologi som leser skiltinformasjon digitalt.

Nye løsninger uten eller med mindre oppmerking og skilting enn i dag kan i første omgang iverksettes på veger som er forbeholdt autonome kjøretøy. Mange peker dessuten på at det kan være behov for en eller annen form for fysisk oppmerking og skilting som reserveløsning hvis den digitale kommunikasjonen ikke fungerer.

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

Det er foreløpig usikkert om autonome kjøretøy vil kunne stole nok på digitale vegkart alene ut fra et forhåndsbestemt reisemål i situasjoner hvor vegoppmerking er vanskelig å lese. For å kjøre kun etter vegkart/GPS eller tilsvarende vil det kreves meget høy nøyaktighet og pålitelighet for å holde kjøretøyet riktig plassert på vegen. GPS, slik vi kjenner det i dag, vil først og fremst være et hjelpemiddel for ruteplanlegging og navigering, ikke finposisjonering.

Det kan tenkes at informasjonsgivere (for eksempel RFID-brikker) kan bygges inn i kjørebanelen eller installeres som vegkantutstyr og gi informasjon om plassering for finposisjonering. Slike givere benyttes i dag der autonome kjøretøy opptrer på lukkede områder (f.eks. i fabrikker), eller der det er faste ruter som gjentas ofte (f.eks. bussruter). Et slikt system vil trolig ikke være hensiktsmessig på landeveg.

Kameraer og sensorer blir stadig bedre til å analysere omgivelser, trafikkforhold og hendelser og plassere kjøretøyet riktig. Eksempelvis kan autonome kjøretøy oppfatte kantsteinshøyder, rekkverk eller andre fysiske markører som vil være til hjelp for riktig plassering i kjørebanelen. Ved videre utvikling kan slike hjelpemidler bidra til bedre plassering av kjøretøyet.

Autonome kjøretøy må også kunne takle situasjoner hvor oppmerking ikke er godt nok synlig (ved snø og is) eller der oppmerking ikke er tilstede overhodet (smal veg hvor kjøretøy må samarbeide i en møtesituasjon med små marginer). Slikt føre vil kunne hindre bilens teknologi å lese vegen og det er usikkert hvordan førerløse biler vil takle en slik situasjon.

Med tanke på usikkerheten knyttet til autonome kjøretøyers evne til å lese vegbanen og fin-navigere er det usikkert når man kan tenke seg å redusere vegoppmerking som et hjelpemiddel for finposisjonering av kjøretøyet.

Vegbelysning

Det er i dag vanlig med vegbelysning langs nye veger, og dette gjelder generelt for veger med stor trafikk. Et av argumentene for vegbelysning er at det reduserer antall ulykker i mørke og bidrar til økt trygghetsfølelse (TØI, 2014). I kryssområder, rundkjøringer og kryssingssteder for fotgjengere og syklistene er det krav om vegbelysning, unntatt for de minste kryssene med liten trafikk.

Allerede i dag er det kameraer og sensorer som gir bedre visuell dekning i dårlig lys enn det menneskelige øye. Selv om LED-lys har redusert energibruk radikalt, er det klart at en med autonome kjøretøy kan redusere intensitet både for gatelys og lys på kjøretøy. Det vil fortsatt være behov for noe belysning for å bli sett og for å gi signaler.

Det må antas at det på veger forbeholdt autonome kjøretøy vil være mindre behov for vegbelysning. Dette skyldes at bilene bruker andre instrumenter til å lese vegen, og det må kunne forutsettes at selvkjørende kjøretøy skal kunne kjøre sikkert uten vegbelysning.

Tunneler/bruer

I dag er det behov for kostbar økning av tverrsnittet for å få nok sikt i kurver både på bruer og i tunneler. Dette gjelder spesielt ved fartsgrense over 90 km/t, og siktlengdene øker eksponentielt med økt hastighet.

Kostbare tverrsnittøkninger i tunneler og breddeøkninger på bruer bør kunne reduseres ved kommunikasjon som setter fører eller kjøretøy i stand til å «se rundt svingen», jf. tekst under Øyehøyde, stoppsiktlengde og siktlinjer foran.

Kryss

Aktuelle krysstyper på landeveg er:

- planskilte kryss med ramper og akselerasjons- og retardasjonsfelter
- rundkjøringer
- signalregulerte kryss
- T-kryss i plan
- også noen X-kryss.

God kommunikasjon mellom autonome kjøretøy (V2V) kan åpne for enklere kryssløsninger enn i dag og likevel oppnå god trafikkavvikling og høy trafikksikkerhet.

Det er gjerne i kryssene at avviklingsproblemer og trafikkulykker oppstår. Autonome kjøretøy vil kunne håndtere feltskifte og av- og påkjøring via akselerasjons- og retardasjonsfelt relativt greit under gode forhold. Snø- og is i vegbanen vil kunne være begrensninger her.

I områder med mye trafikk kan rundkjøringer og kryss være en utfordring for autonome kjøretøy. I slike tilfeller kan signalregulering være en løsning. Tilpasning av kryss på sekundærvegene kan være aktuelt. Tiltak på spesielle steder (tunneler, bruer og kryss) med TS-støtte er aktuelt.

Myke trafikanter og autonome kjøretøy krever samarbeid eller strengere regulering enn i dag. Det kan bli nødvendig med økt separering av trafikantgrupper for å sikre trafikkflyt i områder med mye biltrafikk. På lavtrafikkerte steder vil autonome kjøretøy måtte manøvrere på de myke trafikantenes premisser.

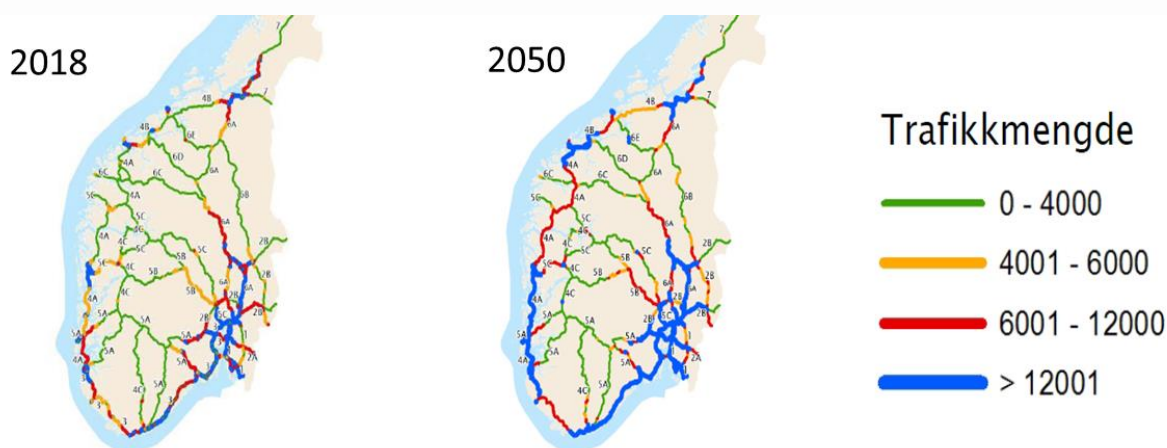
6 NYE MULIGHETER OG KRAV TIL UTFORMING AV NYE VEGER

6.1 VEGNETTETS EGNETHET FOR AUTONOME KJØRETØY

Ved vurdering av ny teknologi og vegutforming må vi forholde oss bevisst til store variasjoner i vegnettet, fra smale og lavt trafikkerte atkomstveger til store flerfeltsveger med høy årstdøgns trafikk (ÅDT) og god teknisk standard. Variasjonene henger sammen med bosettingen med store spredtbygde områder og tettere befolkningskonsentrasjoner i og rundt de større byene.

Mesteparten av vegnettet er 2-feltsveger med ÅDT under 4 000. Bare i byområdene og mellom byene på Østlandet er det flerfeltveger med ÅDT over 12 000.

I Riksvegutredningen 2015 har Statens vegvesen anslått at det kreves investeringer i størrelsesorden 1000 milliarder kroner for at hele riksvegnettet skal få standard i samsvar med vegnormalene (Statens vegvesen, 2015). Fylkesvegnettet er flere ganger større enn riksvegnettet, men riksvegene betjener mest trafikk.



Figur 6-1 Trafikkbelastning på riksveger i Sør-Norge i 2018 og beregnet i 2050. Kilde: Riksvegutredninger 2015. Statens vegvesen

Videre spiller klimaet en rolle i et land med snø og is som gir svært varierende friksjonsforhold og synlighet av f.eks. vegoppmerking. Det er krevende å tilby en tilfredsstillende vegoverflate til enhver tid, spesielt på høyfjellsovergangene.

Det bygges i dag mange store 4-feltsveger på det overordnede vegnettet, og det pågår omfattende utbedring av vegnettet, blant annet med bygging av 2-feltsveger med fysisk midtdeler og forsterket midtoppmerking. Denne opprustingen av vegnettet er både tidkrevende og kostbar, og det vil ta mange år før gjeldende standardkrav vil bli oppfylt. Nye veger skal utformes for å tilfredsstille trafikkvolumet som forventes 20 år fram i tid.

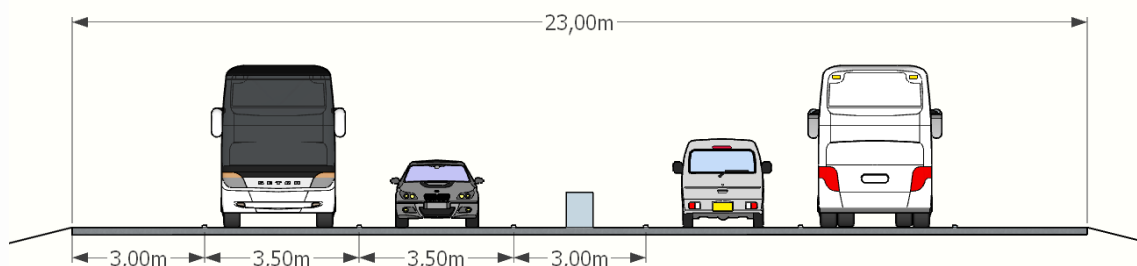
De spesielle forholdene i Norge kan bety at overgang til autonome kjøretøy vil skje saktere enn i mer tempererte strøk med mer ensartet og god vegstandard og høyere gjennomsnittlig trafikk per km veg. Omvendt kan man si at når teknologien er kommet så langt at autonome kjøretøy fungerer under norske forhold, vil den også fungere de fleste andre steder.

Aktuelle vegtyper

I rapporten brukes følgende inndeling av norske landeveger for vurdering av hvordan nye veger kan tilpasses til autonome kjøretøy. Utgangspunktet er Håndbok N100 slik den ligger i dag, men med hensyn til foreslåtte endringer. Inndelingen er tilpasset de spesielle forhold som gjør seg gjeldende for autonome kjøretøy og er derfor ikke i samsvar med N100:

- Vegtyper:
- (2M2+) Flerfelts motorveg
 - (1M1+) 2-feltsveg med fysisk midtdeler og forbikjøringsfelt
 - (1+1) 2-feltsveger uten midtdeler, atskilt med oppmerking
 - (1+) Andre lokalveger og kjørearealer uten oppmerket skille mot møtende trafikk

(2M2+) Flerfelts motorveg. Denne vegtypen er nærmest universell og finnes i litt ulike varianter i de fleste land. Variasjonene i ulike land omhandler i første rekke tillatt hastighet og utforming av midtdeler som skiller kjøreretninger. Midtdelene kan enten være smal med rekkverk (nyere norske regler) eller veldig brede midtdelere uten rekkverk. Skulderbreddene kan også variere noe. Dette er en vegtype som betraktes som sikkerhetsmessig meget god og har stor kapasitet. Det forventes at denne vegtypen vil være vanlig også i fremtiden.

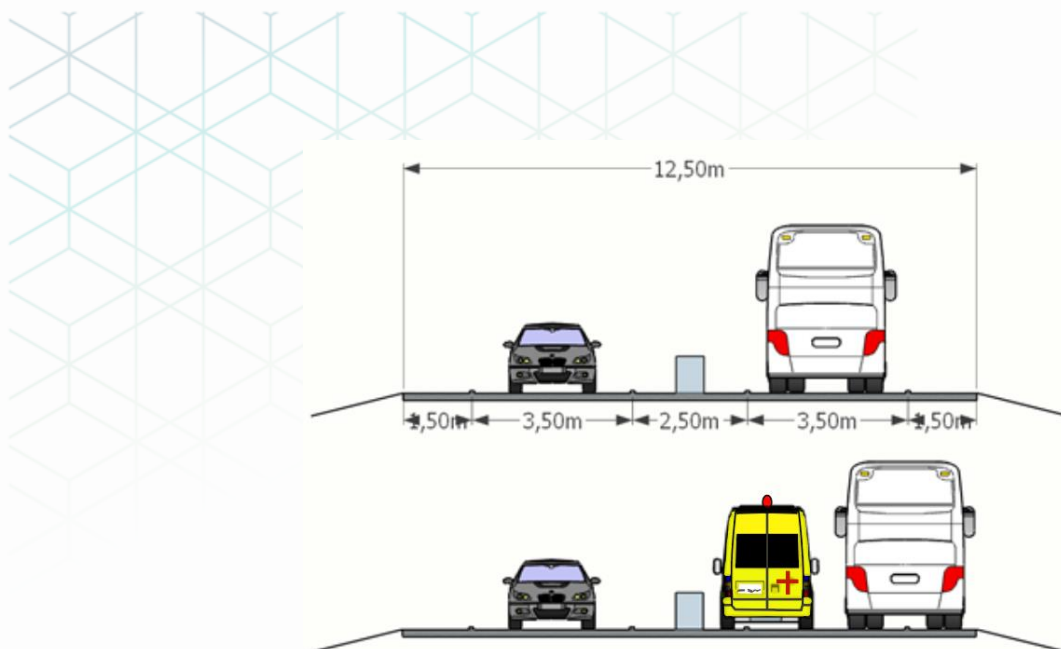


Figur 6-2 Vegtype 2M2+

(1M1+) 2-feltsveg med fysisk midtdeler og forbikjøringsfelt. Dette er en litt spesiell variant som benyttes stadig mer i Norge og delvis i Sverige. Den hindrer de store og alvorlige møteulykkene i høye hastigheter på relativt høyt trafikkerte 2-feltsveger ved at motgående kjørefelt er fysisk adskilt.

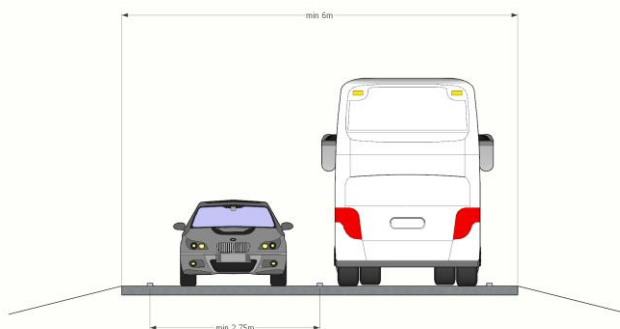
I 12,5 m bredde er det mulig for et utrykningskjøretøy å passere et annet kjøretøy forsiktig og det er mulig å passere havarett som har stoppet på skulderen.

Ved forbikjøringsfelt utvides vegarealet med 2,5 m og det er to kjørefelt på 3,25 m.



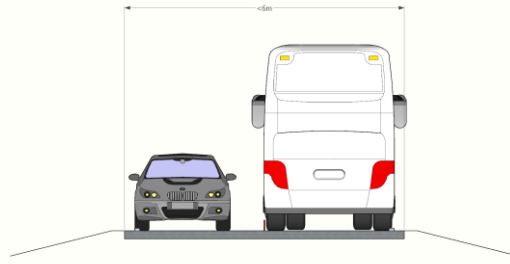
Figur 6-3 Vegtype 1M1+

(1+1) 2-feltsveger uten midtdeler, atskilt med oppmerking. Dette er den vanlige 2-feltsvegen som finnes i hele verden med to separate kjørefelt med midtoppmerking. Her kan motgående kjørefelt benyttes til forbikjøring på strekninger med tilstrekkelig sikt og når det ikke er i konflikt med møtende kjøretøy.



Figur 6-4 Vegtype 1+1

(1+) Andre lokalveger og kjørearealer uten oppmerket skille mot møtende trafikk. Denne vegtypen omfatter alle kjørearealer der kjøretøy ikke har et eget kjørefelt, men må tilpasse seg møtende trafikk uten å ha midtoppmerking å forholde seg til.



Figur 6-5 Vegtype 1+

1+ veg kan ha grusdekke eller asfalt. På grusveger vil ikke autonome kjøretøy ha oppmerking som støtte for riktig posisjonering.

De tre første vegtypene har oppmerking og definerte kjørefelt, noe som tilrettelegger for bruk av autonome kjøretøy. Mange kilder mener at autonome kjøretøy bør ha egne kjørefelt for å kunne kjøre sikkert og effektivt. Dette vil bare være mulig på motorveger med flere felt. I utgangspunktet er det mulig å tenke seg bygging av nye tofeltsveger som er reservert for autonome kjøretøy.

Tabell 6-1 sammenstiller noen karakteristiske egenskaper for vegtypene presentert ovenfor.

Tabell 6-1: Egenskaper for ulike vegtyper

Vegtype	(2M2+)	(1M1+)	(1+1)	(1+)
Tilsvarende dimensjoneringsklasse N100 (og utkast ny N100). Veger i tettbebyggelse og gater er ikke med.	H7, H8, H 9, (ny H3)	H5, (Ny H2)	H2, H3, H4, Hø1(2), Hø2, Sa 1, Sa2, Sa3, (Ny H1, Ny Hø1, Ny Hø2,) A2	A1, A3, Sa3 (Ny Hø1(1)). I tillegg kommer kommunale og private veger med kjørebane mindre enn 5,5 m.
Antall kjørefelt	Min. 4 (2 i hver retn.)	Min. 2 (1 i hver retn.)	1 i hver retning. Evt. også envegs ramper i kryss.	Min. 1. Trafikk i begge retninger
Typisk trafikkmengde	Over 12000 ÅDT	6000-12000 ÅDT	0 - 6000 ÅDT	0 – 500 ÅDT
Maks. hastighet	110 km/t (min. 80km/t)	80-90 km/t	50-80 km/t	30 – 80 km/t
Skille møtende trafikk	Fysisk midtdeler	Fysisk midtdeler	Kun oppmerking	Ingen oppmerking. Delvis felles kjøreareal.
Atskillelse myke trafikanter	Ikke tillatt. Henvises til andre ruter.	Ikke tillatt. Henvises til andre ruter.	Separat langsgående gang- og sykkelveg	Tillatt for myke trafikanter
Kryssløsninger	Retardasjons- og akselerasjonsfelter høyre av og på. Planskilt kryssing.	Retardasjons- og akselerasjonsfelter høyre av og på. Planskilt kryssing. Unntaksvis rundkjøring og T-kryss.	Alle krysstyper avh. av trafikkmengde og hastighet. X-kryss ved lave hastigheter.	T-kryss vanligst, evt. x-kryss.
Bredde kjørefelt	3,5 m	3,5 m (evt. 3,25 m)	2,75- 3,25 m (3,5 m på ramper)	3-4 m + andre umerkede kjørearealer
Vegbredde (kjørebane + skulder)	23 m (4-feltsveg) evt. større ved flere felt.	12,5 m + forbikjøringsfelter	6,5 -10 m (for 2. kjørefelt)	3-5 m, + andre umerkede kjørearealer
Dekke	Fast dekke	Fast dekke	Fast dekke	Fast dekke eller grus
Minste horisontalkurve	R800 (ved 110 km/t)	R400 (ved 90 km/t)	R200 (ved 80 /t)	R200 (ved 80 km/t) R60 (50 km/t)
Minste siktlengde	240 m	160	120 m	20 - 105 m
Minste høybrekksradius	12000	5300	3000	300 (ved 30 km/t)
Maks stigning	5 %	6 %	6 % (!)	8 % (11%)

6.2 MULIG TILPASSING TIL SELVKJØRENDE KJØRETØY

Konsekvensen for vegutforming vurderes ved å sammenligne situasjoner med selvkjørende kjøretøy med dagens referansesituasjon for hver av de fire vegtypene. Det sammenlignes to situasjoner, der den ene er en situasjon med 50 prosent autonome kjøretøy og den andre er en situasjon der alle kjøretøy er autonome. Tabellene tar for seg hvert tema fra kapittel 5 og vurderer mulige endringer sammenlignet med dagens krav med de to forutsetningene om andel autonome kjøretøy.

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

Vurderingen baseres på følgende forhold:

- Antatt teknologi i autonome kjøretøy
- Nasjonale mål for fremkommelighet, trafiksikkerhet og miljø, herunder eventuell konflikt mellom ulike mål og viktige hensyn
- Økonomi

For alle vegtypene vurderes det som lite aktuelt med endring av vegnormalkravene når ny veg bygges for blandet trafikk, i denne utredningen forutsatt 50 prosent. Med blandet trafikk vil det fortsatt være manuelle kjøretøy som er dimensjonerende på samme måte som i dag.

Overgang til autonome kjøretøy vil gi mer effektiv trafikkavvikling og vil øke kapasiteten per kjørefelt. Simuleringer referert i kapittel 4 indikerer at kapasiteten sannsynligvis vil øke, selv ved relativt lave andeler selvkjørende kjøretøy. Effekten kan bli svært stor i en situasjon med bare autonome kjøretøy og kan ytterligere forsterkes ved kommunikasjon mellom kjøretøy (V2V). Det antas på denne bakgrunn økt kapasitet for tre av vegtypene (2M2+, 1M1+ og 1+1), men det er for spinkelt grunnlag for å nyansere denne effekten for de ulike vegtypene.

Autonome kjøretøy er mindre avhengig av belysning og skilting. Så lenge det bygges for en viss andel førerstyrte biler er det ikke aktuelt å redusere krav til lys og skilt. Når det bygges veger for 100 prosent selvkjørende kjøretøy, er det hensyn til gående og syklende som vil avgjøre løsningen når det gjelder lys og skilt rettet mot ikke motoriserte trafikanter.

6.2.1 (2M2+) FLERFELTS MOTORVEG

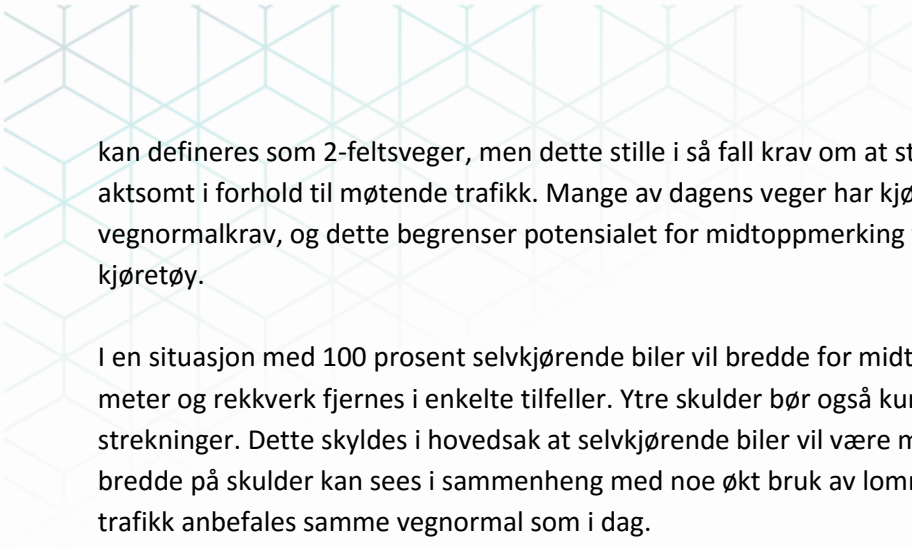
Vegtype 2M2+ forventes å kunne håndtere autonome kjøretøy uten store tiltak. Det er identifisert noen elementer ved vegnormalene som kan endres for tilpasning til en framtidssituasjon med 100 pst autonome kjøretøy. I en situasjon med blandet trafikk, forutsetning om 50 prosent autonome kjøretøy, anbefales vegnormaler som i dag for bygging av ny veg. Tabell 6-2 oppsummerer vurderingene som er gjort.

Denne vegtypen er en motorveg med typisk 23 meter vegbredde inkl. skuldre. I en situasjon med 100 prosent autonome kjøretøy kan vegtverrsnitt reduseres til 21 meter ved å redusere kjørefeltene fra 3,5 m til 3,0 m. Det er også mulig å se for seg at en 23 meter bred motorveg under visse forutsetninger vil kunne gjøres om fra en 4-feltsveg til en 6-feltsveg med 3,0 meter kjørefeltbredder.

Smalere kjørefelt vil medføre mer konsentrert hjulsforslitasje som medfører økte vedlikeholdskostnader. Dette reduserer gevinsten målt som livsløpskostnader.

For 2-feltsveger er minste kjørebanebredde 5,5 m. Dette for å ha plass til midtlinje, dvs. min. 2,75 m kjørefeltbredde. I vegnormalene øker krav til vegbredde med økende hastighet og økende trafikk. En generell reduksjon av kjørefeltbredde til 3,0 m for autonome kjøretøy kan være aktuelt. Det kan være aktuelt å merke opp midtlinje selv om kjørebanebredden er mindre enn 5,5 m slik at flere veger

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming



kan defineres som 2-feltsveger, men dette stiller i så fall krav om at større kjøretøy må ferdes spesielt aktsomt i forhold til møtende trafikk. Mange av dagens vegger har kjørebanebredder smalere enn vegnormalkrav, og dette begrenser potensialet for midtoppmerking ved større andel autonome kjøretøy.

I en situasjon med 100 prosent selvkjørende biler vil bredde for midtdeler kunne reduseres til en meter og rekkverk fjernes i enkelte tilfeller. Ytre skulder bør også kunne reduseres på noen strekninger. Dette skyldes i hovedsak at selvkjørende biler vil være mer stabile i vegbanen. Redusert bredde på skulder kan sees i sammenheng med noe økt bruk av lommer for nødstopper. Med blandet trafikk anbefales samme vegnormal som i dag.

Reduserte krav til vertikalkurver og siktforhold kan vurderes på grunn av teknikk som er mer observant og kan oppfatte farer tidligere. Dette kan også føre til store innsparinger da kravene til vertikalkurver og siktforhold er høye ved motorveger med høy hastighet, som gir høye kostnader.

Tabell 6-2: Vurdering av vegnormaler for (2M2+) Flerfelts motorveg med ulik andel autonome kjøretøy.

Tema	Førerbaserte kjøretøy (referanse)	Blanding av førerbaserte og autonome kjøretøy (50/50 eller 5/95)	100 % autonome kjøretøy (AV) (manuelle kjøretøy har ikke adgang)	Merknad
Kjørefeltbredde	3,5 m	3,5 m	3,0 - 3,5 m	
Middeler	2 m og rekkverk	2 m og rekkverk	1 m og rekkverk	
Skulder mot midtdeler	0,75 m	0,75 m	0,5 m	
Ytre skulder	2,75 m	2,75 m	2,5 m	Evt. smalere skulder og flere stopplommer.
Horisontalkurvatur	Jevne store kurver og jevn hastighet	Jevne store kurver og jevn hastighet	Jevne store kurver og jevn hastighet	Store standardsprang bør uansett unngås
Vertikalkurvatur	Store vertikalkurveradier pga siktkrav	Store vertikalkurveradier pga siktkrav	Store vertikalkurve- radier pga. siktkrav. Kan vurderes redusert.	Med krav om høyere øyehøyde på autonome kjøretøy, kan minste vertikal- kurveradius reduseres
Siktforhold	Lange siktlinjer	Lange siktlinjer	Lange siktlinjer. Kan vurderes redusert.	Ekstra breddeutvidelse på bruer og i tunneler på grunn av sikt vil være aktuelt ved minste horisontalkurveradius. Kan muligens løses ved ny teknologi.
Overhøyde (vegen helning innover i kurven)	Normalkrav for å redusere sidefriksjon	Normalkrav for å redusere sidefriksjon	Normalkrav for å redusere sidefriksjon	Bestemmes av friksjonsforholdene og komfortkrav.
Stigning/fall	Internasjonale krav (TERN-vegnettet (Trans European Road Network))	Internasjonale krav (TERN-vegnettet)	Internasjonale krav (TERN-vegnettet)	Krav kan neppe lempes.
Krysstyp	Retardasjon- og akselerasjonsfelt og planskilte kryss. Kryssende veg med kryss i plan	Retardasjon- og akselerasjonsfelt og planskilte kryss. Kryssende veg med kryss i plan	Retardasjon- og akselerasjonsfelt og planskilte kryss. Kryssende veg med kryss i plan, helst uten rundkjøring.	Rundkjøringer på sekundærveg kan være et problem kapasitetsmessig for AVer. Mange av dagens kryss har ikke akseptabel standard for AV på ramper

6.2.2 (1M1+) 2-FELTSVEG MED FYSISK MIDTDELER OG FORBIKJØRINGSMULIGHET

Det er flere usikkerheter knyttet til vurderingen av vegnormaler for denne vegtypen (1M1+) ved 100 prosent autonome kjøretøy. Dette gjelder særlig vurderinger knyttet til fysisk midtdeler og partier

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming



med forbikjøringsfelt, som vist i **Feil! Fant ikke referanseilden.** Tilsvarende som for 2M2+ anbefales det ingen endringer i vegnormaler for situasjon med 50 prosent autonome kjøretøy.

I situasjon der ny vegstrekning er reservert for autonome kjøretøy vurderes det som mulig å redusere kjørefeltbredden, vurdere krav til midtdeler samt justering av krav til vertikalkurver og siktførhold, tilsvarende som foreslått for vegtype 2M2+. For vegtype 1M1+ anbefales imidlertid ikke å innskrenke skulder på samme måte da vegtypen i utgangspunktet er smalere. Det er viktig med skuldre med tilstrekkelig bredde slik at utrykningskjøretøy kan komme forbi vanlig trafikk, og at et kjøretøy som har stoppet ikke skal blokkere trafikken.

På den annen side kan denne vegtypen relativt lett bygges om til to kjørefelt i hver retning med reduserte kjørefeltbredder, spesielt hvis det venstre kjørefeltet er forbeholdt mindre kjøretøy med for eksempel 2,75 m kjørefeltbredde. Igjen kan dette gi en utfordring for utrykningskjøretøy.

Tabell 6-3: Vurdering av vegnormaler for (1M1+) 2-feltsveg med fysisk midtdeler og forbikjøringsmulighet med ulik andel autonome kjøretøy.

Tema	Førerbaserte kjøretøy (referanse)	Blanding av førerbaserte og autonome kjøretøy (50/50 eller 5/95)	100 % autonome kjøretøy (AV) (manuelle kjøretøy har ikke adgang)	Merknad
Kjørefeltbredde	3,25-3,5 m	3,25-3,5 m	3,00 m	I dag benyttes 3,25 m dersom 2 felt i samme retning
Midtdeler	1,5 m og rekkverk	1,5 m og rekkverk	1 m og rekkverk	
Skulder mot midtdeler	0,5 m	0,5 m	0,5 m	
Ytre skulder	1,5 m	1,5 m	1,5 m	Det er et krav om at utrykningskjøretøy skal kunne passere andre biler som må vike til side. Dette gjelder kun ved 1 kjørefelt i hver retning
Horisontalkurvatur	Jevne store kurver og jevn hastighet	Jevne store kurver og jevn hastighet	Jevne store kurver og jevn hastighet	Store standardsprang bør unngås i alle situasjoner
Vertikalkurvatur	Store vertikalkurveradier pga siktkrav	Store vertikalkurveradier pga siktkrav	Store vertikalkurve- radier pga siktkrav. Kan vurderes redusert.	Dersom det innføres krav om høyere øyehøyde på autonome kjøretøy, vil krav til minste vertikalkurveradius kunne reduseres.
Siktforhold	Lange siktlinjer	Lange siktlinjer	Lange siktlinjer. Kan vurderes redusert.	Ekstra breddeutvidelse på bruer og i tunneler vil være aktuelt ved minste horisontalradius. Kan muligens løses ved ny teknologi. Kravene er mindre strenge enn motorveg
Overhøyde (vegen helning innover i kurven)	Normalkrav for å redusere sidefriksjon	Normalkrav for å redusere sidefriksjon	Normalkrav for å redusere sidefriksjon	Bestemmes av friksjonsforholdene og komfortkrav.
Stigning/fall	Internasjonale krav (TERN)	Internasjonale krav (TERN)	Internasjonale krav (TERN)	Krav lempes neppe for Tern-veger, men vegtypen benyttes også utenom Tern vegnettet og større stigning kan være aktuelt for disse.
Krysstyp	Retardasjon- og akselerasjonsfelt og planskilte kryss, unntaksvis rundkjøring.	Retardasjon- og akselerasjonsfelt og planskilte kryss. Evt. spesielle krav rundkjøring.	Retardasjon- og akselerasjonsfelt og planskilte kryss. Evt. spesielle krav ved rundkjøring.	Rundkjøringer på sekundærveg kan være et problem kapasitetsmessig for AVer. Mange av dagens kryss har ikke akseptabel standard for AV på ramper

6.3 VEGTYPE (1+1) 2-FELTSVEGER UTEN MIDTDELER, ADSKILT MED OPPMERKING

Også for denne vegtypen er det aktuelt å vurdere mulighet for å forenkle normalene i en situasjon med 100 prosent autonome kjøretøy. Dette gjelder tilsvarende vurderingene av de andre vegtypene der vegelementer som kjørefeltbredde, midtdeler, vertikalkurvatur og siktforhold ble identifisert som aktuelle. Mulige tilpasninger er oppsummert i Tabell 6-4. I en situasjon med 50 prosent autonome biler er det mindre aktuelt med tilpasninger.

Eksisterende veger kan enkelte steder ha store avvik fra vegnormalkravene, og disse strekningene må sannsynligvis ombygges for å komme opp på en akseptabel standard for å kunne benyttes av autonome kjøretøy.

Tabell 6-4: Vurdering av vegnormaler for Vegtype (1+1) 2-feltsveger uten midtdeler, atskilt med oppmerking med ulik andel autonome kjøretøy

Tema	Førerbaserte kjøretøy (referanse)	Blanding av førerbaserte og autonome kjøretøy (50/50 eller 5/95)	100 % autonome kjøretøy (AV) (manuelle kjøretøy har ikke adgang)	Merknad
Kjørefeltbredde	2,75-3,25 m	2,75-3,25 m	3,0 m	
Midtdeler	0,5 m forsterket midtoppperking	0,5 m forsterket midtoppperking	Kan utgå	Forsterket midtoppperking for 1500 - 6000 ÅDT
Skulder mot midtdeler	0,5 m	0,5 m	0,5 m	
Ytre skulder	0,5 -1,0 m	0,5 – 1,0 m	0,5 m + evt. hyppigere stopplommer	
Horisontalkurvatur	Minimumskurvatur tilpasset hastighet. Fartsgrense på dagens vegnett kan være langt høyere enn kurvatur tilsier når det gjelder friksjon	Fartsgrense bør tilpasses og varieres til å samsvare med aktuell kurvatur. Fartsprofil viktig for førerstyrte biler	Kurvatur og overhøyde, samt varierende friksjonsforhold bestemmer hastigheten. Jevne store kurver og jevn hastighet	
Vertikalkurvatur	Minimumskurvatur tilpasset hastighet. Fartsgrense på dagens vegnett kan være langt høyere enn kurvatur tilsier	Fartsgrense bør tilpasses og varieres til å samsvare med vertikalkurve-radier pga siktkrav	Store vertikalkurve-radier pga siktkrav. Kan vurderes redusert i forhold til dagens krav pga. høyere øyehøyde og tilgjengelig	Dersom det innføres krav om høyere øyehøyde på autonome kjøretøy, vil krav til minste vertikalradius kunne reduseres.

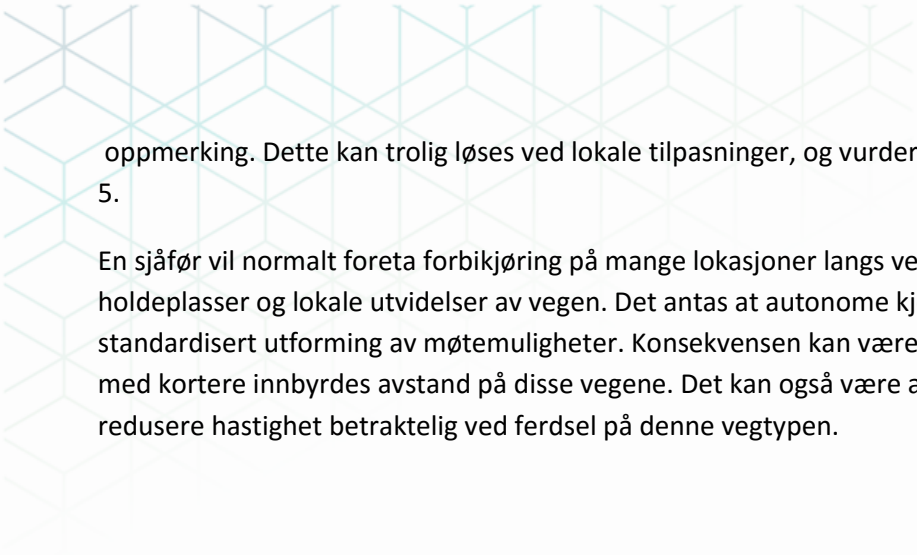
- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

			informasjon om vegen foran uten at man har øyekontakt.	
Siktforhold	Siktkrav tilpasset hastighet. Fartsgrense på dagens vegnett kan være langt høyere enn siktkrav tilsier	Fartsgrense bør tilpasses og varieres til å samsvare med siktkrav.	Teknologisk utvikling kan gjøre det mulig med informasjon om vegen foran uten at man har øyekontakt.	Teknologisk utvikling for informasjon om hva som «venter rundt neste sving» er i utgangspunktet ikke avhengig av autonome kjøretøy, men i hvilken grad det kan fases inn i eksisterende kjøretøy.
Overhøyde (vegens helning innover i kurven)	Normalkrav for å redusere sidefriksjon	Normalkrav for å redusere sidefriksjon	Normalkrav for å redusere sidefriksjon	Kan medføre en del tilpasninger på eksisterende vegnett for å sikre riktig veggrep i kurver.
Stigning/fall	Eksisterende veger av denne typen kan ofte ha stigning 10 % selv om krav til stigning i nye normaler er vesentlig strengere.	Usikkert om det bør prioriteres å endre eksisterende vegnett til gjeldende stigningskrav.	Autonome kjøretøy bør ikke ha større begrensninger i forhold til stigning, men her kan vær- og føre-forhold være avgjørende.	
Krysstype	Hovedsakelig kryss i plan. T-kryss og rundkjøringer	Hovedsakelig kryss i plan. T-kryss og rundkjøringer	Hovedsakelig kryss i plan. T-kryss og rundkjøringer	Det er en viss usikkerhet om fremtidige autonome kjøretøyers evne til å takle rundkjøringer effektivt.

6.3.1 (1+) ANDRE LOKALVEGER

Dagens vegnett i Norge har betydelig andel veger med vegtype 1+. Dersom autonome kjøretøy skal kunne brukes i større utstrekning må de kunne trafikkere denne vegtypen på en effektiv måte. For denne vegstandarden vurderes behovet for standardheving på eksisterende veger aktuelt, hvis det skal tillates ferdsel med autonome kjøretøy. Eksisterende veg kan i mange tilfeller avvike fra vegstandard og dersom ikke denne tilpasses autonome kjøretøy kan det gi økt risiko for ulykker. Alternativt må autonome kjøretøy tilpasse seg foreliggende vegstandard eller kjøres i mer manuell modus.

Når kjørebanelen blir smalere enn for eksempel 5 m og det ikke er snakk om envegsregulering, må autonome kjøretøy samhandle på en annen måte ved passering enn ved bare å forholde seg til



oppmerking. Dette kan trolig løses ved lokale tilpasninger, og vurderingene oppsummeres i Tabell 6-5.

En sjåfør vil normalt foreta forbikjøring på mange lokasjoner langs vegen, som avkjørsler, holdeplasser og lokale utvidelser av vegen. Det antas at autonome kjøretøy vil kreve mer standardisert utforming av møtemuligheter. Konsekvensen kan være at man må ha flere møteplasser med kortere innbyrdes avstand på disse vegene. Det kan også være at autonome kjøretøy må redusere hastighet betraktelig ved ferdsel på denne vegtypen.

Tabell 6-5: Vurdering av vegnormaler for (1+) Andre lokalveger med ulik andel autonome kjøretøy

Tema	Førerbaserte kjøretøy	Blanding av førerbaserte og autonome kjøretøy (50/50 eller 5/95)	100 % autonome kjøretøy (AV) (manuelle kjøretøy har ikke adgang)	Merknad
Kjørefeltbredde	<4,0 m	< 4,0 m?	Mer tydelige møtearealer med bredde min 5 m	Kjørearealet bør utvides til min 5 m bredde der det er uoversiktlig for å unngå rygging i møtesituasjoner.
Middeler	Ikke relevant	Vurdere å endre grense for når midt-oppmerking er tillatt.	Vurdere å endre grense for når midt-oppmerking er tillatt.	Midtoppmerking ned til 2,5 m kjørefeltbredde kan vurderes.
Skulder mot middeler	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	
Ytre skulder	0,25-0,5 m	0,5 m	0,25 m	Utvidelse av skulder eller utvidelse av kjørearealer ved møtearealer
Horisontalkurvatur	Avhengig av hastighet, vegen underordnes omgivelsene.	Senke hastighet på uoversiktige steder.	Senke hastighet på uoversiktige steder.	Det må stilles krav til oversikt framover for å håndtere møtesituasjoner, framfor krav til kurvatur alene. Krav til sikt vil avhenge av hvor god detektering «dimensjonerende AV» har.
Vertikalkurvatur	Avhengig av hastighet, vegen underordnes omgivelsene.	Senke hastighet på uoversiktige steder.	Senke hastighet på uoversiktige steder.	Vertikalkurvatur må sees i sammenheng med hastighet.
Siktforhold	Siktkrav tilpasset hastighet. Fartsgrense på dagens vegnett kan være langt høyere enn siktkrav tilsier	Senke hastighet på uoversiktige steder evt. forbedre siktforholdene.	Senke hastighet på uoversiktige steder, evt. forbedre siktforholdene.	Siktforholdene i forhold til hastighet er helt avgjørende for både framkommelighet og sikkerhet, spesielt ved autonome kjøretøy.
Overhøyde (vegen helning innover i kurven)	Overhøyde viktig i forhold til å sikre forutsigbar sidefriksjon, men vil måtte tilpasses lokale forhold	Overhøyde viktig i forhold til å sikre forutsigbar sidefriksjon, men vil måtte tilpasses lokale forhold	Overhøyde viktig i forhold til å sikre forutsigbar sidefriksjon, men vil måtte tilpasses lokale forhold	Krav til overhøyde bør kunne fravikes ved lav hastighet.
Stigning/fall	8 %. 10 % vanlig på eksisterende veger	8 % med mulighet for fravik.	8 % med mulighet for fravik.	Det finnes mange mindre veger med stigning 14 % over kortere strekninger. Bør unngås, men autonome kjøretøy må kunne takle slike situasjoner.
Krysstyp	Alle vanlige krysstyper i plan.	Alle vanlige krysstyper i plan.	Alle vanlige krysstyper i plan.	Krav til krysstyp tilpasses hastighet og siktforhold, samt trafikkvolum selv på disse lavtrafikkerte vegene.

7 VURDERING AV VIRKNINGER

I Nasjonal transportplan 2018 – 2029 legger Regjeringen vekt på en balansert måloppnåelse mellom de tre hovedmålene (Samferdselsdepartementet, 2017):

- Bedre framkommelighet for personer og gods i hele landet
- Redusere transportulykkene i tråd med nullvisjonen
- Redusere klimagassutslippene i tråd med en omstilling mot et lavutslippssamfunn og redusere andre negative miljøkonsekvenser

Innfasing av selvkjørende kjøretøy på det norske vegnettet kan bidra til økt måloppnåelse for alle de tre hovedmålene uten økt ressursinnsats. Omvendt kan autonome kjøretøy frigjøre midler til andre formål i transportsektoren eller i andre sektorer uten at dette reduserer framkommelighet og trafiksikkerhet på vegene eller øker miljøskader forårsaket av vegtransport.

Et fremtidig mobilitetssystem med autonome kjøretøy kan komme til å endre transportsystem, arealbruk og samfunnsutvikling på en like grunnleggende måte som bilen gjorde i det forrige århundret. Denne utredningen og dette kapitlet er imidlertid avgrenset til *hvordan endringer i vegutforming* (for å hente ut gevinster av selvkjørende kjøretøy) kan påvirke utviklingen når det gjelder hovedmålene i Nasjonal transportplan.

Autonome kjøretøy vil endre samfunnsøkonomisk lønnsomhet av prosjekter og virkemidler. For eksempel vil nytten av trafiksikkerhetstiltak reduseres med selvkjørende kjøretøy med lavere sannsynlighet for alvorlige ulykker enn dagens førerstyrte biler, jf. 7.2 nedenfor. Siden det ikke finnes empiri for trafikk med autonome kjøretøy, inneholder dette kapitlet kvalitative vurderinger basert på muligheter beskrevet i foregående kapitler og oppsummert i tabellene i kapitlene 6.2.1 – 6.2.4. Det finnes per i dag ikke grunnlag for samfunnsøkonomisk analyse av nytte og kostnader av endret vegutforming tilpasset ny teknologi.

7.1 FRAMKOMMELIGHET OG FORSINKELSER

Selvkjørende kjøretøy vil bidra til mer effektiv trafikkavvikling der det er køer og forsinkelser, blant annet fordi automatiske biler vil ha kortere reaksjonstid enn menneskelig førere. Autonome kjøretøy kan derfor kjøre tettere enn manuelle biler, og dette betyr økt kapasitet på eksisterende vegstrekninger. I mange tilfeller er det kapasiteten i kryss som skaper avviklingsproblemer. I et transportsystem med bare autonome kjøretøy må det antas at kapasiteten i kryss vil øke.

På norske landeveger er det generelt god kapasitet. Det pågår dessuten omfattende utbygging av hovedvegnettet mellom byene i de tettest befolkede delene av landet der det tidvis er køproblemer, typisk i forbindelse med ferier og utfartshelger. Bedre framkommelighet på grunn av autonome kjøretøy vil derfor ha størst betydning i byområder med køer i morgen- og ettermiddagsrush.

I nye vegnormaler er det aktuelt å revurdere sammenhengen mellom forventet trafikk og behov for antall felt og utforming av kryss. Resultater fra simuleringer for trafikk med bare autonome kjøretøy, jf. kapittel 3, varierer mellom 40 prosent økt kapasitet uten «platooning» (V2V-kommunikasjon) til

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

over 250 prosent når det i modellene forutsettes at kjøretøyene kommuniserer med hverandre. I en modellanalyse for København-området har Vejdirektoratet forutsatt at autonome kjøretøy øker vegkapasiteten med 30 prosent (Vejdirektoratet, 2017), men dette gjelder en bysituasjon.

Simuleringer tyder på at selv lave andeler med selvkjørende kjøretøy kan gi bedre flyt i trafikken, men de fleste studier konkluderer med at det er lite aktuelt å justere krav til vegutforming så lenge det planlegges for blandet trafikk.

Selvkjørende kjøretøy som kjører sikrere og har kortere reaksjonstid enn manuelle førere, åpner for å redusere reisetiden/bedre framkommeligheten ved å øke hastigheten. Dette må imidlertid veies mot hensyn til nullvisjonen for trafiksikkerhet og miljømål knyttet til energibruk, jf kapitlene 7.2 og 7.3 nedenfor.

Veger som planlegges i dag, dimensjoneres ut fra forventet trafikk 20 år frem i tid, og vil sannsynligvis fortsatt være en del av vegsystemet 50 år fram i tid. I dette tidsperspektivet er det grunn til å anta at autonome kjøretøy betyr at et gitt vektvernsnitt kan utvikle vesentlig mer trafikk enn med dagens teknologi og førerstyrte biler. Isolert sett kan dette tilsa at det også bør tenkes nytt for vegstrekninger der det allerede foreligger vedtatte planer. På den annen side kan selvkjørende kjøretøy bidra til mer biltrafikk og økt behov for kapasitet, men dette avhenger av fremtidig bruk av virkemidler. Uansett er det stor usikkerhet om **når** selvkjørende kjøretøy vil dominere transportsystemet.

Selvkjørende kjøretøy vil bety bedre framkommelighet når trafikken flyter som planlagt. Ulykker er en viktig årsak til forsinkelser i vegsystemet. Redusert sannsynlighet for ulykker vil derfor gi et ekstra bidrag til bedre framkommelighet.

7.2 NULLVISJONEN FOR TRAFIKKSikkerhet

Menneskelige feil er en viktig årsak til ulykker, og det synes å være bred enighet om at autonome kjøretøy vil bety færre trafikkulykker. I en analyse av dødsulykker i Norge fant TØI at uoppmerksomhet hos fører forårsaket nesten hver tredje dødsulykke i trafikken i perioden 2011-2015 (Sagberg F., 2016). Autonome kjøretøy gjør ikke menneskelige feil, men de vil på samme måte som manuelle biler være påvirket av naturkreftene og kan havne i alvorlige ulykker, for eksempel i situasjoner med redusert veggrep. I tillegg har automatiske kjøretøy nye typer risiko som programmeringsfeil, kommunikasjonssvikt og hacking. Det finnes selvfølgelig ikke erfaringer om betydningen av disse risikofaktorene.

Sikrere kjøring med autonome kjøretøy åpner for å redusere kostnader til ulykkesforebyggende tiltak i veginfrastrukturen og i kjøretøyene. Det vil være mulig å bygge veger med smalere kjørefelt og uten eller med enklere midtdele og rekkverk og lettere kjøretøy uten fordyrende kollisjonssikring - uten at dette betyr redusert trafiksikkerhet. Ut fra en samfunnsøkonomisk vurdering av nytte og kostnader tilsier sikrere autonome kjøretøy at vegnormalene bør endres slik at samfunnet bruker mindre ressurser på trafiksikkerhetstiltak.

I denne sammenheng er det viktig å huske at selvkjørende kjøretøy først og fremst reduserer sannsynlighet for ulykker. Konsekvensen av ulykker i høy hastighet vil være like alvorlig selv om sannsynligheten reduseres betydelig. Hvis sikrere kjøring (delvis) tas ut i høyere hastighet og lettere kjøretøy, kan konsekvensen av en ulykke bli høyere. Det blir i stor grad en politisk avveining om redusert risiko (sannsynlighet x konsekvens) skal tas ut som et stort skritt i retning av «nullvisjonen» eller som innsparte kostnader som kan brukes til andre tiltak med antatt større samfunnsnytte.

Innfasing av autonome kjøretøy kan medføre at det må legges til grunn en annen tankegang når det gjelder godkjenning. Sikkerhetsfunksjonene i selvkjørende kjøretøy vil være programmerte elektroniske systemer. Ved godkjenning av slike systemer vil det sannsynligvis stilles andre krav til sikkerhetsdokumentasjon enn for dagens manuelle biler. Normalt kontrolleres risikonivå for tekniske systemer ved å formulere risikoakseptkriterier. For sikkerhetsfunksjoner vil dette bli formulert som «Tolerable Hazard Rates (THR)», som er et krav til hvor ofte en bestemt sikkerhetsfunksjon aksepteres å feile.

Vi har ikke grunnlag for å vurdere hva som vil være nivå for risikoakseptkriterier for selvkjørende kjøretøy. «Platoons», dvs. grupper av biler som ligger «tettpakket» i høye hastigheter for å øke effektiviteten, vil ha betydelige likheter med togtrafikk der det kreves mindre enn én feil per 100 millioner driftstimer. Det er ikke mulig å dokumentere så lave feilrater kun gjennom testing, men i tillegg er det behov for krevende verifikasjonsprosesser.

7.3 MILJØVIRKNINGER AV VEGTRANSPORT

Denne utredningen ser ikke på hva selvkjørende kjøretøy kan bety for utvikling av biltrafikken, men fokuserer på koplingen mellom automatisk transport og utforming av nye veger. Med denne avgrensingen kan autonome kjøretøy og endret vegutforming ha miljøvirkninger i form av:

- Reduserte naturinngrep på grunn av lettere kurvatur og noe smalere veger
- Endret energibruk på grunn av høyere hastighet og «platooning»

Med selvkjørende kjøretøy er det mulig å endre kurvatur og vegbredde uten at dette går ut over trafiksikkerheten. I hvilken grad dette faktisk bør gjøres må avveies mot en rekke forhold, blant annet hensyn til nullvisjonen og til kjørek komfort.

Lettere kurvatur og smalere veggvernsnitt kan bidra til bedre landskapstilpasning (med mindre fyllinger og skjæringer) og mindre beslag av verdifulle arealer, for eksempel høyproduktive jordbruksarealer. I kapittel 6.2 er maksimalt potensial for redusert vegbredde for motorveg (2M2+) anslått til 3,5 meter. Langs et omfattende motorvegnett kan dette summere seg til betydelige arealer.

Andre krav til kurvatur og vegbredde vil imidlertid ikke påvirke barriere-effekten av store veger.

Miljøvirkninger av energiforbruk vil avhenge av fremdriftsteknologi og type drivstoff. Det forventes at personbilparken i relativt nær fremtid stort sett vil være elektrisk, mens tunge kjøretøy i betydelig

- Rapport – Ny teknologi og vegutforming

grad vil være fossile. Elektriske kjøretøy fjerner lokale miljøproblemer knyttet til eksosutslipp, men effekt for utslipp av klimagasser avhenger av hvordan elektrisiteten produseres.

På grunn av kortere reaksjonstid vil autonome kjøretøy ved normale føreforhold kunne kjøre med høyere hastighet uten økt risiko for ulykker. Høyere fart medfører økt energiforbruk og utslipp av CO₂ på grunn av høyere luftmotstand.

Med kommunikasjon mellom kjøretøyene (V2V) vil det være mulig å kjøre svært tett med høyere fart. Dette kan redusere luftmotstanden og energiforbruket, spesielt for tunge kjøretøy.

I tillegg til eksosutslipp har hastighet betydning for støy og støv fra vegslitasje. Hvis farten settes opp for selvkjørende kjøretøy, vil dette bety mer støy fra bildekk og økte utslipp av svevestøv (PM10). På den annen side er det uansett lite aktuelt å sette opp farten på vegstrekninger gjennom tett befolkede områder er trafikkbildet som regel vil være relativt komplisert.

7.4 SAMFUNNSØKONOMISKE VIRKNINGER

Overgang til autonome kjøretøy kan redusere samfunnets kostnader til veginfrastruktur eller gi økt nytte for trafikantene:

- Reduserte investeringskostnader for nye veger
- Bedre fremkommelighet og økt vegkapasitet betyr lavere tidskostnader for personer og gods
- Økt trafiksikkerhet og lavere ulykkeskostnader

Noen av gevinstene kan høstes uten endring i dagens vegnormaler, mens i andre tilfeller må nye veger bygges annerledes i dag for å ta ut potensialet. Autonome kjøretøy kan gi økt kapasitet i eksisterende vegnett og redusere samfunnets køkostnader. Økt kapasitet kan bety at noen vegprosjekter som går på å bedre kapasitet rundt større byer og tettsteder kan revurderes, utsettes eller skrinlegges. I en overgangsfase kan det imidlertid tenkes at innfasing av selvkjørende kjøretøy i blandet trafikk vil redusere vegkapasiteten.

Som påvist i kapittel 5 kan selvkjørende kjøretøy gi mulighet for å bygge nye vegstrekninger med mindre bredde og med mindre omfattende utrustning i form av midtdelere og rekkverk. Mulige kostnadsbesparelser må imidlertid avveies mot en rekke hensyn som kan tale mot bygging av enklere veger.

Transport av masser kan være en stor kostnad for veganlegg i vanskelig terreng. Eventuell bygging av nye strekninger med «lettere» veglinjer (reduerte kurveradier) og mindre bredde kan bety mindre behov for å flytte masser.

Generelt er det slik at utnytting av de fleste mulighetene for å bygge enklere og billigere veger som er beskrevet i kapittel 6, forutsetter at de aktuelle strekningene bare er åpne for selvkjørende kjøretøy. Det er vanskelig å anslå mulige kostnadsreduksjoner for bygging av nye vegstrekninger tilpasset en situasjon med bare autonome kjøretøy. Våre anslag for mulige besparelser tar

utgangspunkt i kostnadstall fra Statens vegvesen fra 2014 (Statens vegvesen, 2014), se Tabell 7-1 under.

Tabell 7-1 Kostnader for bygging av nye veger. 1000 kroner per meter. Kilde: Statens vegvesen 2014

Type	Bredde	Kostnad, 1000 kroner per meter
2-felt	6,5	50 - 90
2-felt	7,5	60 - 100
2-felt	8,5	70 - 120
2-felt	10,0	80 - 140
2/3-felt, midtrekkverk		110 - 150
4-felt, kryss i plan	16	120 - 170
4-felt, planskilte kryss	19 - 22	140 - 230

Dette er meget grove tall, hvor større bruer og tunneler ikke inngår. Løpemetrisene påvirkes i stor grad av lokale forhold. Det er mange kostnader for et vegprosjekt som ikke påvirkes av eventuelle endringer i vegbredden. Massehåndtering er heller ikke et så dominerende kostnadselement som det en gang var. Økte krav til vegstandard har medført sterk kostnadsøkning for nye vegprosjekt.

Tabell 7-2 nedenfor oppsummerer grove anslag for (maksimalt) potensial for kostnadsreduksjon for motorveg (2M2+) og 2-feltsveg med midtdeler (1M1+).

Tabell 7-2 Anslag for mulig kostnadsreduksjon for vegger tilpasset autonome kjøretøy. Kroner per løpemeter

Vegtype	Meterpris	Redusert kjørebanebredde (redusert tverrprofil 2 m)	Redusert skulderbredde	Uten midtdeler og redusert midtdelerbredde	Horizontal- og vertikalgeometri
2M2+ (Enkle forhold)	140 000	4 000	8 000 (redusert tverrprofil 4 m)	4 000 – 6 000	10 0000 - 20 0000
2M2+ (vanskelige forhold)	230 000	5 000	10 000 (redusert tverrprofil 4 m)	5 000 – 8 000	20 000 - 40 000
1M1+ (Enkle forhold)	110 000	2 000	4 000 (redusert tverrprofil 2 m)	4 000 – 6 000	5 0000 – 15 000
1M1+ (vanskelige forhold)	150 000	2 000	5 000 (redusert tverrprofil 2m)	4 000 – 8 000	15 000 – 30 000

De fleste av disse potensielle reduksjonene kan tenkes gjennomført som separate og uavhengige tiltak. Unntaket er redusert kjørebanebredde og skulderbredde for (1M1+) som forutsetter at midtdeleren fjernes, og da har vegen tverrprofil som en vanlig 2-feltsveg.

I en situasjon med bare autonome kjøretøy kan det dessuten være aktuelt med lavere standard for andre kostnadselementer, blant annet belysning og størrrelse på store skilt. Uansett er hovedkonklusjonen at kostnader for nye anlegg i framtiden kan reduseres noe, men at potensialet er begrenset.

8 OPPSUMMERING

Autonome kjøretøy kan legge til rette for endringer i krav til utforming av nye veger for å høste gevinster av ny teknologi som også kan gi økt samfunnsnytte for trafikk på eksisterende vegnett. Økt nytte er først og fremst knyttet til trafiksikkerhet og effektiv trafikkavvikling. Selvkjørende kjøretøy åpner også for å bygge enklere og billigere veger uten at dette går ut over trafiksikkerhet eller kapasitet. I hvilken grad en bør ta ut dette potensialet må avveies mot andre mål og hensyn.

I utgangspunktet jobber bilprodusenter og teknologiselskaper med sikte på snarlig introduksjon av helt selvstendige selvkjørende kjøretøy som «klarar seg selv» i dagens vegnett uten nye muligheter for å kommunisere med hverandre eller med veginfrastrukturen. Det er en rekke utfordringer som må løses, før de automatiske bilene kan tillates brukt overalt i vegnettet. Blant annet er det usikkert om GPS kan sikre posisjonering med tilstrekkelig presisjon, eller om det er behov for digitalt utstyr i vegen, for eksempel RFID-brikker (RFID – Radiofrekvensidentifikasjon) som i dag brukes i ulike logistikksystemer.

Forutsatt at gjenstående utfordringer løses på en måte som tilfredsstiller svært strenge godkjenningskrav til sikkerhetskritiske elektroniske systemer, bør selvstendige autonome kjøretøy åpne for bygging av enklere veger. Generelt vil det være slik at nye løsninger for kommunikasjon (V2V og V2I) vil bedre sikkerheten og nøyaktigheten i vegtrafikksystemet og øke mulighetene for å bygge enklere veger.

Mulighet for forenkling av veginfrastrukturen begrenses av at konsekvensene av feil er så store at det er behov for back up løsninger som ivaretar sikkerheten ved feil i elektroniske delsystemer. Dette betyr blant annet at det fortsatt kan være behov for vegoppmerking og skilt selv om autonome kjøretøy i en normalsituasjon ikke er avhengig av dette for å kjøre effektivt og sikkert. Det er grunn til å anta at skilt for selvkjørende kjøretøy kan lages enklere og billigere enn dagens skilt for lesing av menneskelige øyne.

Med dagens kunnskapsgrunnlag er det vanskelig å trekke klare konklusjoner om fremtidig krav til vegutforming som tilpassing til en situasjon med autonome kjøretøy. Større endringer i utforming av nye vegstrekninger forutsetter at alle kjøretøy er selvkjørende. Det er en utfordring å fastsette vegnormalkrav for et transportmiddel som foreløpig ikke finnes.

9 REFERANSER

- 5G Automotive Association. (u.d.). <http://5gaa.org/>.
- Arbogast. (2017). *Experiments show that a few self-driving cars can dramatically improve traffic flow*. Hentet fra Engineering Illinois: <https://engineering.illinois.edu/news/article/21938>
- Bazilinskyy, P., Kyriakidis, M., & Winter, J. d. (2017). *Researchgate*. Hentet fra https://www.researchgate.net/profile/Joost_De_Winter/publication/312332638_When_will_most_cars_drive_fully_automatically_An_analysis_of_international_surveys/links/58bef22b4585151c703048de/When-will-most-cars-drive-fully-automatically-An-analysis-of-inter
- Bazilinskyy, P., Kyriakidis, M., & Winter, J. d. (2017). *Researchgate*. Hentet fra https://www.researchgate.net/profile/Joost_De_Winter/publication/312332638_When_will_most_cars_drive_fully_automatically_An_analysis_of_international_surveys/links/58bef22b4585151c703048de/When-will-most-cars-drive-fully-automatically-An-analysis-of-inter
- Davies, A. (2017). The very human problem blocking the path to self-driving cars. *Wired.com*.
- Diakaki, C., P., M., P., I., N., I., Georgia-Roumpini, I., & Kallirroi, P. (2014). Overview and Analysis of Vehicle Automation and Communication Systems from a Motorway Traffic Management Perspective, Traffic Management of the 21st Century. *Technical University of Crete*.
- Eltoweissy, M., Olariu, S., & Younis, M. (2010). Towards autonomous vehicular clouds. International conferende on ad hoc networks. *Springer*, 1-16.
- Farah, H., Erkens, S., Alkim, T., & van Arem, B. (2018). Infrastructure for Automated. *Springer International Publishing AG*.
- Farah, H., Erkens, S., Alkim, T., & van Arem, B. (2018). Infrastructure for Automated and Connected Driving: State of the Art and Future Research Directions. *Springer International Publishing AG*.
- Farah, H., Erkens, S., Alkim, T., & van Arem, B. (2018). Infrastructure for Automated and Connected Driving: State of the Art and Future Research Directions. *Springer International Publishing AG*.
- Frisoni, R. D. (2016). Self-Piloted Cars: the future of road transport?
- Frisoni, R., Dall'Oglio, A., Nelson, C., Long, J., Vollath, C., Ranghetti, D., & McMinimy, S. (2016). *Self-Piloted Cars: the future of road transport?* Hentet fra [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/573434/IPOL_STU\(2016\)573434_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/573434/IPOL_STU(2016)573434_EN.pdf)
- Haneen Farah, S. M. (2018). Infrastructure for Automated. *Springer International Publishing AG*.
- Haneen Farah, Sandra M.J.G. Erkens, Tom Alkim and Bart van Arem. (2018). Infrastructure for Automated. *Springer International Publishing AG*.
- Hayeri, Y. M. (2016). *Stevens institute of Technology*. Hentet fra <https://www.stevens.edu/school-systems-enterprises/blog>
- Hughes, J. (2017). Waymo Is Already Running Self-Driving Cars With No One Behind the Wheel. *The Drive*.
- International, J. S. (2016). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation System for On-Road Motor Vehicles.

- Litman, T. (2017). Autonomous Vehicle Implementation Predictions, Implications for Transport Planning . *Victoria Transport Policy Institute*.
- Pinjari, A., & Augustin, B. (2014). Highway Capacity Impacts of Autonomous Vehicles: An Assessment. *Center for Urban Transportation Research*.
- Prop 152 L (2016-2017) Lov om utprøving av selvkjørende kjøretøy. (u.d.).
- Robotics Law Journal. (2017). <http://www.roboticslawjournal.com/news/level-three-automation-could-be-skipped-23345642>. Hentet fra www.roboticslawjournal.com.
- Sagberg F., H. A. (2016). «Jeg så ham ikke» - Temaanalyse av uoppmerksomhet ved dødsulykker i trafikken. *TØI 1535/2016*.
- Samferdselsdepartementet. (2017). *Meld. St. 33 (2016-2017) Nasjonal transportplan 2018 - 2019*.
- SEA_International, J. (2016). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation System for On-Road Motor Vehicles.
- Simko, D. J. (2016). Increasing road infrastructure capacity through use of Autonomous Vehicles. *DEFENSE TECHNICAL INFORMATION CENTER*.
- SSB. (2014, Mars 1). *Folkemengden, grunnkrets*. Hentet fra <https://www.ssb.no/folkemengde>
- Statens vegvesen. (2014). www.vegvesen.no. Hentet fra Så mye koster det å bygge en meter veg: <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/s%C3%A5-mye-koster-det-%C3%A5-bygge-en-meter-vei>
- Statens vegvesen. (2015). *Riksvegutredningen 2015*.
- Statens Vegvesen. (2016). *Høring - Forslag til ny håndbok N100 Veg- og gateutforming*. Hentet fra [vegvesen.no](http://www.vegvesen.no): https://www.vegvesen.no/_attachment/1659115/binary/1154475?fast_title=H%C3%B8ringsbrev.pdf
- Tientrakool, Patcharinee, Ho, Ya-Chi, Maxemchuk, & Nicolas, M. (2011). Highway Capacity Benefits from Using Vehicle-to-Vehicle Communication and Sensors for Collision Avoidance. *Vehicle Technology Conference (VTC Fall)*.
- TØI. (2014). *Trafikksikkerhetshåndboka*.
- U.S. Department of Transportation, N. H. (2008). U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, July 2008, "National Motor Vehicle Crash Causation Survey Report to Congress. *DOT HS 811 059*.
- Vegdirektoratet . (2014). *Håndbok N100 Veg- og gateutforming*.
- Vegdirektoratet. (2014). *Håndbok V120 Premisser for geometrisk utforming av veier*.
- Vegdirektoratet. (2016). ITS er på vej.
- Vegdirektoratet. (2017). <http://www.vejdirektoratet.dk/DA/om-os/nyheder-og-presse/nyheder/Sider/Fremtidsscenarioer-med-selvk%C3%B8rende-biler.aspx>. Hentet fra www.vejdirektoratet.dk.
- Vegdirektoratet. (2017). http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/temaer/Selvkoerendebiler/Sider/default.aspx.



**UTARBEIDET FOR VEGDIREKTORATET
FEBRUAR 2018**