

Nye Veier

Vegdirektoratet

► **Vurdering av økt hastighet i T9,5 profil**

Oppdragsnr.: 5207710 Dokumentnr.: Versjon: 01 Dato: 2021-04-30



Oppdragsgiver: Nye Veier
Vegdirektoratet

Oppdragsgivers kontaktperson: Per Qvalben

Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika

Oppdragsleder: Jens Petter Henriksen

Fagansvarlig: Gro Aanesland Dahle, John Olav Bjørstad, Christopher Garmann

Andre nøkkelpersoner: Lene Jermstad, Tore Bergundhaugen, Ida Hallebrand

01	2021-04-30	Oppdatert etter kommentarer	Lene Jermstad	Gro Aa.Dahle	Jens Petter Henriksen
00	2021-03-26	Høringsutkast	Lene Jermstad	Gro Aa.Dahle	Jens Petter Henriksen
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammendrag

I vegnormal N100 er det fastsatt nye føringer for standarder og dimensjonering av veier med ÅDT 6000 – 20 000, som åpner for smalere vegbredde når det bygges firefelts motorveg skiltet for 110 km/t.

For ÅDT intervall 6-12 000 kan byggherren etter samfunnsøkonomiske vurderinger avgjøre om det skal bygges to-trefeltsveg for 90 km/t, eller smal firefelts motorveg for 110 km/t. For ÅDT intervall 12 000 – 20 000 skal det etableres smal firefelts motorveg for 110 km/t. Det er i dag krav til tunnelprofil T9,5 for to-trefeltsveg med 90 km/t, og T10,5 for firefelts motorveg med 110 km/t for bygging av nye veier. Ifølge fartsgrensekriteriene er det tillatt med 110 km/t i tunneler med T9,5-profil på eksisterende motorveier.

Formålet med oppdraget er å fremskaffe grunnlag for å belyse forskjellene på tunnelprofil T10,5 og T9,5 med tanke på trafiksikkerhet, kostnader og bærekraft, gitt følgende avgrensninger/forutsetninger:

- Tunneler med to løp og enveistrafikk i hvert løp, toveistrafikk kun i avvikssituasjoner med redusert hastighet.
- Tunneler med ÅDT opptil 20 000 og maks lengde 4 km
- Motorveg skiltet for 110 km/t.
- Kjørebanebredde 3,5 m
- Forsterket kantoppmerking på 0,5 m (freste rumleriller)

Rapporten skal danne et beslutningsgrunnlag for Vegdirektoratet, ved å belyse fordeler og ulemper med designvalgene som er diskutert i arbeidsmøtene i prosjektet. Hovedmomentene som er vurdert er utforming av vegskulder i tunnelen og skiltplassering. Rapporten belyser også typiske reduserte kostnader ved T9,5 tunnelprofil kontra T10,5 tunnelprofil og et tilsvarende forenklet miljøregnskap.

Rapporten vurderer også løsningen med hensyn til Nasjonal transportplan sine fem mål for transportsektoren..

Vurderingene i rapporten baseres i stor grad på tidligere gjennomførte analyser og rapporter, samt arbeidsmøter med Nye Veier, Vegdirektoratet og Norconsult, der de ulike temaene i rapporten er diskutert.

Trafiksikkerhet

Påvirkning av redusert tunnelverrsnitt på ulykkesfrekvensen

Erfaring fra veg i dagen tilsier at smalere skulder medfører en økning i ulykkesrisikoen. Det vil være sannsynlig at dette også gjelder for tunneler. En reduksjon av skulderbredde (på veg i dagen) på 0,5 m tilsvarer ca. 6 % økning i ulykkesrisiko. Statistikken er ikke nødvendigvis direkte overførbart til tunnel, men det gir en indikasjon på hvilken påvirkning det har.

Studier viser at kjøreadferden endrer seg i tunneler, og et smalere tunnelprofil vil antagelig forsterke disse forholdene og dermed bidra til en økning i risikoen. Smalere tunnelprofil vil trolig bidra til at man øker avstanden fra kantlinjen, slik at bilene i de to kjørefeltene vil være nærmere hverandre ved forbikjøring.

Selv om forholdene omtalt over tilsier at risikoen vil øke med et smalere tunnelprofil antas det at økningen vil være begrenset, og at avbøtende tiltak, slik som forsterket kantoppmerking og endret skiltplassering/ redusert skiltstørrelse, vil bidra til å redusere risikoen. Forsterket kantoppmerking har vist seg å ha svært god effekt som et risikoreduserende tiltak. Det bemerkes imidlertid at den risikoreduserende effekten øker med økende skulderbredde. Det forventes at tiltaket vil ha god effekt også i tunneler med et T9,5-profil, men oppnådd risikoreduserende effekt vil trolig være noe lavere enn for tilsvarende kantoppmerking i tunnel med bredere skulderbredde.

Ulykkesrisikoen knyttet til tunneler er erfaringsvis knyttet til portalene og utfordringer forbundet med sikt, lysforhold og glatt føre i portalområdene. Det er ikke funnet statistikk som tilsier at risikoen forbundet med portalområdene vil være større for et T9,5-profil enn for et T10,5-profil.

Hendelsesstatistikk fra eksisterende tunneler gir ikke grunnlag for å konkludere med at et smalere tunnelprofil gir flere hendelser eller hendelser med mer alvorlige konsekvenser. Konklusjonen er imidlertid usikker da det statistiske grunnlaget er begrenset.

Kjørehastighet

Sannsynligheten for alvorlige ulykker øker generelt med økt hastighet. Vegdirektoratet ønsker generelt ikke å skilte ned fartsgrensene i tunneler, da dette kan utgjøre en risiko i seg selv. For å redusere risiko i tunnelen som følge av økt hastighet, er det derfor foreslått avbøtende tiltak, i form av forsterket kantoppmerking og endret skiltplassing/redusert skiltstørrelse. Forsterket kantoppmerking vil kompensere noe for økt hastighet i tunnelen. Fører vil varsles tidligere om at kjøretøyet er på veg ut av vegbanene, noe som gir større reaksjonsvindu. Smalere skulder vil imidlertid uansett redusere manøvreringsrommet for føreren med 0,5 m i T9,5-profil mot et T10,5-profil.

Sårbarhet ved hendelser – fremkommelighet for nødetatene

Smalere skulderbredde innebærer at fremkommeligheten for nødetatene vil være redusert i et T9,5-profil sammenlignet med et T10,5-profil.

Den største utfordringen vurderes å være faren for at en hendelse medfører at kjøretøy kjører for nær tunnelveggen når nødetatene skal frem, og at evakueringsveien dermed blokkeres. I et T10,5-profil vil opphøyd skulder være bredere og rømningsveien vil være intakt selv om kjøretøy parkerer/kjører helt inntil opphøyd skulder. Ved smal opphøyd skulder vil man ikke oppnå den samme beskyttelsen av evakueringsveien.

Ved en hendelse vil kjøretøy kunne hope seg opp i tunnelen oppstrøms for hendelsen. Antall kjøretøy vil avhenge av stengetid og trafikkmengde på strekningen. Nye Veier har sett på statistikk for fordeling av antall kjøretøy i høyre og venstre felt på nye motorveger på E18 og E6. Tallene viser at det er betydelig større sjansje for at begge kjørefelt er «optatt» ved ÅDT 20 000 enn ved ÅDT 6000.

Faren for at utrykningskjøretøy ikke kommer seg fram ved en hendelse vurderes å være liten, men kan ikke utelukkes, og øker med økende ÅDT. Det vurderes at tunneler med T9,5-profil og trafikkmengder opp mot ÅDT 20 000 vil ha en økt sårbarhet ved hendelser.

Skulder

Det anbefales opphøyd skulder uten avfasing/utvidet skulder til fordel for tradisjonell opphøyd skulder. Det øker sannsynligheten for at biler blokkerer rømningsvegen ved en brann i tunnelen noe, men for rullestolbrukere vil det være en bedre løsning enn smal tradisjonell opphøyd skulder, som ansees som lite gunstig som rømningsvei for rullestol.

Skilting

Ulykkene som i størst grad påvirkes av redusert tunnelbredde er utforkjøring. Med økt hastighet i tunnelene ansees det derfor som uakseptabelt å ha sideplasserte skilt i standard størrelse når hastigheten i tunnelen øker, og skulderbredden reduseres. Det anbefales derfor at skilt monteres overhengende, eventuelt at det benyttes mindre skilt (LS), for å redusere sannsynligheten for påkjørsel av installasjoner i tunnelen.

ÅDT

Statistikken for påvirkningen av ÅDT på ulykkesfrekvensen i tunnel er usikker. Statistikk fra motorveg i dagen viser at ved ÅDT opp mot 20 000 vil trafikken fordeles ganske jevnt mellom høyre og venstre felt. Når trafikkmengden er høy forventes det at hastigheten vil reduseres. Siden vegbanebredden er den samme som i dagen skal i utgangspunktet bilene ha tilsvarende plass til filskifte som i dagen. Tunnelbredden kan

imidlertid gjøre at bilister legger seg nærmere midtlinjen, noe som kan øke ulykkesrisikoen. Det forventes likevel at dette bidraget vil være lite.

Det er ikke funnet statistikk som indikerer at trafikkmengder opp mot ÅDT 20000 medfører en høyere ulykkesrisiko i tunnelen enn trafikkmengder rundt ÅDT 6000. Økende mengde ÅDT innebærer imidlertid en større sannsynlighet for at det oppstår hendelser i tunnelen (selv om ulykkesfrekvensen er uendret).

Fremtidig teknologi

Alvorlighetsgraden på ulykkene øker når farten øker. Fremtidig teknologi vil sannsynligvis innebære både at vi overholder fartsgrensene og at faren for sammenstøt med andre kjøretøy og/eller tunnelvegg reduseres. Det vil likevel være et godt stykke fram i tid før kjøretøyparken er byttet ut og vi kan ta høyde for effekten av disse risikoreducerende teknologiske tiltakene. Valg om redusert tverrsnitt bør derfor være basert på en vurdering av om dette tverrsnittet gir akseptabel trafikksikkerhet også gitt dagens kjøretøypark og kjøreadferd.

Usikkerhet

For å vurdere trafikksikkerheten er det benyttet statistikk og analyser gjennomført av TØI, Statens Vegvesen, Nye Veier, med flere, som underlag. Statistikken er ikke alltid entydig, og det er derfor usikkerhet knyttet til resultatene. I tillegg er det begrenset tilgang til statistikk/erfarte hendelser i lignende tunneler (T9,5-profil med fartsgrense 110 km/t) som grunnlag for vurderingene.

Bærekraft

Ved å redusere tunneltverrsnittet fra T10,5 til T9,5 reduseres klimagassutslippet fra materialbruk og anleggsprosesser i anleggsfasen med 6 %, fra 4,4 tonn CO₂ per løpemeter tunnel til 4,1 tonn CO₂/lm.

De største besparelsene ved å redusere tverrsnittet fra T10,5 til T9,5 ligger i reduserte mengder betong for vann- og frostsikringen, sprøytebetong for bergsikringen, asfalt, grus/pukk, sprengstoff og diesel til anleggsmaskiner og massetransport.

Samfunnsnytte

Det er gjennomført et enkelt overslag for økonomiske besparelser som en følge av å endre fra tunnelprofil T10,5 til T9,5.

Overslaget er basert på en typisk toløps-tunnel med ÅDT på under 20 000 utenfor bystrøk. Med forutsetningene som er satt tilsvarer redusert tverrsnitt en redusert entreprisestkostnad på kr. 16.000,- og redusert prosjektkostnad på kr. 20.000 pr lm tunnel for toløps-tunnelen som er brukt som regneeksempel.

Sparte samfunnsøkonomiske kostnader som følge av reduserte investeringskostnader ved å redusere tunnelbredden, må veies opp mot reduserte samfunnsøkonomiske nyttevirkninger i form av lavere faktisk kjørehastighet og økt ulykkesrisiko. Det er gjennomført et regneeksempel for en tunnel på 3000 m, 110 km/t fartsgrense og ÅDT 10 000. Med de benyttede standardforutsetningene er kostnadsbesparelsen ved å redusere veibredden klart større enn det samfunnsøkonomiske nyttetapet fra redusert hastighet og økte ulykkeskostnader:

		Nåverdi 40 år*	Nåverdi 75 år*
1	Trafikantnytte	-14,0	-18,9
2	Ulykkeskostnad	-2,6	-3,5
3	Investeringskostnad	56,0	56,0
4=1+2+3	Netto	39,5	33,7

* Positive tall er endringer som bidrar til økt netto nytte. Negative tall er endringer som bidrar til redusert netto nytte. Millioner kroner, 2020-priser. Åpningsår 2025.

Reduksjonen i trafikanntnyten (kroneverdien av den økte tidsbruken) utgjør fjerdedel av reduksjonen i investeringskostnaden på 56 millioner kroner med levetid 40 år og litt mer med levetid 75 år. Økningen i ulykkeskostnader blir liten sammenlignet med de øvrige endringene, i størrelsesorden fem prosent av reduksjonen i investeringskostnadene.

Ved endret ÅDT vil investeringskostnaden være uendret, men trafikanntnyten og ulykkeskostnaden endrer seg proporsjonalt med ÅDT-verdien. Det er trafikanntnyten som er særlig utslagsgivende i den samlede oppsummeringen. Variasjonen i ÅDT gir store utslag på beregnet nåverdi. Ved ÅDT 6 000 er netto nåverdi nesten fire ganger større enn ved ÅDT 20 000.

	Trafikanntnytte	Netto nåverdi ved 75 år
Basisberegning (ÅDT 10 000)	-18,9	33,7
ÅDT 20 000	-37,7	11,5
ÅDT 12 000	-22,6	29,3
ÅDT 6 000	-11,3	42,7

Samlet sett tyder regneeksemplene på at 9,5 meters tunnelbredde på motorveitunneler generelt sett kan rettferdiggjøres ut fra samfunnsøkonomiske vurderinger basert på Vegvesenets standard forutsetninger og de hastighetsreduksjoner og endringer i ulykkesrisiko som her er lagt til grunn.

► Innhold

1	Innledning	9
1.1	Bakgrunn	9
1.2	Formål	9
1.3	Avgrensninger	9
1.4	Forutsetninger	9
1.5	Nasjonal transportplan sine fem mål for transportsektoren.	10
1.6	Arbeidsomfang	11
1.6.1	<i>Gjennomførte arbeidsmøter</i>	11
2	Gjeldende regelverk	12
2.1	Vegnormaler	12
2.1.1	<i>N100 Veg- og gateutforming</i>	12
2.1.2	<i>N300 Trafikkskilt</i>	12
2.1.3	<i>N302 Vegoppmerking</i>	12
2.1.4	<i>N500 Vegtunneler</i>	12
2.1.5	<i>V721 Risikovurderinger i vegtrafikken</i>	13
2.1.6	<i>Veileder for risikoanalyser av vegtunneler</i>	13
2.1.7	<i>R511 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler</i>	13
2.1.8	<i>NA-rundskriv 2021/01 Fartsgrensekriterier</i>	13
2.2	Tunnelsikkerhetsforskriften	13
2.3	Krav til universell utforming	14
2.4	Brann og eksplosjonsvernloven	14
3	Grunnlag for analysen	15
3.1	Tidligere utført arbeid	15
3.2	Ulykkesrisiko i tunnel	17
3.2.1	<i>Ulykkesstatistikk tunnel</i>	17
3.2.2	<i>Erfaringer fra andre tunneler</i>	19
4	Hovedmomenter til vurdering/designvalg	21
4.1.1	<i>Kjørefeltbredde</i>	21
4.1.2	<i>Avstand mellom opphøyd skulder og kjørebane kant</i>	21
4.1.3	<i>Opphøyd skulder (bankett)</i>	22
4.1.4	<i>Skilt</i>	25
5	Trafikksikkerhet	30
5.1	Ulykkesrisiko ved mindre tunnelbredde	30
5.2	Ulykkesrisiko ved høyere hastighet	32
5.3	Brann	33
5.3.1	<i>Innsats brannvesenet</i>	33

5.3.2	<i>Evakuering</i>	34
5.4	Påvirkning av tunnelegenskaper	34
5.4.1	<i>Stigning</i>	34
5.4.2	<i>Tunnellengde</i>	35
5.4.3	<i>Andel tunge kjøretøy</i>	35
5.4.4	<i>ÅDT</i>	36
5.4.5	<i>Toveistrafikk i ett løp</i>	36
5.5	Oppsummering trafiksikkerhet	36
6	Bærekraft	39
6.1	Metodikk og systemgrenser	39
6.2	Beregningsverktøy	39
6.3	Funksjonell enhet	39
6.4	Resultater	40
6.5	Vurdering og konklusjon	41
7	Investeringskostnader	42
8	Samfunnsøkonomiske vurderinger	43
8.1	Forutsetninger	43
8.2	Resultater	44
8.3	Oppsummerende vurderinger	46
9	Konklusjon	47
9.1	Usikkerhet	47
9.2	Vurdering opp mot Nasjonal transportplan sine fem mål	47
9.2.1	<i>Nullvisjon for drepte og hardt skadde</i>	47
9.2.2	<i>Bidra til oppfyllelsen av Norges klima- og miljømål</i>	48
9.2.3	<i>Mer for pengene</i>	48
9.2.4	<i>Effektiv bruk av ny teknologi</i>	49
9.2.5	<i>Enklere reisehverdag og økt konkurranseevne for næringslivet</i>	50
9.3	Avbøtende tiltak	50
9.4	Videre arbeid	51
10	Kilder	52
	Vedlegg 1 – Inndata beregninger bærekraft	54
10.1	Tunneltverrsnitt	54
10.2	Utelatte elementer	56
10.3	Utslippsfaktorer	57

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I vegnormal N100 er det fastsatt nye føringer for standarder og dimensjonering av veger med ÅDT 6000 – 20 000, som åpner for å etablere smal firefelts motorveg skiltet for 110 km/t.

For ÅDT intervall 6000 -12 000 kan byggherren etter samfunnsøkonomiske vurderinger avgjøre om det skal bygges to-trefeltsveg for 90 km/t, eller smal firefelts motorveg for 110 km/t. For ÅDT intervall 12 000 – 20 000 skal det etableres smal firefelts motorveg for 110 km/t. Det er i dag krav til tunnelprofil T9,5 for to-trefeltsveg med 90 km/t, og T10,5 for firefelts motorveg med 110 km/t for bygging av nye veger. Ifølge fartsgrensekriteriene er det tillatt med 110 km/t i tunneler med T9,5-profil på eksisterende motorveger.

Norconsult er bedt om å utarbeide en rapport som vurderer konsekvenser ved at toløpstunneler med tunnelprofil T9,5 skiltes til 110 km/t.

1.2 Formål

Formålet med oppdraget er å fremskaffe grunnlag for å belyse fordeler og ulemper med tunnelprofil T10,5 og T9,5 med tanke på trafikksikkerhet, kostnader og bærekraft, gitt forutsetningene og avgrensningene som beskrevet i kapittel 1.3 og 1.4. Rapporten skal danne et beslutningsgrunnlag for Vegdirektoratet, ved å belyse fordeler og ulemper med designvalgene som er diskutert i arbeidsmøtene i prosjektet.

Rapporten skal også vurdere løsningen med hensyn til Nasjonal transportplan sine fem mål for transportsektoren., med hovedfokus på trafikksikkerhet/nullvisjonen.

1.3 Avgrensninger

- Rapporten vurderer:
 - Tunneler med to løp. Enveistrafikk i hvert løp.
 - Eventuell toveistrafikk i tunnellopene gjelder kun i avvikssituasjoner, med redusert hastighet.
 - Tunneler med ÅDT opptil 20 000.
 - Motorveg skiltet for 110 km/t.
- I henhold til N500 bør tunnallengden for bytunneler og motorvegtunneler begrenses og bør ikke være lengre enn 4 km. Kravet har bakgrunn i risiko knyttet til brann i tunneler. Rapporten vurderer derfor tunneler opp til 4 km.
- Prosjektet har fokus på sikkerhet, og skal i utgangspunktet ikke fokusere på drift. Prosjektet må likevel tilse at det ikke presenteres løsninger som er lite hensiktsmessig for drift. Prosjektet skal ikke gå i detaljer på tekniske løsninger, men må sørge for at funksjonene ivaretas, og at det presenteres et konsept som ikke gir økt vedlikeholdsbehov og redusert opetid, og som ivaretar HMS for drift.
- Det er ikke hentet inn uttalelser fra brannvesenet, tungtrafikknæringen eller handikapforbundet i forbindelse med denne rapporten.

1.4 Forutsetninger

- Vegbredde i tunnelen er 3,5 m
- Det forutsettes forsterket kantoppmerking på 0,5 m (nedfreste sinusriller)
- Krav til stoppsikt økes slik at den tilfredsstiller krav for 110 km/t

1.5 Nasjonal transportplan sine fem mål for transportsektoren.

I nasjonal transportplan for 2022-2033 er det fastsatt fem overordnede mål for transportsektoren, som skal ivareta et langsiktig mål om et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050 /6/.



Figur 1-1 Overordnede mål for transportsektoren fra Nasjonal transportplan 2022-2033 /6/.

Statens vegvesen har fastsatt fem mål i sin virksomhetsstrategi, som skal ivareta hovedmålene i Nasjonal transportplan for 2022-2033 /7/:



Figur 1-2 Statens vegvesens strategiske mål mot 2030

Tunnelløsningen i rapporten skal vurderes med hensyn til Nasjonal transportplan sine fem mål for transportsektoren. Det viktigste målet å oppfylle vil være trafikksikkerheten/nullvisjonen. Det er en forutsetning at trafikksikkerhet er ivarettatt for at løsningen kan anbefales.

1.6 Arbeidsomfang

Vurderingene i rapporten baseres i hovedsak på gjennomgang av eksisterende underlag. Arbeidet består i å gjennomgå dagens regelverk (gjennomgått i kapittel 2), samt gjennomgang av tidligere utarbeidete rapporter og analyser (oppsummert i kapittel 3.1).

Norconsult skal belyse fordeler og ulemper med redusert vegbredde fra T10,5 til T9,5 i tunneler, og hvilke valg og avbøtende tiltak som i så fall bør implementeres.

Det er gjennomført arbeidsmøter med Nye Veier, Vegdirektoratet og Norconsult for å diskutere ulike tema underveis i arbeidet.

1.6.1 Gjennomførte arbeidsmøter

Tabell 1 oppsummerer deltakerne i de ulike arbeidsmøtene som ble gjennomført i prosjektet. Følgende arbeidsmøter ble gjennomført i mars 2021:

Arbeidsmøte 1 – Utforming skulder/bankett, gjennomgang av ulike løsninger for utforming av sidearealet i tunnelen.

Arbeidsmøte 2 – Skilt i tunnel, gjennomgang av krav til skilt og ulike løsninger for skiltstørrelse/plassering.

Arbeidsmøte 3 – Trafikksikkerhet, gjennomgang av ulike aspekter ved redusert tunnelbredde og økt hastighet i tunnel, som kan ha påvirkning på trafikksikkerheten.

Arbeidsmøte 4 - Utforming skulder/bankett, vurdering av ulike løsninger med hensyn på evakuering i tunnelen.

Arbeidsmøte 5 – Kostnader og bærekraft, gjennomgang av grunnlaget for beregning av kostnader og klimapåvirkning, samt gjennomgang av Statens vegvesens hovedmål.

Tabell 1 Oversikt over deltakere i prosjektets arbeidsmøter

Deltakere			Arbeidsmøte				
Virksomhet	Navn	Rolle	1	2	3	4	5
Nye Veier	Tone Strandli	Seniorrådgiver trafikksikkerhet	X	X	X		X
Nye Veier	Per Qvalben	Seniorrådgiver veiutforming	X	X	X		X
Vegdirektoratet	Yohannes Gulema	N100 Vegnormaler	X	X	X		X
Vegdirektoratet	Mona Lindstrøm	N500 Tunneler	X	X	X		X
Vegdirektoratet	Jon Flydal	N300 Trafikkskilt		X			
Vegdirektoratet	Arild Engebretsen	Trafikksikkerhet			X		
Vegdirektoratet	Oddvar Kaarmo	Tunnel				X	
Norconsult	Jens Petter Henriksen	Oppdragsleder	X	X	X	X	X
Norconsult	John Olav Bjørstad	Tunnel	X	X	X	X	
Norconsult	Gro Aanesland Dahle	Sikkerhetsrådgiver	X	X	X	X	X
Norconsult	Lene Jermstad	Skkerhetsrådgiver	X	X	X	X	X
Norconsult	Tore Bergundhaugen	Skilt		X			

2 Gjeldende regelverk

Relevante vegnormaler, standarder og forskrifter er oppsummert i kapitlene under. Krav som er relevante for denne rapporten fra de ulike regelverkene er kort oppsummert.

2.1 Vegnormaler

2.1.1 N100 Veg- og gateutforming

Håndbok N100 angir krav til veg- og gateutforming, inkludert krav til linjeføring, sikt og tunnelprofiler for de ulike tunnelklasser/dimensjoneringsklasser (/16/).

Følgende nye føringer for standarder og dimensjonering gjelder for veger med ÅDT 6 000 – 20 000 i N100 /36/:

- Ved ÅDT 6 000 – 12 000 bør det i utgangspunktet bygges 2/3-feltsvei med midtrekkverk og fartsgrense 90 km/t. Det skal imidlertid åpnes for firefelts motorvei med fartsgrense 110 km/t dersom samfunnsøkonomiske analyser i det konkrete prosjektet tilsier at dette er fornuftig.
- Motorvei i ÅDT-segmentet 6 000 – 12 000 skal ha en bredde mellom 19,0-21,5 meter (0,5- 2,0 meter midtdeler og 1,5-2,0 meter skulderbredde). Dersom det skal etableres skulderbredde smalere enn 2,0 meter må det benyttes avbøtende tiltak.
- Motorveier i ÅDT-segmentet 12 000 – 20 000 skal bygges som firefeltsvei med fartsgrense 110 km/t og ha en bredde mellom 20,0 til 23,0 meter (0,5-2,0 meter midtdeler og 2,0-2,75 meter skulderbredde). Ved skulderbredde smalere enn 2,75 meter må det benyttes avbøtende tiltak.

Krav til tunnelprofil

Nasjonal hovedveg H3, med ÅDT > 12000 og fartsgrense 110 km/t, krever toløps T10,5 tunnelprofil.

Nasjonal hovedveg H5, med ÅDT 6000 – 12000 og fartsgrense 90 km/t, har flere forskjellige kriterier mht. tunnelprofil, knyttet opp til både lengde og ÅDT. Om to løp velges skal disse bygges med toløps T9,5 tunnelprofil (og fartsgrense 90 km/t).

2.1.2 N300 Trafikkskilt

Håndbok N300 inneholder tekniske bestemmelser og retningslinjer for anvendelse og utforming av offentlige trafikkskilt (/17/). Relevante krav fra N300 er oppsummert i kapittel 4.1.4.

2.1.3 N302 Vegoppmerking

Håndbok N302 beskriver vegoppmerkingssystemet og hvordan dette skal anvendes (/18/).

Krav forsterket kantoppmerking

Forsterket vegoppmerking er vegoppmerking som er forsterket med fresing i asfaltdekket. Hensikten med fresingen er å gi vibrasjon i kjøretøyet. Forsterket vegoppmerking kan benyttes på veger med fartsgrense \geq 70 km/t. Forsterket vegoppmerking skal utføres som nedfreste sinusriller.

2.1.4 N500 Vegtunneler

Håndbok N500 Vegtunneler gjelder alle typer vegtunneler på offentlig veg (/3/). Relevante krav fra N500 er oppsummert i kapittel 4.1.3.

2.1.5 V721 Risikovurderinger i vegtrafikken

Veiledning til gjennomføring av risikoanalyser for vegprosjekter. Veilederen retter seg først og fremst til de som jobber med vegplanlegging, vegforvaltning, drift og vedlikehold (/19/).

2.1.6 Veileder for risikoanalyser av vegtunneler

Veileder for gjennomføring av risikoanalyser i vegtunneler (/20/). Formålet med denne veilederen er å gi en beskrivelse av når risikoanalyser skal gjennomføres og hvilke typer analyser som er aktuelle til ulike formål, samt en innføring i hvordan analysene kan gjennomføres. Veilederen angir spesielle særtrekk ved tunnelen som påvirker behov for risikoanalyse.

2.1.7 R511 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler

Formålet med håndboken er å oppnå et ensartet minimum sikkerhetsnivå i vegtunneler på riksvegnettet for alle trafikanter og alle som skal utføre arbeider i tunnelene (/21/). Håndboka sier blant annet at det skal utføres en risikoanalyse for å avgjøre om tunge kjøretøy skal tillates å kjøre forbi i tunneler med mer enn ett kjørefelt i hver retning.

2.1.8 NA-rundskriv 2021/01 Fartsgrensekriterier

Statens vegvesen har utarbeidet kriterier for når de ulike fartsgrensene skal benyttes. Det ligger grundige vurderinger bak fartsgrensekriteriene, som er basert på kunnskap om sammenhengen mellom fart, risiko og ulykker (/22/).

Generelle bestemmelser for bruk av 90-110 km/t - Risikovurderinger og ulykkesanalyser

Risikovurderinger skal alltid gjennomføres for:

- Tunneler med stigning over 5 % eller lengde over 3 km. Det skal da spesielt ses på sikt, kjørefeltbredde, skulderbredde, utforming av havarinisjer og eventuelt andre påkjøringsfarlige elementer.
- Strekninger med høy andel tungtrafikk (over 20 %)

Krav til 4-felts motorvei eksisterende veg, fartsgrense 100 km/t og 110 km/t

Tunneler bør ha fartsgrense som vegen for øvrig. Tunnelprofilen skal være minimum T9,5 m.

2.2 Tunnelsikkerhetsforskriften

Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften) (/1/) stiller krav til tunneler over 500 m på det transeuropeiske vegnettet og på andre riksveger. Formålet med forskriften er å sikre laveste tillatte sikkerhetsnivå for trafikanter i tunneler ved krav til å forebygge kritiske hendelser som kan sette menneskeliv, miljøet og tunnelanlegg i fare og til å sørge for vern i tilfelle av ulykker.

Forskriften sier at det ved utforming av en tunnels tverrsnittsgeometri og horisontale og vertikale profil, samt atkomstvegene, skal det tas spesielt hensyn til sikkerheten, da disse parameterne har en betydelig innvirkning på sannsynligheten for ulykker og for hvor alvorlige de blir.

Forskriften stiller også krav til at det i nye tunneler uten havarifelt skal finnes nødfortau, enten oppbygd eller ikke, til bruk for trafikantene i tunnelen i tilfelle av havari eller ulykke. Denne bestemmelsen får ikke anvendelse dersom særtrekk ved tunnelens konstruksjon ikke muliggjør det eller muliggjør det bare til en uforholdsmessig høy kostnad og tunnelen har enveistrafikk og er utstyrt med et fast overvåkningssystem og system for stenging av kjørefelt.

2.3 Krav til universell utforming

Diskriminerings- og tilgjengelighetsloven- §17 stiller krav til universell utforming (/23/). Loven sier at offentlige og private virksomheter rettet mot allmennheten har plikt til universell utforming av virksomhetens alminnelige funksjoner, såfremt dette ikke innebærer en uforholdsmessig byrde for virksomheten. Med universell utforming eller tilrettelegging av hovedløsningen i de fysiske forholdene, inkludert informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT), slik at virksomhetens alminnelige funksjoner kan benyttes av flest mulig, uavhengig av funksjonsnedsettelse.

2.4 Brann og eksplosjonsvernloven

Brann og eksplosjonsvernloven §13 stiller krav til særskilte brannobjekt (/2/). Iht. forskriften er tunneler definert som et særskilt brannobjekt, som kan medføre tap av mange liv eller store skader på helse, miljø eller materielle verdier.

Kommunen skal sørge for at det føres tilsyn i særskilte brannobjekter for å påse at disse er tilstrekkelig sikret mot brann. Tilsynet skal omfatte alle forhold av betydning for brannsikkerheten, herunder bygningsmessige, tekniske, utstyrmessige og organisatoriske brannsikringstiltak og forhold av betydning for gjennomføring av brannbekjempelse og øvrig redningsinnsats.

3 Grunnlag for analysen

3.1 Tidligere utført arbeid

Dette kapittelet oppsummerer kort tidligere gjennomførte analyser og vurderinger som danner grunnlaget for rapporten.

Moderne vegtunneler – strategirapport (/13/)

FoU-programmet Moderne vegtunneler (2008-2011) gir forslag til hvordan norske tunneler skal planlegges, bygges, vedlikeholdes og oppgraderes, samt når man skal velge tunnel fremfor andre løsninger. I rapporten ble det konkludert med at tunnelprofil T10,5 skal brukes for alle vegtunneler (også toløps-tunneler) med ÅDT større enn 1 500 for å gi plass til forsterket midtoppmerking.

Hovedargumentene for å anbefale tunnelprofil T10,5 i rapporten er:

- For å få samme vegbredde som veg i dagen
- For å få plass til forsterket midtoppmerking
- For å tilrettelegge for økt ÅDT i fremtiden
- For å tilrettelegge for innsats
- T10,5 gir bedre sikt i tunnelen enn T9,5
- For å få økt avstand til installasjoner på tunnelveggen

For løsningen som vurderes i denne rapporten er det forutsatt samme kjørefeltbredde i tunnelene som i dagsonen (kjørefeltbredde 3,5 m). Forholdet som gjelder forsterket midtoppmerking vil ikke være relevant når det forutsettes enveistrafikk i tunnelene i normal drift. Følgelig vil det være de fire nederste punktene som vil være relevante for tunnelene som vurderes i denne rapporten.

Risikoanalyse, Betydning av tunnelprofil T9,5 vs. T10,5 (Safetec, 2020 /24/)

I forbindelse med prosjektering av ny E6 mellom Kvithammar og Åsen gjennomførte Safetec en risikoanalyse for å se på hvilken betydning valg av tunnelprofil T9,5 fremfor T10,5 kan få for sikkerheten, som et supplement til Nye Veiers søknad til Vegdirektoratet om fravik fra kravet om tunnelprofil T10,5 for de aktuelle tunnelene på strekningen.

Analysen vurderer risiko ved redusert tunneltværsnitt for fem toløpstunneler med planlagt fartsgrense 110 km/t. Det er blant annet sett på ulykkesdata fra fire eksisterende tunneler med tilsvarende karakteristikk. I tillegg vurderer rapporten påvirkningen på andre fagområder. Konklusjonene fra rapporten mtp. ulykkesrisiko er oppsummert i kapittel 3.2.2.

Kjørefart og personskadeulykker på motorveger med fartsgrense 100 km/t (SVV, 2004 /25/)

Fra 2001 – 2003 ble fartsgrensen på noen motorveger hevet fra 90 km/t til 100 km/t, på seks strekninger med en samlet lengde på ca. 100 km. Denne undersøkelsen viser hvilke erfaringer som er høstet i denne forbindelse. Generelt sett viser undersøkelsen at kjørefarten økte med 3 – 5 km/t, men at det ikke ble registrert noen endring i antall ulykker eller ulykkenes alvorlighetsgrad. Dette resultatet har sannsynligvis sammenheng med at det samtidig ble gjennomført flere trafikksikkerhetstiltak på strekningene.

Endring av fartsgrense – en før- og etteranalyse av fartsgrenseendring fra 100 km/t til 110 km/t (SVV, 2019 /26/)

I 2014 ble fartsgrensen på enkelte motorvegstrækninger i Østfold, Akershus og Vestfold hevet fra 100 km/t til 110 km/t. Strekningene som ble valgt hadde spesielt god standard og utgjorde en samlet lengde på 163,7 km, og har ÅDT på ca. 25 000 – 30 000. For å evaluere effektene den endrede fartsgrensen har hatt på

faktisk kjørefart og ulykker/skader (skadegrader) har Statens vegvesen gjennomført en før- og etteranalyse. Ved å korrigere tallene i førsituasjonen (med fartsgrense 100 km/t) for økningen i trafikkvolum og den generelle trendutviklingen i trafikksikkerhet, er det beregnet et forventet antall skader/ulykker i ettersituasjonen dersom fartsgrensen ikke hadde blitt endret. Dette tallet er sammenliknet med de registrerte tallene i ettersituasjonen, for å beregne de aktuelle endringene som skyldes selve fartsgrensendringen. Rapporten skiller ikke mellom ulykker i tunnel eller i dagsone.

Undersøkelsen viser at farten øker når fartsgrensen settes opp fra 100 km/t til 110 km/t, men noe mindre enn det en kunne forvente fra tidligere erfaringer. Samlet øker farten for lette kjøretøy med 2,6 km/t i venstre kjørefelt (fra 111,7 til 114,3 km/t) og 2,5 km/t (fra 101,7 til 104,2 km/t) når fartsgrensen økes fra 100 km/t til 110 km/t. For tunge kjøretøy reduseres hastigheten med 0,3 km/t (fra 97,0 til 96,6 km/t) i venstre felt, og med 0,9 km/t (fra 87,7 til 96,6 km/t) i høyre felt.

Høyere fart gjør at det blir flere ulykker og at utfallet av ulykkene som skjer blir mer alvorlig. Resultatene viser at antall ulykker øker med 3,8 % (tilsvarende 4,1 ulykker per år), og at antallet drepte og hardt skadde øker med 26,0 % (tilsvarende 3,9 hardt skadde eller drepte per år). Antallet lette skader reduseres med 10,2% (tilsvarende 16,4 lette skader per år).

Trafikksikkerhet på 4-felts motorveg og motortrafikkveg (Trafitec, 2020 /27/)

Analyse av trafikksikkerhet knyttet til utforming av 4-felts motorveg. Det er gjort analyser av et datasett bestående av 300 km 4-feltsveg inndelt i 29 delstrekninger, med varierende ÅDT, fartsgrenser, veg- og skulderbredder. Strekningene er deler av E6, E16 og E18.

Vegbredde motorveg / 4-feltsveg 90 – 110 km/t – Vurdering og sammenstilling av datamateriale (Multiconsult, 2020 /28/)

I dette notatet blir ulykkesdata fra strekninger på E6, E16 og E18 analysert. Analysen er basert på Trafitec sin analyse av trafikksikkerhet knyttet til utforming av 4-felts motorveg. Strekningene har varierende fartsgrense fordelt på 90, 100 og 110 km/t og varierende skulderbredde innenfor den enkelte fartsgrense igjen. Materialet har derfor blitt splittet opp, noe som har medført at grunnlagsdataene for den enkelte type strekning har blitt relativt begrenset. Selve ulykkesrapportene har ikke vært tilgjengelig. Materialet viser at det er en svak tendens til at veier med smalere skulder har en høyere ulykkesfrekvens enn det en finner for veier med bredere skulder. Dette sees best ved fartsgrense 100 km/t der grunnlagsdataen ansees som best.

En ser antydninger til at veier med skulder 3 m har lavere ulykkesrisiko enn veier med smal skulder. Samtidig er det mange lokale forhold som kan påvirke ulykkesbildet. Anbefalingen i notatet at det gjøres nye vurderinger med mer omfattende grunnlagsdata for å få mer sikre resultater.

Notat NO-TUN-01, Hva kan gjøres for at tunnelprofil T9,5 kan skiltes 110 km/t (Norconsult, 2020 /29/)

Norconsult har på oppdrag fra Nye Veier utarbeidet et kort notat med forslag til hvilke valg og tiltak som må gjøres for at toløps tunnelprofil T9,5 kan skiltes med fartsgrense 110 km/t. Notatet fokuserer på utforming av sidearealet i tunnelen, samt krav til plassering og utforming av skilt.

Vurdering av om overhengende fartsgrenseskilt i tunnel vil være et fravik (Norconsult, 2021 /30/)

Notat utarbeidet av Norconsult for Nye Veier i 2021 for å gi en kortfattet redegjørelse for hva skiltforskrift og normalbestemmelser sier om bruk av overhengende skilt generelt, og mer spesifikt for fartsgrenseskilt.

Predikering av branner og ulykker i vegtunneler (TØI, 2019 /31/)

TØI har utviklet statistiske modeller for vegtunneler i Norge for å beregne normale antall kjøretøybranner personskadeulykker, antall ulykker med drepte eller hardt skadde og antall havarier, som en funksjon av en

rekke tunnelegenskaper (bl.a. trafikkmengde, lengde, antall løp, fartsgrense og stigninger). Rapporten bygger på tidligere kartlegginger av kjøretøyhendelser i ca. 1200 norske vegtunneler for perioden 2008-2017. Datagrunnlaget består av 296 branner, 1039 personskadeulykker og 169 antall ulykker med drepte eller hardt skadde.

3.2 Ulykkesrisiko i tunnel

3.2.1 Ulykkesstatistikk tunnel

Tunneler har som regel lavere ulykkesrisiko enn sammenlignbare veger i dagen, men risikoen for alvorlige ulykker kan i noen tilfeller være høyere enn på veger i dagen /3/.

Modellberegninger med norske ulykkesdata viser at tunneler i gjennomsnitt har 26 % færre personskadeulykker enn en veg i dagen når alt annet, inkludert trafikkmengden, er likt, men at antall drepte og hardt skadde er omtrent det samme som på veg i dagen /8/.

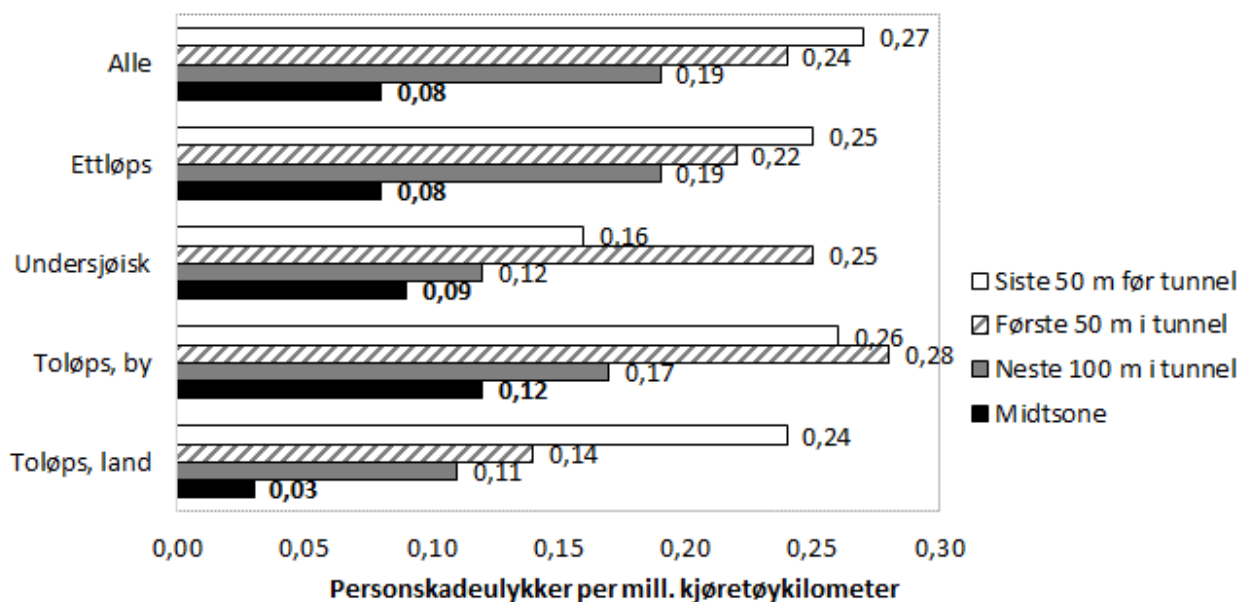
Ulykkesrisikoen generelt er langt lavere på motorveger enn på andre veger, til tross for høyere fartsgrense og høyere fart /11/. Basert på statistikk fra norske motorveger kan dette også stemme for tunneler. Antall ulykker pr million kjt.km er ca. tilsvarende for motorveg 110 km/t og 100 km/t i dagen og for motorveg i tunnel /12/. Antall drepte per million kjt.km er derimot lavere i tunnel, ca. 1/3 av antall drepte på motorveg med 110 km/t i dagen (0,0005 mot 0,0014 drepte per million kjt.km). Denne statistikken inkluderer ikke ulykker i portalområdet, og sier ikke noe om hastigheten i tunnel eller tunnelbredde. Statistikken er basert på lite datagrunnlag, og er derfor usikker.

Tunneler medfører en del spesifikke sikkerhetsutfordringer som skiller seg fra veger i dagen. Dette er bl.a. (/3/):

- Førere endrer kjøreatferd. Flere studier har vist at en del førere bremser ned når de kjører inn i en tunnel og at dette kan medføre økt ulykkesrisiko fordi trafikflyten forstyrres. Mange øker for eksempel avstanden fra kantlinjen og/eller bremser ned.
- Monotoni i lange tunneler øker risikoen for uoppmerksomhet og innsovning; en av de mest typiske faktorer som bidrar til ulykker i tunnel er trøtthet og/eller distraksjon.
- Det er vanskeligere å vurdere farten i tunneler, noe som kan medføre større fartsvariasjon og (især i kombinasjon med uoppmerksomhet) høyere risiko for påkjøring bakfra-ulykker. Det er også vanskelig å bedømme stigning og fall, som gjør at farten kan bli høy i nedoverbakker.
- Mange førere retter all oppmerksomheten på tunnelåpningen når de kjører inn i en tunnel uten å få med seg annen informasjon, for eksempel fra skilt.
- Portalene utgjør en risiko i seg selv. Tunnelportalen er et fast hinder som kan påkjøres, og lysforholdene endrer seg både når man kjører inn i en tunnel og ut av en tunnel. En annen faktor som kan bidra til høy ulykkesrisiko i den første delen av tunnelen er at vegen ved tunnelåpninger ofte ligger i skyggen og dermed kan være mer utsatt for glatt føre enn veger der sollyset slipper mer til.
- Ved ulykker eller brann kan fluktvegen være blokkert og redningsarbeidet kan være vanskeligere enn på veger i dagen.

Ulykkesrisikoen er som regel størst i inngangssonen og lavest i midtsonen. Ulykkesfrekvensen ved tunnelinngangene (50 m utenfor – 50 m innenfor) er ca. tre ganger så høy som i midten av tunnelene. I inngangssonen og ved tunnelportalen er eneulykker overrepresentert, mens møteulykker er overrepresentert

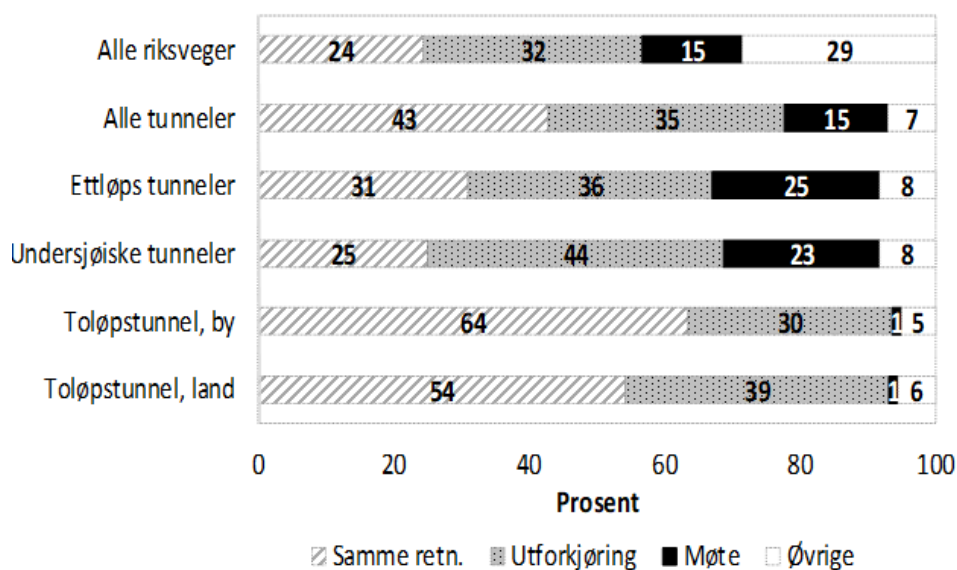
i midtsonen. Toløpstunneler har som regel (men ikke alltid) lavere ulykkesrisiko enn ettløpstunneler, og tunneler i spredtbygd strøk har i gjennomsnitt lavere ulykkesrisiko enn tunneler i byer.



Figur 3-1 Antall personskadeulykker per million kjøretøykilometer i ulike soner i tunneler (/3/)

Uønskede hendelser i tunnel

Figur 3-2 viser en fordeling av ulykkestyper i tunneler. Tunnelene vi ser på i denne rapporten er typisk landlige toløpstunneler (motorveg med lav ÅDT). Utforkjøring utgjør iht. ca. 39 % av ulykkene for denne type veg.



Figur 3-2 Fordeling av ulykkestyper i ulike tunneler (/8/).

Kjøreadferd og utrygghet i tunnel

Trafikanter kan oppleve utrygghet og frykt i tunnel, som kan påvirke kjøreadferden i tunnelen på flere måter. Tunnelens lengde, stigning og tverrsnitt kan ha påvirkning på opplevelsen. Bredde og opplevd bredde er en betydelig faktor for kjøreoппlevelsen.

Utrygghet er ikke statisk, men endrer seg med for eksempel mediaomtale, hendelser og opplevd risiko. Et konservativt estimat trukket frem av SINTEF tilsier at ca. 20–30 % av alle førere av motorkjøretøy kan ha en angst/frykt for tunneler, noe som igjen kan medføre til risikofylt atferd og opplevelse. Uønsket kjøreatferd som fremtrer som følge av angst og frykt kan karakteriseres etter tre typer kjøreatferd (/34/):

- Signifikant reduksjon i kjørehastighet
- Brå og uventet manøvrering
- Ekstreme hastigheter

Generelt vil kjøreadferden endres noe i tunnel:

- Redusert tunnelbredde kan øke stressnivået og øke risikoen for svekket oppmerksomhet
- Bilførere reduserer farten i tunneler på tross av at bredden på sidearealet er den samme som på en åpen veg
- Simulatorstudier viser at trafikanter ubevisst trekker unna tunnelveggen og plasserer kjøretøyet nærmere midtlinjen.

Effekten av dette kan reduseres med for eksempel lysere vegger, «riktig» portalutforming, buede vegger, lyssetting og kontraster i tunnelveggen og tak.

3.2.2 Erfaringer fra andre tunneler

Det er lite tilgjengelig statistikk på ulykker i høyhastighetstunneler på motorveg. Safetec har gjennomført en risikoanalyse som inkluderte fire tunneler med T9,5 og 100-110 km/t (ref. kapittel 3.1) (/24/).

Tunnelene er bygget iht. dagens regelverk, med tunneldata som oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2 Oversikt over tunneldata for tunneler inkludert i risikoanalysen

	Morskogtunnelen	Espatunnelen	Larvikstunnelen	Steinsåstunnelen
Åpningsår	2014	2014	2017	2009
Lengde	2400 m	760 m	2800 m	2200 m
Tunnelklasse	E	E	E	F
Tunnelprofil	T9,5	T9,5	T9,5	T9,5
Fartsgrense	110 km/t	100 km/t	100 km/t	100 km/t
ÅDT (årsdøgntrafikk, 2019)	6465	6500	11000	17350
Andel lange kjøretøy	17 %	18 %	15 %	18 %
Antall tunnellop	2	2	2	2

Det er totalt registrert 13 hendelser inne i tunnelene, hvorav kun én har medført personskader. Alle hendelsene inntraff under normale forhold, uten reduserte fartsgrenser eller omkjøringer. Det er registrert 5 ulykker som involverer sammenstøt mellom kjøretøy og tunnelvegg/autovern. Disse er oppsummert under:

- Morskogtunnelen:
 - Bil i tunnelvegg i nordgående løp (mindre skade tunnelvegg)
 - Bil i autovern sørgående (stolper autovern skadet)

- Espatunnelen:
 - Vogntog traff tunneltaket (skade høydemarkør)
- Larvikstunnelen:
 - Bil kjørte inn i tunnelvegg i nordgående (skade rømningslys)
- Steinsåstunnelen:
 - Enslig kjøretøy kjørte utfor på venstre side (lettere personskade)

Hendelsesstatistikken fra de utvalgte tunnelene gir ikke grunnlag for å konkludere med at et smalere tunnelprofil gir flere hendelser eller hendelser med større skader. Merk at det er begrenset tilgang til statistisk grunnlag/erfarte hendelser i lignende tunneler for sammenligning, så konklusjonen er usikker.

4 Hovedmomenter til vurdering/designvalg

N100, vedlegg 2, har ikke avklart hvordan tunnelprofil T9,5 skal defineres, selv om profilet i henhold til N100 skal velges om H5 veien bygges med to tunnelløp.

Dette kapittelet oppsummerer forslag til utforming av tunnelprofil T9,5, som vurderes videre i analysedelen av rapporten.

4.1.1 Kjørefeltbredde

Både H3 vegklasse (ÅDT >12000) og H5 (ÅDT 6000-12000) har 3,5 meters gjennomgående bredde på kjørefeltet. Et av argumentene for å velge tunnelprofil T10,5 fra rapport Moderne vegtunneler (/13/) var å ha tilsvarende kjørefeltbredde som i dagen. Kjørefeltbredde 3,5 m foreslås videreført i T9,5 tunnelprofil.

4.1.2 Avstand mellom opphøyd skulder og kjørebane kant

Generelt krav til avstand mellom opphøyd skulder og kjørebane kant i håndbok N500 er minimum 0,25 meter. Men smal avstand øker sannsynligheten for at vegstøv hurtigere bygger seg opp langs kantsteinslinjen, og da også hurtigere reduserer synligheten på oppmerkingen langs kjørebane kanten. Dette igjen kan gjøre at vegbanen oftere krever vask og renhold. Som igjen vil medføre flere drifts-stengninger av tunnelen.

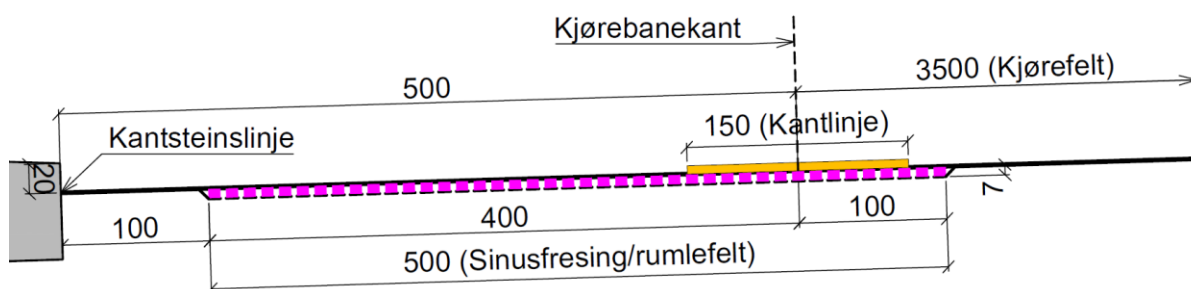
Med tunnelbredde 9,5 m og kjørefeltbredde 3,5 m er det 1,25 m tilgjengelig skulder på hver side.

N100 (vedlegg 2) viser diverse definerte tunnelprofiler for både H3 og H5 – alt etter hvilket behov som skal dekkes. Generelt er avstand mellom opphøyd skulder og kjørebane kant for H3 definert med bredde 0,75 meter. For H5 er avstand mellom opphøyd skulder og kjørebane kant generelt definert med bredde 0,5 meter.

Både 0,75 og 0,5 meter gir god avstand fra kjørebane kanten til kantsteinslinjen i forkant av opphøyd skulder (bankett).

I de senere årene har bruken av forsterket vegmerking økt, og er også tidvis tatt i bruk i tunneler, for eksempel Rogfast. Forsterket vegmerking har en stor effekt som varsling for trafikanter som uforvarende er på vei ut av sitt kjørefelt. Med trafikk i samme retning er det bevegelse ut mot tunnelvegg som forsterket vegmerking skal varsle om. Det er da tilstrekkelig at denne utføres som forsterket kantoppmerking. Dvs. at det ikke er behov for forsterket vegmerking mellom kjørefeltene.

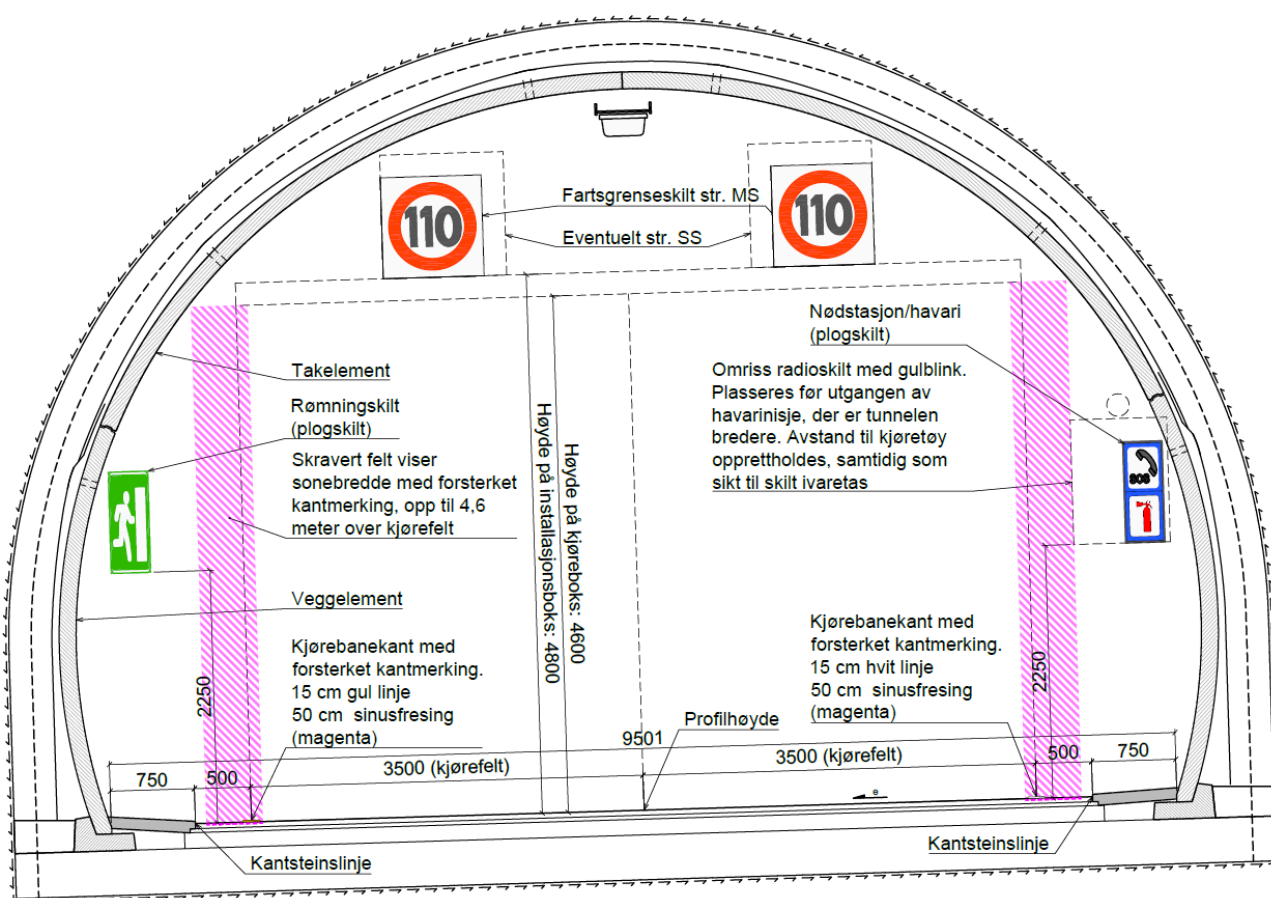
Forsterket kantoppmerking er definert i håndbok N302 (/18/), 6.3. Håndbok beskriver tiltak i dagsone (med forhåndsfresing). I dagsonen gjør forhåndsfresingen at kantoppmerkingen (kantlinje) er nedfelt, slik at linjen ikke kan brøytes bort. I tunnel er det ikke brøyting, og forhåndsfresing er ikke nødvendig. Sinusfelt (freste rumleriller) gjøres derfor direkte i slitelaget. Se Figur 4-1 for prinsipp definisjon av forsterket vegmerking i tunnel. Kantoppmerkingen etableres på begge sider av tunnelen.



Figur 4-1 Skulder med fordeling av kjørebane kant og forsterket vegmerking

Figur 4-1 viser at det er nok bredde til 0,5 meter bred forsterket kantoppmerking når også avstand mellom opphøyd skulder og kjørebane kant er 0,5 meter. For at fresingen i forsterket kantoppmerking skal dekke hele bredden av kantlinje-merkingen, sideforskyves forsterket kantoppmerking 0,1 meter inn i kjørebanen.

0,5 meter mellom opphøyd skulder og kjørebane kant og forsterket vegmerking foreslås brukt i T9,5 tunnelprofil.



Figur 4-2 Tunnelrommet med forsterket kantoppmerking.

Skravert felt på Figur 4-2 viser området i tunnelrommet hvor forsterket kantoppmerking varsler om uønsket sideveis forskyvning av kjøretøy. Varslingsområdet høyder er lik høyden på kjøreboks (4,6 meter) og er innenfor tunnelens normalprofil. Denne varslingen reduserer faren for at kjøretøy påfører skade på tunnelinnredning. Høyden i forskjøvet kantsteinslinje er med standard N500 T9,5 tunnelprofildefinisjoner 4,52 meter.

4.1.3 Opphøyd skulder (bankett)

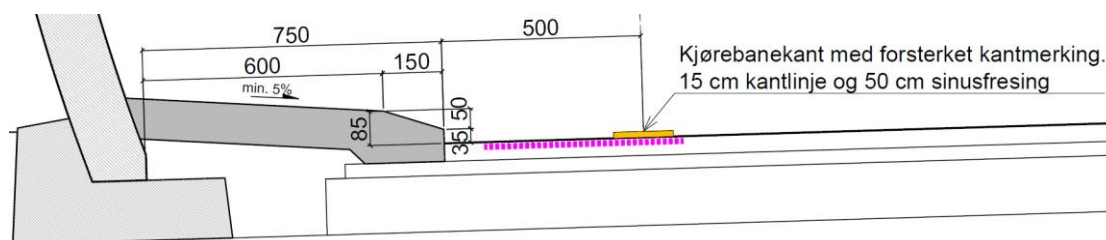
Samlet bredde på skulder er 1,25 meter. Med overstående avstand mellom opphøyd skulder og kjørebane kant på 0,5 meter blir gjenværende flate til opphøyd skulder 0,75 meter. I denne rapporten er det vurdert tre alternativer for utforming av flaten:

- tradisjonell opphøyd skulder med min. 5% tverrfall og 15 cm avfasing

- opphøyd skulder uten avfasing med 2 cm vis i kantsteinslinjen og redusert tverrfall for økt anvendelighet ved rømning
- skulder uten opphøyd del

Tradisjonell opphøyd skulder

I håndbøkene er kantstein i tunnel utformet som ikke-avvisende kantstein, med minimum 5 % fall. Tradisjonell opphøyd skulder har en bredde på 0,75 eller 1 m (avhengig av vegklasse og tunnelprofil). Avfasing, langs kantsteinen, reduserer opphøyd skulder sin jevne overflate med 0,15 meter til henholdsvis 0,6 og 0,85 meter. Krav om min. 5% tverrfall vanskeliggjør bruken av opphøyd skulder som rømningsvei under evakuering. Men den definerte jevne lyse betongoverflaten visualiserer på en god måte rømningsvei, samtidig som den lyse betongen også gjør det enklere å få oppfylt krav til lyssatt flate langs rømningsvei. Uten forsterket vegmerking har tradisjonell opphøyd skulder også en funksjon i kantsteinslinjen. Denne fysiske kanten (3,5 cm vis og 15 cm bred avfasing) varsler at kjøretøyet er på vei ut mot sideplasserte installasjoner eller tunnelveggen.



Figur 4-3 Ophøyd skulder med «standard» form

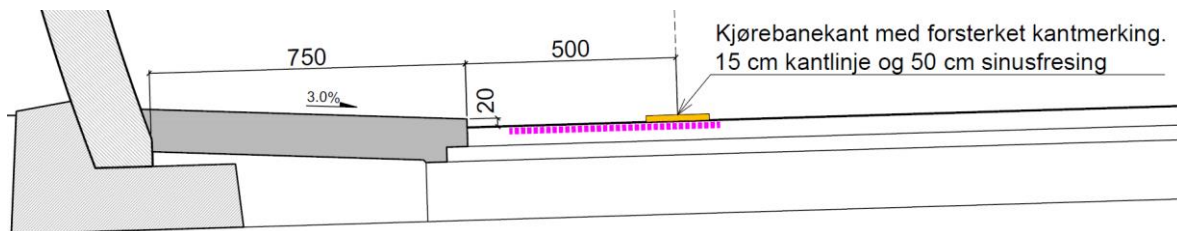
Tradisjonell opphøyd skulder med nivåforskjell fra vegbane er med på å begrense utbredelsen av væske slik at den lettere kan føres til sluk.

Ophøyd skulder uten avfasing, og begrenning av maks tverrfall

En endring av kantsteinsformen til 2 cm vis langs kantsteinslinjen vil gjøre det flate partiet av opphøyd skulder 15 cm bredere, og bredden for rømning økes tilsvarende. For ytterligere å bedre forholdene ved rømning foreslås maks. 5% tverrfall. Men tverrfall kan med fordel redusere ned mot 3% (samme som minimum tverrfall i vegbanen). 2 cm vis gjør også at vegbane mellom kantsteinslinjen og kjørebane kanten blir en del av rømningsvei, så lenge ingen kjøretøy ved en hendelse står inn mot opphøyd skulder. 2 cm vis reduserer noe av kapasiteten for føring av væske langs kantsteinslinje, men i tunneler med krav om full vann- og frostsikring er det normalt ikke mye væske i vegbanen. Ved fortsatt bruk av betong beholdes den visuelle effekten av rømningsveien

Ophøyd skulder uten avfasing kompenserer noe av den reduserte bredden (ned fra 1 meter til 0,75 meter), slik at effektiv endring kun er -10 cm mellom tradisjonell 1 meters opphøyd skulder og 0,75 meters opphøyd skulder uten avfasing.

Både tradisjonell opphøyd skulder og opphøyd skulder uten avfasing gir god beskyttelse for trafikkklaster om det i enkeltprosjekt er ønskelig å plassere trekkerør under betongen. Med noe reduksjon i bredde på opphøyd skulder vil ett T9,5- vs. T10,5-profil gi noe mindre kapasitet til trekkerør, men med gjeldende regelverk (N601 og NEK600) er behovet for trekkerør uansett større enn tilgjengelig plass under opphøyd skulder – selv i en T10,5 tunnel. Dvs. at uavhengig av størrelse på tunnelprofil må det antas at føringsveier må fordeles flere steder enn under opphøyd skulder.



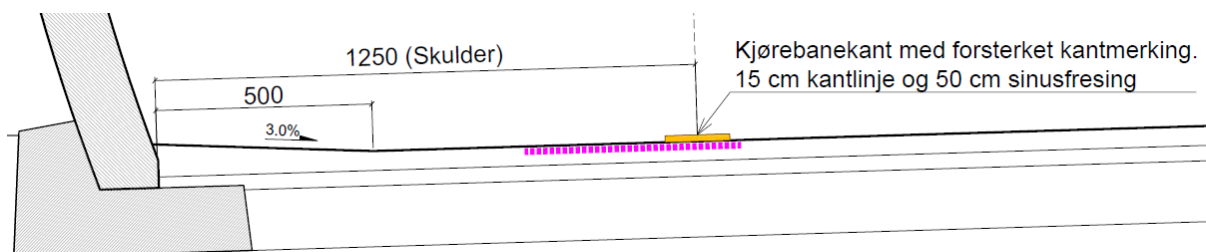
Figur 4-4. Ophøyd skulder med ekstra bredde i betongoverflaten

Skulder uten opphøyd del av skulder

Statens vegvesen krever i håndbok N500 lav ikke-avvisende kantstein og opphøyd skulder av asfalt/betongdekke. Som skrevet i avsnittet over om tradisjonell opphøyd skulder, er det flere argumenter for å benytte opphøyd skulder med ikke-avvisende kantstein. Men i denne rapporten er det også fokusert på fordelene med forsterket kantmerking, og at det tiltaket ivaretar (også forbedrer) noe av den tradisjonelle opphøyde skulder sin funksjon. Det er da nærliggende å se om alternative løsninger også kan dekke de øvrige funksjoner som en opphøyd skulder av betong har.

Om asfalt i vegbane utvides ut til tunnelveggen er hele sidearealet jevnt, og uten nivåforskjeller for de som skal rømme langs tunnelvegg. Men sidearealet er mindre visuelt for kjørende, som ved en hendelse stanser kjøretøyet sitt og må trekke ut mot tunnelvegg siden nødstatene skal frem. Kantlinje og 0,5 meter sinusfresing er både visuelt og merkes på ratt, men det er en mulighet for at en overflate (maling) med annen ruhet/farge (langs tunnelveggen) kunne ha motvirket tendensen til å kjøre for langt ut. Om kjøretøy kommer for langt ut vil de være til hinder for rømning på lyssatt flate langs tunnelveggen. En annen jevnere og lysere overflate i asfaltskulder kan også være en fordel for ledelyset. Med hensyn til reasfaltering er det nærliggende å anta at det er kjørefeltene som freses og reasfaltertes. Mens overflater utenfor, som ikke er berørt av slitasje, ikke reasfalteres.

Figur 4-5 viser en forenklet skulder, uten tiltak nevnt over. Men figuren gir en god visuell fremstilling av en jevn, bred skulder. Detaljer omkring avslutning vann- og frostsikring, eventuelt om en skulder uten nivåforskjeller (her vist med motfall, men er også mulig uten) kan åpne opp for mer hensiktsmessige langsgående VA-sluk/renneløsninger, er ikke forsøkt detaljert ut i denne rapporten.



Figur 4-5 Alternativ utforming med skulder uten opphøyd del av skulder

4.1.4 Skilt

Hovedregelen er at trafikkskilt skal plasseres ved siden av kjørebanelen, men dersom stedlige forhold gjør sideplassering umulig eller svært vanskelig kan skilt som normalt er sideplassert plasseres overhengende.

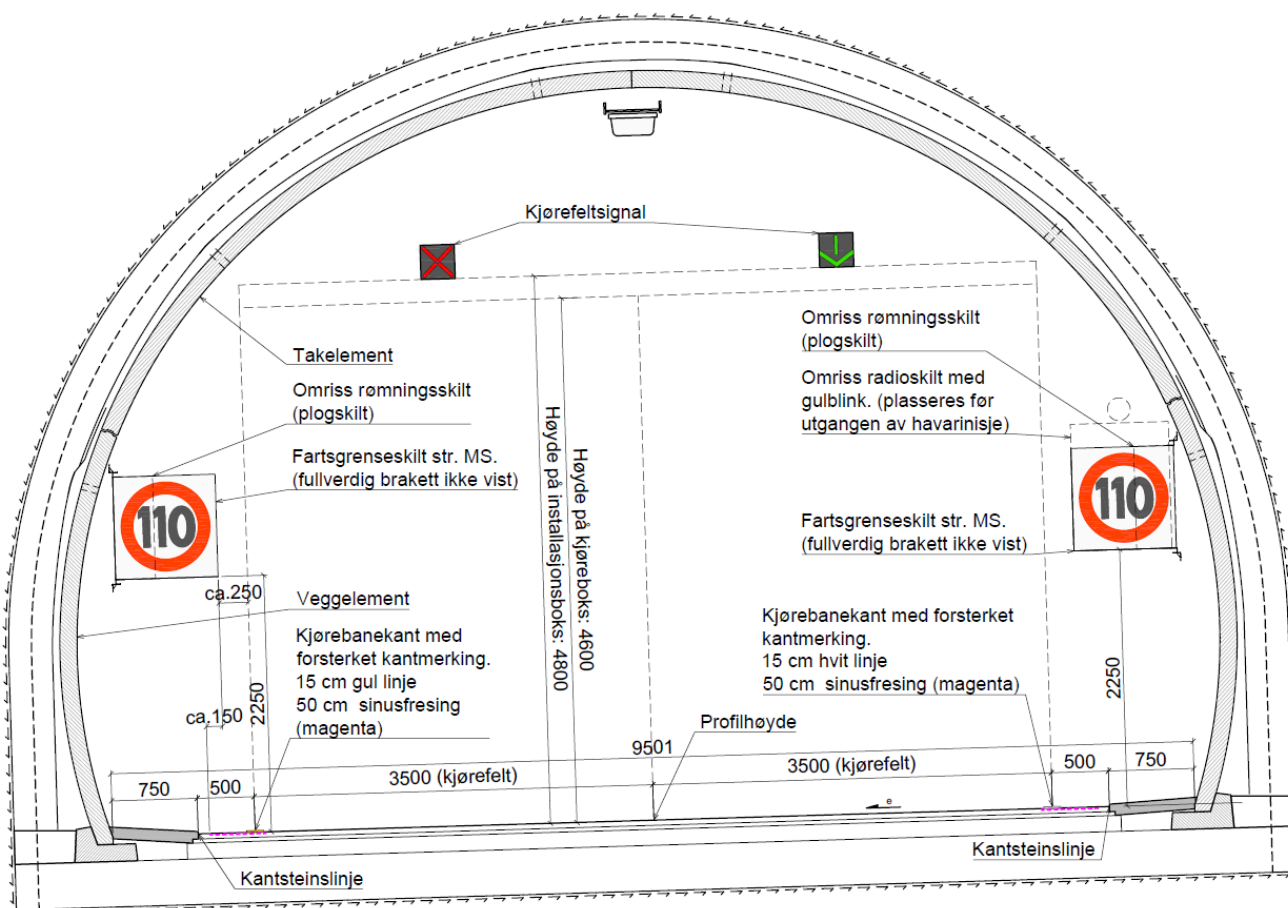
Det er vurdert to alternative løsninger for utvalgte skilt i denne rapporten; sideplasserte og overhengende. Dette gjelder for eksempel skilt for vegarbeider, møtende trafikk, kø og fartsgrense. I tunneler er det krav til skiltstørrelse MS for slike skilt, gitt at de er innvendig belyst. Dette gjelder både når skilt er sideplassert eller plassert overhengende.

Alle skilt som angir rømning i og ved nødutganger (570.1), skilt for nødstasjoner (kombi 605/606) og skilt for havarinisje (kombi 605/555) beholdes langs tunnelvegg, men disse foreslås utformes som innvendig belyste med plogform. Det er da mulig å få en god avstand fra kjørebanelikanten ut til sideplasserte skilt, men fortsatt opprettholde synligheten av nødrelaterte skilt ved hendelser.

Sideplasserte skilt

Figur 4-6 viser tunnel T9,5-profil med sideplasserte skilt i skiltstørrelse MS. Plasseringen av skiltet i tunnelprofilen som er vist er et kompromiss mellom tilstrekkelig høyde og avstand til kjørebanelen. Typisk sideavstand med 2250 over vegbane er ca. 250 mm fra senter kjørebanelikant.

Et alternativ for å redusere avstanden mellom kjørebanelen og skilt kan være å installere mindre skilt (LS), men dette vil være fravikspålitlig iht. dagens regelverk.



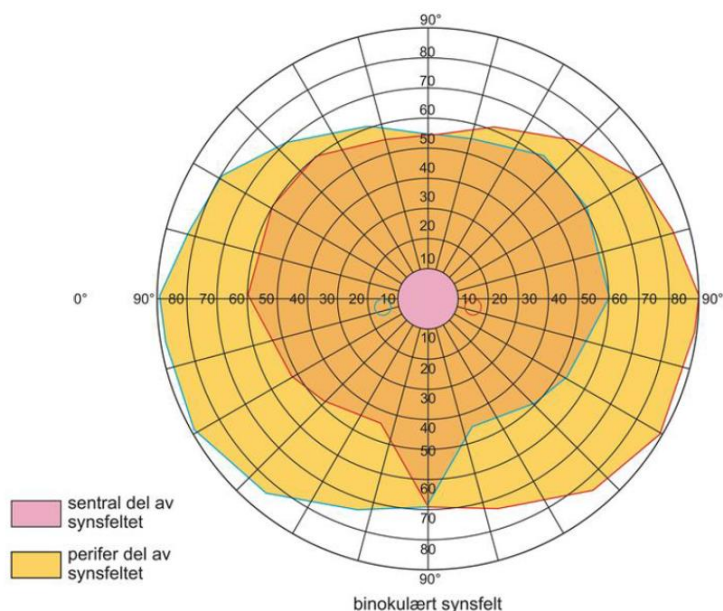
Figur 4-6 Tunnelprofil T9,5 med sideplasserte skilt i størrelse MS

Permanente skilt for innføring og endring av fartsgrense skal iht. Vegdirektoratet være sideplassert. Bilister forventer at skilt står på siden, og det antas derfor at de bli respektert bedre. Permanente fartsendringer kan gjøres utenfor tunnel. Det er ansett lite aktuelt med permanente fartsendring i tunnelen, og eventuelle unntak må behandles for seg.

Overhengende skilt

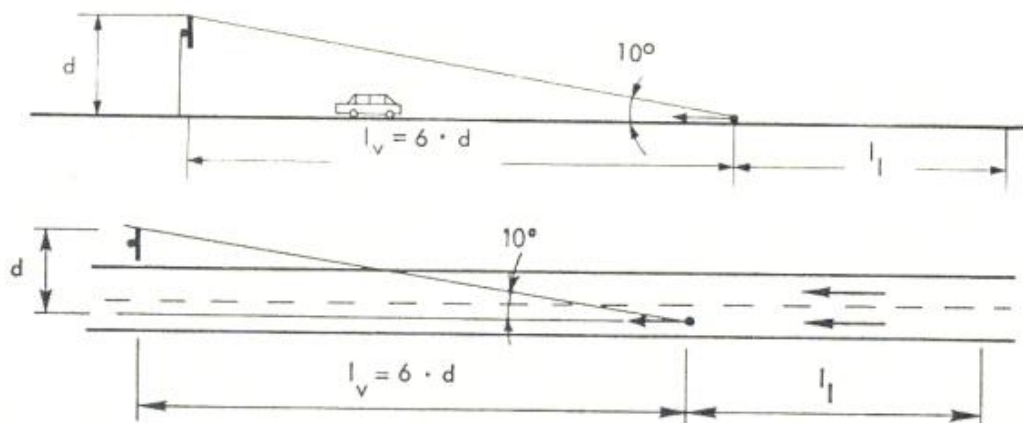
Sideplasserte MS-skilt vurderes å gi for kort avstand mellom kjørebane og skilt, som utgjør stor risiko for påkjørsel av skilt. Kriteriene N300 gir for bruk av overhengende skilt ansees derfor å være oppfylt når T9,5 skal benyttes på motorvei.

Gjentakelseskilt/variable skilt er ikke like kritiske som permanente fartsendringssnitt, og kan derfor plasseres overhengende. I tunneltaket kan det være plass til både MS og SS skilt. I Figur 4-7 er det vist overhengende skilt i størrelse MS.



Figur 4-8 Menneskets binokulære synsfelt, kilde: Store norske leksikon (/32/)

For dimensjonering og plassering av skilt legger håndbok N300 til grunn at budskapet må kunne leses med en maksimal vinkel på 10 grader mellom siktlinje rett frem i kjøreretningen og siktlinjen til skiltet. Dette gjelder både for overhengende og sideplasserte skilt, se figur.



Figur 4-9 Sammenheng mellom leselengde (l) og maksimal vinkel for lesbarhet av skilt, kilde: Håndbok N300 (/17/).

For å sammenlikne lesbarheten av overhengende og sideplasserte skilt er det avstand til øyepunkt (vist som d i figur) som er avgjørende. På dagstrekninger langs motorvei vil disse avstandene normalt være relativt like for sideplassert og overhengende skilt, rundt 4,5- 5,5 m. I tunneler vil imidlertid det sideplasserte skiltet stå nærmere enn det overhengende. Forskjellen i avstand er hhv. 2,5-3,0 m for sideplasserte og 4,0-4,5 m for overhengende. Avstandene vil variere noe etter kjøretøytype, fører av tungbil sitter f.eks. vesentlig høyere enn fører av en motorsykkel eller sportsbil.

Forskjellen i avstand kan kompenseres ved å bruke større overhengende skilt, og sikre god sikt mot skiltet. Eksempelvis kan et overhengende skilt i størrelse MS være like godt lesbart som et sideplassert skilt i størrelse LS.

5 Trafikksikkerhet

5.1 Ulykkesrisiko ved mindre tunnelbredde

Adferd er knyttet til bredden på tunnelen. Redusert skulderbredde kan medføre at bilister trekker lengre ut fra tunnelveggen, og ligger nærmere midten av tunnelen. Dette kan føre til flere ulykker ved forbikjøringer. Det er ikke funnet nyere statistikk som viser sammenhengen mellom ulykkesrisiko og vegbredde i tunneler. I henhold til trafikksikkerhetshåndboka viser to eldre studier fra 1980 og 1997 at økende tunnelbredde medfører redusert antall ulykker (/3/). Et annet studie fra 2016 viser derimot at fortau i toløps motorvegtunneler ikke hadde noen effekt på antall alvorlige ulykker i tunnel. Disse studiene er ikke nødvendigvis representative for dagens vegtunneler, med nye krav til utforming og sikkerhetstiltak. Det er derfor sett på erfaringer fra dagsone.

Basert på veg i dagen vil en økning i skulderbredden på 0,3 m gi en reduksjon på ca. 3 % på flerfeltsveg (/12/). En reduksjon av skulderbredde på 0,5 m tilsvarer ca. 6 % økning i ulykkesrisiko. Statistikken er ikke nødvendigvis direkte overførbart til tunnel, men det gir en indikasjon på hvilken påvirkning det har.

Analyser av skulderbredde på veg i dagen utført av Trafitec (/27/), viser at ulykkesfrekvensen faller, jo bredere den ytre skulderen er, inntil den ytre skulderen når en bredde på ca. 3 m. I analysen er det ikke funnet vesentlig forskjell på ulykkesalvorlighetsgrad avhengig av bredden av ytre skulder.

Utforming sideareal

Prosjektet forutsetter en vegskulderbredde på 0,5 m. Tilgjengelig areal for opphøyd skulder blir da 75 cm, som er smalere enn den tradisjonelt er i T9,5-profil. Tradisjonell opphøyd skulder har en kantstein med avfasing, som bygger noe opp fra vegbanen. Historisk er en del av kantsteinens funksjon at kjøretøyet ikke skal kunne bevege seg opp på opphøyd skulder, uten at trafikanten blir varslet om at dette er i ferd med å skje. Samtidig skal det være minst mulig fare for at fører mister kontrollen over kjøretøyet selv om kjøretøyet treffer kantsteinen. Dette forhåndsvarselet skal hindre at kjøretøy treffer sideplasserte installasjoner, og eventuelt treffer tunnelveggen – med fare for at det i tillegg klatrer opp etter veggen, og mulig velter.

Fordelene med den tradisjonelle opphøyde skulderen er at den definerte, jevne og lyse betongoverflaten visualiserer på en god måte rømningsveien, samtidig som den lyse betongen også gjør det enklere å få oppfylt krav til lyssatt flate langs rømningsvei. Effekten opphøyet kantstein har ved utforkjøringsulykker i tunnel er derimot usikker, spesielt ved 110 km/t. I henhold til en PIARC-rapport som samler informasjon fra tunneler i flere ulike land, har opphøyet kantstein liten effekt mot å avverge at kjøretøy som kjører utenfor kjørebanelen kolliderer med tunnelveggen /38/. Kantsteinen bør i så fall ha en høyde på over 0,25 m, som er mer enn det som ligger inne i dagens regelverk.

Krav om min. 5% tverrfall vanskeliggjør imidlertid bruken av opphøyd skulder som en rømningsvei under evakuering, og den tradisjonelle løsningen for opphøyd skulder er lite hensiktsmessig for rullestolbrukere når bredden på opphøyd skulder er redusert til 75 cm. Det er derfor foreslått alternative utforminger av den tradisjonelle skulderutformingen, beskrevet i kapittel 4.1.3.

De alternative utformingene for skulderfeltet tar bort effekten av ikke-avvisende kantstein. For å ivareta denne funksjonen er det isteden foreslått forsterket kantoppmerking.

Forsterket kantoppmerking

Forsterket kantoppmerking er en kombinasjon av vanlig kantlinje og rumleriller. Kantlinjen er oppmerket over rumlerillene, som gir en rumlelyd ved overkjøring. Forsterket kantoppmerking har som formål å redusere utforkjøringsulykker som skjer som følge av at føreren er trøtt eller uoppmerksom.

Statistikk fra TØI viser at forsterket kantoppmerking har god effekt som risikoreduserende tiltak på veg i dagen, ca. 26 % reduksjon for utforkjøring til høyre, og enda større gevinst for ulykker knyttet til uoppmerksomhet eller søvnighet.

Tabell 3 Virkninger av kantlinje-rumleriller på antall ulykker (alle skadegrader hvis ikke annet er oppgitt) (/9/).

Ulykkestyper som påvirkes	Skadegrad	Prosent endring av antall ulykker	
		Beste anslag	Usikkerhet i virkning
<i>Kantlinje-rumleriller</i>			
Alle ulykker	Uspesifisert	-15	(-23; -6)
Utforkjøringsulykker	Uspesifisert	-19	(-22; -16)
Utforkjøring til høyre	Uspesifisert	-26	(-45; 0)
Ulykker med uoppmerksomhet / søvnighet som medvirkende faktor	Uspesifisert	-35	(-58; -0)

En faktor som kan påvirke effekten av kantlinje-rumleriller er skulderbredden. Studier fra USA fant omtrent uendret ulykkestall (-2%) etter installasjonen av kantlinje-rumlestriper på veger med smale asfalterte skuldre (opptil ca. 60 cm) og større reduksjoner på 26% og 28% på veger med bredere asfalterte skuldre (/9/).

Statistikken over er hentet fra veg i dagen, og det er ikke tilgjengelig direkte statistikk på effekten i tunnel. Det forventes likevel at forsterket vegoppmerking vil ha god effekt også i tunnel, siden bredden på sidearealet er over 60 cm.

Ett av studiene som statistikken over er basert på viste en ikke-signifikant økning av risiko med forsterket vegoppmerking. Dette kan skyldes at bilister overkorrigerer når de kjører på kantmerkingen. Det er derimot lite som støtter opp under at dette forekommer ofte og resultatene viser som nevnt at forsterket vegoppmerking har en god, signifikant effekt som risikoreduserende tiltak.

En stor fordel med forsterket vegoppmerking er at den varsler trafikanter tydelig og markert om at kjøretøy er på vei ut mot skulder og sideareal. Bredden på feltet gir også en lengre vedvarende varsling. Dette til sammen øker sannsynligheten for at fører reagerer før kjøretøyet har beveget seg for langt ut i området med de største sidemonterte installasjonene og mot tunnelveggen. Det bemerkes imidlertid at den risikoreduserende effekten øker med økende skulderbredde. Det forventes at tiltaket vil ha god effekt også i tunneler med et T9,5-profil, men oppnådd risikoreduserende effekt vil trolig være noe lavere enn for tilsvarende kantoppmerking i tunnel med bredere skulderbredde.

Det er vist at det er kun freste rumleriller som kan lage tilstrekkelig mye støy og vibrasjon i tunge kjøretøy (/9/). Det forutsettes at det er denne typen freste rumleriller, som også har god effekt på tunge kjøretøy, som benyttes til den forsterkede kantoppmerkingen. Det er ikke funnet statistikk som indikerer at den risikoreduserende effekten av forsterket vegoppmerking er annerledes for tunge kjøretøy enn for lette kjøretøy.

Sidemonterte installasjoner

Den største utfordringen med smalere vegbredde er at det blir kort avstand mellom kjøretøy og de sidemonterte installasjonene i tunnelen. Påkjørsel av skilt og andre installasjoner utgjør en sikkerhetsrisiko, og medfører mer drift og vedlikehold i tunnelen.

Typisk sideavstand for sideplasserte skilt i størrelse MS montert 2250 mm over vegbane er ca. 250 mm fra senter kjørebane kant. Det er ikke definert krav i N500 som angir avstand mellom vegbane og skilt/andre fastmonterte objekter i tunnelen. Dette vurderes per i dag på skjønn. Med skiltet hastighet i tunnelen på 110 km/t ansees 250 mm som for kort avstand, og det forventes at fare for påkjørsel av skilt blir stor. Dersom skiltene plasseres lavere enn 2250 mm over vegbane vil sideavstanden øke noe, men da vil skiltene utgjøre en fare for eventuelle evakuerende langs tunnelveggen som kan stange i skiltet.

Ved å benytte runde skilt vil avstandene kunne øke noe, men sannsynligvis ikke nok til å unngå farene nevnt over. Et alternativ er å installere størrelse LS (innvendig belyst). Det vil i så fall være aktuelt med fravikssøknad. Siden skiltet kommer nærmere føreren i tunnelen enn skilt i dagen, kan det argumenteres for at mindre skilt er tilstrekkelig.

Alternativet til sideplasserte skilt er overhengende skilt i taket. Da er det god plass til skiltstørrelse MS, og også mulig å få inn større skilt (SS). Skilt i taket vil også ha en bedre optisk effekt når de plasseres i mørkt tak mot på en lys vegg. Fare for påkjørsel vil da reduseres betraktelig, og skiltene vil ikke bli en hindring ved evakuering. En annen fordel med tanke på evakuering er at tunnelveggen forbeholdes nødskilt, som gir en bedre oversikt i tunnelen og bedre sikt til skilt.

Overhengende skilt gir også større mulighet for å kombinere flere funksjoner i ett skilt, som vil gjøre det lettere å få plassert ut skilt, gi bedre sikt, og det er positivt mtp. vedlikehold.

Ulempene med overhengende skilt er at bilister er vant til at forbudsskilt er sideplasserte. Det trenger ikke nødvendigvis å utgjøre en risiko, gitt at sikt og god lesbarhet er ivaretatt, siden bilister er vant til skilt med informasjon i tunneltaket.

5.2 Ulykkesrisiko ved høyere hastighet

Snittfarten på vegene i Norge reduseres jevnt, blant annet på grunn av politiets tilstedeværelse og adaptiv fartskontroll. Opptredende hastighet i dagen er i snitt lavere enn skiltet hastighet ved høye hastigheter. Det kan forventes at hastigheten vil være enda lavere i tunnel, og smalere tunnelprofil kan bidra til at den reduseres ytterligere. Det forventes derfor at hastigheten i tunnelene vil ligge under 110 km/t, spesielt i høyre kjørefelt. Det vil likevel være en relativt stor hastighetsøkning i tunnelene fra 90 km/t, som er maks skiltet hastighet i henhold til dagens regelverk i T9,5-tunneler.

Sannsynligheten for alvorlige ulykker øker generelt med økt hastighet. Det er usikkert om konsekvensene ved en hendelse i 110 km/t vil være mer alvorlige enn en hendelse i 90 km/t i tunnel, men sannsynligheten for at hendelsen inntreffer vil øke noe med høyere hastighet.

Det er lite ulykkesstatistikk tilgjengelig fra høyhastighetstunneler, men analysen Safetec har gjennomført for fire høyhastighetstunneler viser ingen økning i ulykkesrisiko for tunneler skiltet for 100 km/t eller 110 km/t. Analysen hadde derimot begrenset vurderingsgrunnlag i form a antall hendelser, og det var kun én av tunnelene som var skiltet for 110 km/t.

Det er også sett på to rapporter fra Statens vegvesen som analyserer ulykkesstatistikk på veg i dagen før og etter endring i skiltet hastighet. Den ene rapporten konkluderer med at skiltet hastighet fra 90 til 100 km/t ikke medfører økt ulykkesfrekvens eller økt antall alvorlige ulykker på strekningene. Dette kan skyldes at det ble gjennomført andre sikkerhetstiltak samtidig, slik at forholdene før og etter oppskiltingen ikke er helt

sammenlignbare. Den andre rapporten konkluderer med at antall ulykker øker med 3,8 %, og antall ulykker med alvorlig skadde eller drepte øker med 26 %, når vegstrekningene ble skiltet opp fra 100 til 110 km/t. Dette er en ganske dramatisk økning, selv om hastigheten i snitt kun økte med 2,3 km/t fra 105,3 km/t i førsituasjonen til 107,6 km/t i ettersituasjonen. Rapporten sier ikke noe om type ulykker, så det er vanskelig å si noe om hvilken type ulykker som inntreffer hyppigere ved høyere hastighet. Rapporten skiller heller ikke på ulykker i tunnel eller dagsone.

Det er generelt ikke ønskelig å skilte ned fartsgrensene i tunneler, da dette kan utgjøre en risiko i seg selv. For å redusere risiko i tunnelen som følge av økt hastighet, er det derfor foreslått avbøtende tiltak, i form av forsterket kantoppmerking og endret skiltplassering/reduisert skiltstørrelse.

Forsterket kantoppmerking gir tidligere varsel enn tradisjonell kantstein, som er en fordel ved høyere hastigheter. Det gir føreren bedre tid til å reagere og korrigere kjøretøyet.

Økt hastighet øker sannsynligheten for påkjørsel av installasjoner nær vegbanen, siden kjøretøyet vil bevege seg lenger i løpet av reaksjonstiden. Plassering av overhengende skilt eller mindre sideplasserte skilt bør derfor implementeres for å ivareta denne risikoen. Ved vurdering av plassering av skilt er det viktig å ta hensyn til økt siktbehov som følge av hastighetsøkningen. Med tanke på synlighet i tunnelverrsnittet ansees overhengende og innvendig belyste skilt som det beste alternativet. Det reduserer også faren for påkjørsel av installasjoner i tunnelen betraktelig.

5.3 Brann

Brann i tunnel utgjør en svært liten andel av ulykkene i tunneler, men konsekvensene ved brann i tunnel kan bli store. Toløpstunneler har generelt flere branner enn ettløpstunneler /8/. Dette kan i hovedsak forklares med at toløpstunneler i byer har flere branner.

I toløpstunneler er det ventilasjon med kjøreretningen, som gjør at evakueringssituasjonen er bedre enn i ettløpstunneler. Det er en definert innsatsretning, som tilrettelegger for at biler nedstrøms brannen kan kjøre ut, og at biler oppstrøms brannen blir stående i et røykfritt miljø.

Antall branner har ikke sammenheng med fartsgrense /8/.

5.3.1 Innsats brannvesenet

Tilgjengeligheten for innsats for brannvesenet vil reduseres noe ved at tunnelverrsnittet reduseres. I utgangspunktet vil det være plass til utrykningskjøretøy mellom en personbil og et tungt kjøretøy i bredden, men med to tunge kjøretøy i bredden vil det bli for trangt, slik at utrykningskjøretøy vil blokkeres. Forbud for tunge kjøretøy i venstre felt kan være et avbøtende tiltak for å redusere risiko knyttet til tunge kjøretøy og faren for at det er to tunge kjøretøy i bredden ved en hendelse.

Siden det er snakk om tunneler med ÅDT under 20 000 er det lite sannsynlig at det vil oppstå kø i begge felt i tunnelen. Ved en hendelse vil imidlertid kjøretøy kunne hope seg opp i tunnelen oppstrøms for hendelsen. Hvor mange kjøretøy som kjører inn i tunnelen etter at hendelsen har skjedd vil være avhengig av hvor raskt man klarer å stenge tunnelen med rødblink og bomber. Det vil også være avhengig av mengde trafikk på strekningen/ÅDT. Faren for utrykningskjøretøy ikke kommer seg fram ved en hendelse vurderes å være liten, men kan ikke utelukkes, og øker med økende ÅDT.

Nye Veier har sett på statistikk for fordeling antall kjøretøy i høyre og venstre felt på nye motorveger på E18 og E6. Andelen som bruker venstre kjørefelt øker med økende ÅDT. Ved ÅDT 6000 bruker ca. 12-18 % av bilene venstre kjørefelt. Ved ÅDT 20000 bruker ca. 30-60 % av bilene venstre kjørefelt. Statistikken er basert på døgnmiddeltrafikk. Tallene viser at det er betydelig større sjans for at begge kjørefelt er «opptatt» ved ÅDT 20 000 enn ved ÅDT 6000.

Det er også sett på timemiddelverdier for strekningene Tvedestrand-Arendal og Rugtvedt-Dørdal på ny E18 og Kolomoen-Kåterud på ny E6. Døgnmiddeltrafikken for alle tre strekningene ligger på rundt 9000. I snitt over døgnet ligger 15-20 % av bilene i samme retning i venstre felt. Andelen i venstre felt varierer over døgnet, men i makstimen ligger ca. 2-5 % flere biler i venstre felt for strekningene som er vurdert. Forskjellen mellom døgnmiddel og makstime der dermed ikke veldig stor for ÅDT ca. 10 000. Det er ikke vurdert om denne sammenhengen også gjelder for høyere ÅDT.

Brannvesenet vil ha mulighet for innsats fra motsatt løp, men det kan oppstå situasjoner der brannvesenet bør ha tilgang til brannstedet fra brannløpet. Dette kan være situasjoner hvor det er behov for tungt utstyr tett opp til ulykkesstedet, for eksempel for å få ut fastklemt personer. Det bør derfor legges til rette for at brannvesenet har tilgang ved behov.

Ved avvikssituasjoner med toveistrafiikk i ett løp kan det også stilles krav til at nødetatene skal ha tilgang til motsatt løp ved en hendelse, men dette er ikke nedfelt i arbeidsvarslingsplaner pr i dag.

5.3.2 Evakuering

Når tunnelen er smalere er det større sannsynlighet for at bilister plasserer bilen for nærme tunnelveggen ved en hendelse, og dermed blokkerer rømningsvegen. Dette kan medføre en utfordring for personer i rullestol ved evakuering.

Den tradisjonelle opphøyde skulderen bygger noe opp fra vegbanen, og markerer et tydelig skille mellom vegbane og rømningsvei. På grunn av fall og avfasingen på opphøyd skulder er den derimot lite hensiktsmessig med hensyn til evakuering for rullestol, siden bredden på opphøyd skulder er redusert til 75 cm.

Størrelse på en ordinær rullestol er 120 cm x 70 cm, i tillegg kommer plass til føtter og hender for den som skal manøvrere stolen. Den funksjonelle bredden regnes derfor til å være 80 cm, og i praksis kreves det en bredde på ca. 90 cm for å manøvrere rullestolen /37/.

For å tilrettelegge bedre for rømning er det derfor foreslått en opphøyd skulder uten avfasing, og med maks fall på 5 %. Det blir da lettere å evakuere for rullestolbrukere, siden flaten på den opphøyde skulderen blir bredere, og det krever ikke at hele rullestolen trenger å være på opphøyd skulder. Ett hjul kan gå på asfalten siden høydeforskjellen er liten. Denne løsningen kan øke sannsynligheten for at bilister krysser kantlinja og kjører opp på den opphøyde skuldra, men betongkanten vil fortsatt være en god visuell markering.

Et annet alternativ er utvidet asfaltert vegskulder, uten opphøyd del. Dette gir en lett flate å evakuere på, men også en mørkere flate å reflektere lys på ved evakuering, og en mindre definert kant langs tunnelveggen. Uten den definerte kanten vil det trolig være større sjanse for at bilister legger seg enda nærmere tunnelveggen ved en hendelse, og dermed større sjanse for at rømningsvegen kan bli blokkert.

Dersom det velges et alternativ uten opphøyd del bør den markeres på en måte slik at den tydelig skiller seg fra vegbanen, og reflekterer nødlyset på en tilfredsstillende måte.

5.4 Påvirkning av tunnelegenskaper

5.4.1 Stigning

Det er flere rapporter som vurderer ulykkesrisiko opp mot stigning i tunneler, men konklusjonene for effekten av stigning varierer noe i de ulike rapportene. I henhold til statistikk i TØI sin Trafikksikkerhetshåndbok gir brattere stigning generelt en økning i personskadeulykker på motorveg. En mulig forklaring på at økende stigningsgrad kan medføre både flere og mer alvorlige ulykker er høy fart i nedoverbakker og saktegående

kjøretøy og store fartsforskjeller i oppoverbakker. Denne type ulykker vil i liten grad påvirkes av tunnelbredden, og kan reduseres ved å ha forbud mot tunge kjøretøy i venstre felt.

I rapport Predikering av branner og ulykker i vegtunneler som er basert på nyere statistikk, konkluderer derimot TØI med at antall ulykker i tunnel ikke har sammenheng med stigningsgraden. Stigningen er på en annen side den viktigste predikatoren for branner, ved siden av ÅDT og tunnellengde. Tunnelbredden vil trolig ikke påvirke sannsynlighet for brann, men det kan påvirke konsekvensene ved evakuering og innsats. Dette er omtalt i kapittel 5.3.

I henhold til håndbok N500 skal ikke stigningen i en tunnel overstige 5 %. Det fremgår av Tunnelsikkerhetsforskriftene at det for tunneler med stigning på mer enn 3 % skal treffes ekstra og/eller forsterkede tiltak for å forbedre sikkerheten på grunnlag av en risikoanalyse. Slike ekstra og/eller forsterkede tiltak er innarbeidet i normalkravene. Det ansees derfor ikke som nødvendig å skille på stigningsgraden når det skal velges T10,5 eller T9,5 profil, gitt at stigningsgraden er under 5 %.

5.4.2 Tunnellengde

Flere studier har vist at lengre tunneler i gjennomsnitt har lavere ulykkesrisiko enn kortere tunneler, selv om ensformigheten i tunneler kan medføre redusert oppmerksomhet og selv om det ofte er flere forbikjøringer og flere som skifter kjørefelt, i lengre tunneler enn i kortere tunneler /3/. Dette kan knyttes til at ulykkesrisikoen er størst i portalområdet, slik at antall ulykker per meter tunnel blir lavere når tunnelen er lengre.

Også for tunnellengde er statistikken lite konsis /5/. I studien Caliendo et al. (2016) medfører en økning av lengden på toløps-motorvegtunneler på 1% en økning av antall alvorlige ulykker på 0,48%. Resultatene fra Robatsch og Nussbaumer (2005) tyder på at ulykkesrisikoen synker med økende tunnellengde kun i toløpstunneler, og ikke i ettløpstunneler. Toløpstunneler med en lengde på mellom fire og fem km har i denne studien omtrent 70% lavere risiko enn toløpstunneler med en lengde på under én km.

Analyser Sintef har gjort tyder på at det er behov for monotonidpendende tiltak for tunneler over 4 km (/24/). Siden tunnelene det er snakk om i denne rapporten er under 4 km vil ikke monotonivære en avgjørende faktor. I tillegg vil den forsterkede kantoppmerkingen bidra til å varsle bilister tidlig dersom de er på vei ut av kjørebanelen, slik at hendelser relatert til innsovning og uoppmerksomhet forventes å reduseres. Det forventes ikke at tunnellengden vil ha påvirkning på valg av T10,5 vs. T9,5-profil, så lenge tunnelen er under 4 km.

5.4.3 Andel tunge kjøretøy

Sammenhengen mellom andelen tunge kjøretøy i tunnel og antall ulykker er undersøkt i flere studier med ulike resultater /3/. Trafikksikkerhetshåndboka oppsummerer følgende statistikk for personskadeulykker:

- Økende andel tungtrafikk i tunneler medfører generelt økende antall personskadeulykker
- Antall personskadeulykker er 20% høyere når det er 31% tunge kjøretøy enn når det er 14% tunge kjøretøy
- 1% økning av andelen tungtrafikk medfører en økning av antall personskadeulykker på 0,95%

For alvorlige ulykker spriker resultatene, det ble funnet både økende, uendret og synkende antall alvorlige ulykker med økende andel tungtrafikk.

Modell for prediksjon av brann og ulykker (/8/) konkluderer med at økende andel tunge kjøretøy medfører færre ulykker, men at effekten i de fleste modellene ikke er statistisk signifikant.

Statistikken viser at det ikke nødvendigvis forekommer flere ulykker med økende tungtrafikkandel, men at når det først er et tungt kjøretøy involvert i ulykken fører det oftere til personskade.

Tunnelbredden vil trolig ikke påvirke hvordan ulykkesrisikoen endres med tungtrafikkandelen, men det kan påvirke konsekvensene ved evakuering og innsats ved brann. Dette er omtalt i kapittel 5.3 og 0. Økt andel tungtrafikk øker sannsynligheten for at personbiler blokkerer rømningsvegen i venstre felt ved en hendelse, og kan medføre redusert fremkommelighet for utrykningskjøretøy. Sannsynligheten for at to tunge kjøretøy blokkerer innsatsveien for brannvesenet reduseres ved at det innføres forbud mot tunge kjøretøy i venstre felt.

5.4.4 ÅDT

Påvirkningen ÅDT har på ulykkesrisiko i tunneler varierer i litteraturen:

- Robatsch og Nussbaumer (2005) viste at ulykkesrisikoen i tunneler øker med økende trafikkmengde, især i ettløpstunneler /5/. Antall personskadeulykker per million kjøretøykilometer i toløpstunneler er 0,066 ved ÅDT < 10.000, 0,131 ved 10.000 < ÅDT < 15.000 og 0,141 ved ÅDT > 15.000.
- Statistikken fra utvikling av modell for prediksjon av branner og ulykker i tunnel viser at økende trafikkmengde medfører flere branner, ulykker og havarier, men antall branner, ulykker og havarier øker langt mindre enn proporsjonalt med trafikkmengden. En økning av trafikkmengden på 10 % medfører i gjennomsnitt en økning av antall branner og ulykker på omtrent 5 % og en økning av antall havarier på omtrent 7 %.
- Erfaringer fra TØI viser derimot at antall ulykker i tunneler i flere studier har vist seg å øke mer enn proporsjonalt med økende trafikkmengde. På veger i dagen er det som regel omvendt, her øker ulykkestallet mindre enn proporsjonalt med økende trafikkmengde, dvs. at ulykkesrisikoen går ned med økende trafikkmengde.

Mye av statistikken ser på toløpstunneler under ett, og skiller ikke på landlige toløpstunneler (typisk motorveg med lav ÅDT) og toløpstunneler i by. Statistikken er derfor ikke nødvendigvis representativ for alle tunneler. Toløpstunneler i landlige omgivelser har lavere ulykkesrisiko enn toløpstunneler i by, og vil være mest representativ for tunnelene som vurderes i denne rapporten.

ÅDT-ens innvirkning på ulykkesfrekvensen er usikker, men den vil ha en påvirkning med hensyn til innsats for brannvesenet og evakuering. Disse forholdene er omtalt i kapittel 5.3.

5.4.5 Toveistrafikk i ett løp

Toveistrafikk i ett løp forekommer kun i avvikssituasjoner, og det forutsettes i så fall at det er betydelig lavere hastighet. Ulykkesrisiko antas derfor ivare tatt av redusert hastighet.

Smalere tunnelprofil vil derimot kunne påvirke tilkomsten for brannvesenet også ved toveistrafikk, selv om det er lite sannsynlig med to tunge kjøretøy i samme profiltverrsnitt. Kjøretøy vil i de fleste tilfeller kjøre ut på hver side av hendelsen. Sannsynligheten for at brannvesenet blokkeres ved innsats vil øke med økende ÅDT. Et avbøtende tiltak kan være at det stilles krav til at nødetatene skal ha tilkomst for å gjennomføre innsats fra motsatt løp ved gjennomføring av arbeider.

5.5 Oppsummering trafikksikkerhet

Påvirkning på ulykkesfrekvensen

Erfaring fra veg i dagen tilsier at smalere skulder medfører en økning i ulykkesrisikoen. Det vil være sannsynlig at dette også gjelder for tunneler. En reduksjon av skulderbredde (på veg i dagen) på 0,5 m tilsvarer ca. 6 % økning i ulykkesrisiko. Statistikken er ikke nødvendigvis direkte overførbar til tunnel, men det gir en indikasjon på hvilken påvirkning det har.

Studier viser at kjøreadferden endrer seg i tunneler, og et smalere tunnelprofil vil antagelig forsterke disse forholdene og dermed bidra til en økning i risikoen. Smalere tunnelprofil vil trolig bidra til at man øker avstanden fra kantlinjen, slik at bilene i de to kjørefeltene vil være nærmere hverandre ved forbikjøring.

Selv om forholdene omtalt over tilsier at risikoen vil øke med et smalere tunnelprofil antas det at økningen vil være begrenset, og at avbøtende tiltak, slik som forsterket kantoppmerking og endret skiltplassering/redusert skiltstørrelse, vil bidra til å redusere risikoen. Forsterket kantoppmerking har vist seg å ha svært god effekt som et risikoreducerende tiltak. Det bemerkes imidlertid at den risikoreducerende effekten øker med økende skulderbredde. Det forventes at tiltaket vil ha god effekt også i tunneler med et T9,5-profil, men oppnådd risikoreducerende effekt vil trolig være noe lavere enn for tilsvarende kantoppmerking i tunnel med bredere skulderbredde.

Ulykkesrisikoen knyttet til tunneler er erfaringsvis knyttet til portalene og utfordringer forbundet med sikt, lysforhold og glatt føre i portalområdene. Det er ikke funnet statistikk som tilsier at risikoen forbundet med portalområdene vil være større for et T9,5-profil enn for et T10,5-profil.

Hendelsesstatistikk fra eksisterende tunneler gir ikke grunnlag for å konkludere med at et smalere tunnelprofil gir flere hendelser eller hendelser med mer alvorlige konsekvenser. Konklusjonen er imidlertid usikker da det statistiske grunnlaget er begrenset.

Kjørehastighet

Sannsynligheten for alvorlige ulykker øker generelt med økt hastighet. Vegdirektoratet ønsker generelt ikke å skilte ned fartsgrensene i tunneler, da dette kan utgjøre en risiko i seg selv. For å redusere risiko i tunnelen som følge av økt hastighet i T9,5-profil, er det derfor foreslått avbøtende tiltak, i form av forsterket kantoppmerking og endret skiltplassering/redusert skiltstørrelse.

Opptredende hastighet i dagen er i snitt lavere enn skiltet hastighet ved høye hastigheter. Det kan forventes at hastigheten vil være enda lavere i tunnel, og smalere tunnelprofil kan bidra til at den reduseres ytterligere. Det forventes derfor at hastigheten i tunnelene vil ligge under 110 km/t, spesielt i høyre kjørefelt.

Sårbarhet ved hendelser – fremkommelighet for nødetatene

Smalere skulderbredde innebærer at fremkommeligheten for nødetatene vil være redusert i et T9,5-profil sammenlignet med et T10,5-profil.

Den største utfordringen vurderes å være faren for at en hendelse medfører at kjøretøy kjører for nær tunnelveggen når nødetatene skal frem, og at evakueringsveien dermed blokkeres. I et T10,5-profil vil opphøyd skulder være bredere og rømningsveien vil være intakt selv om kjøretøy parkerer/kjører helt inntil opphøyd skulder. Ved smal opphøyd skulder vil man ikke oppnå den samme beskyttelsen av evakueringsveien.

Ved en hendelse vil kjøretøy kunne hope seg opp i tunnelen oppstrøms for hendelsen. Hvor mange kjøretøy som kjører inn i tunnelen etter at hendelsen har skjedd vil være avhengig av hvor raskt man klarer å stenge tunnelen med rødblink og bommer. Det vil også være avhengig av mengde trafikk på strekningen. I toløpstunneler ventileres brann alltid med kjøreretningen, slik at biler som kjører inn i tunnelen før bommene lukkes vil stå oppstrøms brannen, i et røykfritt miljø.

Nye Veier har sett på statistikk for fordeling antall kjøretøy i høyre og venstre felt på nye motorveger på E18 og E6. Tallene viser at det er betydelig større sjans for at begge kjørefelt er «opptatt» ved ÅDT 20 000 enn ved ÅDT 6000.

Faren for at utrykningskjøretøy ikke kommer seg fram ved en hendelse vurderes å være liten, men kan ikke utelukkes, og øker med økende ÅDT. Det vurderes at tunneler med T9,5-profil og trafikkmengder opp mot ÅDT 20 000 vil ha en økt sårbarhet ved hendelser.

Skulder

Det anbefales opphøyd skulder uten avfasing/utvidet skulder til fordel for tradisjonell opphøyd skulder. Det øker sannsynligheten for at biler blokkerer rømningsvegen ved en brann i tunnelen noe, men for rullestolbrukere vil det være en bedre løsning enn smal tradisjonell opphøyd skulder, som ansees som lite gunstig som rømningsvei for rullestol. Dersom det velges et alternativ uten opphøyd skulder bør den markeres på en måte slik at den tydelig skiller seg fra vegbanen, og reflekterer nøddlyset på en tilfredsstillende måte.

Skilting

Ulykkene som i størst grad påvirkes av redusert tunnelbredde er utforkjøring. Med økt hastighet i tunnelene ansees det derfor som uakseptabelt å ha sideplasserte skilt i standard størrelse når hastigheten i tunnelen øker, og skulderbredden reduseres. Det anbefales derfor at skilt monteres overhengende, eventuelt at det benyttes mindre skilt (LS), for å redusere sannsynligheten for påkjørsel av installasjoner i tunnelen. Løsning for skilt bør vurderes nærmere dersom det tillates skiltet hastighet 110 km/t i nye T9,5-tunneler. Forsterket kantoppmerking vil også kompensere for økt hastighet i tunnelen. Fører vil varsles tidligere om at kjøretøyet er på veg ut av vegbanene, og noe som gir større reaksjonsvindu. Smalere skulder vil derimot uansett redusere manøvreringsrommet for føreren med 0,5 m i T9,5 profil mot et T10,5 profil.

ÅDT

Statistikken for påvirkningen av ÅDT på ulykkesfrekvensen i tunnel er usikker. Statistikk fra motorveg i dagen viser at ved ÅDT opp mot 20 000 vil trafikken fordeles ganske jevnt mellom høyre og venstre felt. Når trafikkmengden er høy forventes det at hastigheten vil reduseres. Siden vegbanebredden er den samme som i dagen skal i utgangspunktet bilene ha tilsvarende plass til filskifte som i dagen. Tunnelbredden kan derimot gjøre at bilister legger seg nærmere midtlinjen, noe som kan øke ulykkesrisikoen. Det forventes likevel at dette bidraget vil være lite.

Det er ikke funnet statistikk som indikerer at trafikkmengder opp mot ÅDT 20000 medfører en høyere ulykkesrisiko i tunnelen enn trafikkmengder rundt ÅDT 6000. Økende mengde ÅDT innebærer imidlertid en større sannsynlighet for at det oppstår hendelser i tunnelen (selv om ulykkesfrekvensen er uendret).

Stigning

Stigning i tunneler er velregulert i tunnelsikkerhetsforskriften, og det kreves risikoanalyse og vurdering av tiltak for tunneler med stigning på mer enn 3%. Ny statistikk viser at antall ulykker i tunnel ikke har sammenheng med stigningsgraden. Det vurderes at stigningsgrad ikke vil være en avgjørende parameter for valget av T10,5 versus T9,5-profil (gitt at stigningsgraden er under 5 %).

Tunnellengde

Flere studier har vist at lengre tunneler har lavere ulykkesrisiko enn kortere tunneler. Lengde på tunnel vil ikke være avgjørende parameter for valget av tunnelprofil, da vi legger til grunn tunnellengder på under 4 km.

6 Bærekraft

Denne delen av rapporten tar for seg og viser forskjellen i klimagassutslipp fra bygging av de to valgte tunnelprofilene, T9,5 og T10,5. I tunnelverrsnittet er det benyttet prefabrikkerte veggelement i betong med en utvendig membran og i tunnelhengen er det benyttet et betonginnsprøytet PE-skum-hvelv. Denne fagrapporten tar for seg og viser forskjellen i klimagassutslipp fra bygging av de to valgte tunnelprofilene.

Hensikten med klimagassberegningene er å synliggjøre de relative forskjellene i klimagassutslipp fra de to tunnelprofilene, samt synliggjøre hva som er de største bidragsyterne til utslippene.

Inndata for vurderingene er vist i Vedlegg 1 – Inndata beregninger bærekraft.

6.1 Metodikk og systemgrenser

Metodikken bygger på NS 3720 Klimagassberegninger for bygninger, men analysen er begrenset til livsløpsstadiet utbygging (livsløpsstadie A som definert i NS3720). Denne inneholder fem moduler.

- A1-A3: Produksjonsstadiet (materialer)

I rehabiliteringsprosessen brukes det utslippintensive materialer i rørledninger og kummer. Asfalt og pukk er også tatt med her. Modul A1-A3 tar med utslipp fra produksjonen av disse materialene, fra råvarestadiet.

- A4: Transport i gjennomføringsstadiet

Denne modulen tar med klimagassutslipp fra transport av alle materialer til byggeplassen. Her er det antatt at alle materialene er tilgjengelig på lager på Østlandet.

- A5: Anleggsarbeid

I denne modulen tas det med utslipp fra selve anleggs, bygge- og monteringsarbeidet. I dette tilfellet er det tatt med utslipp fra graving og opplasting samt massetransport.

Materialbruk og anleggsarbeider som brukes i beregningene er de med størst bidrag til klimagassutslipp, basert på erfaring med tunnelprosjekter. Klimagassutslippet fra utskifting av materialer er ikke tatt med.

6.2 Beregningsverktøy

Beregningsverktøyet VegLCA v4.10 er benyttet i utarbeidelsen av klimagassberegningene. VegLCA er utviklet av Statens vegvesen, og versjon 4.10 omfatter to verktøy; mellom- og senfaseverktøy.

Mellomfaseverktøyet er benyttet til beregningene, da denne er tilpasset bruk i tidlig/mellomfase av planprosessen når detaljerte mengder ikke er tilgjengelig. Ytterligere informasjon om verktøyene kan finnes i rapportene «Dokumentasjon VegLCA v4.01» og «Brukerveiledning VegLCA v4.01.(/14/, /15/)

Nye Veiers verktøy NV-GHG er ikke benyttet da dette beregner utslipp på et overordnet nivå i tidlig- og mellomfase, og er for grovt til å fange forskjeller på dette detaljeringsnivået.

6.3 Funksjonell enhet

Klimagassberegningen er begrenset til tunnelprofil T9,5 og T10,5 og avgrenset til 1 løpemeter. Funksjonelle enhet presenteres i tonn CO₂ per 1 løpemeter tunnel.

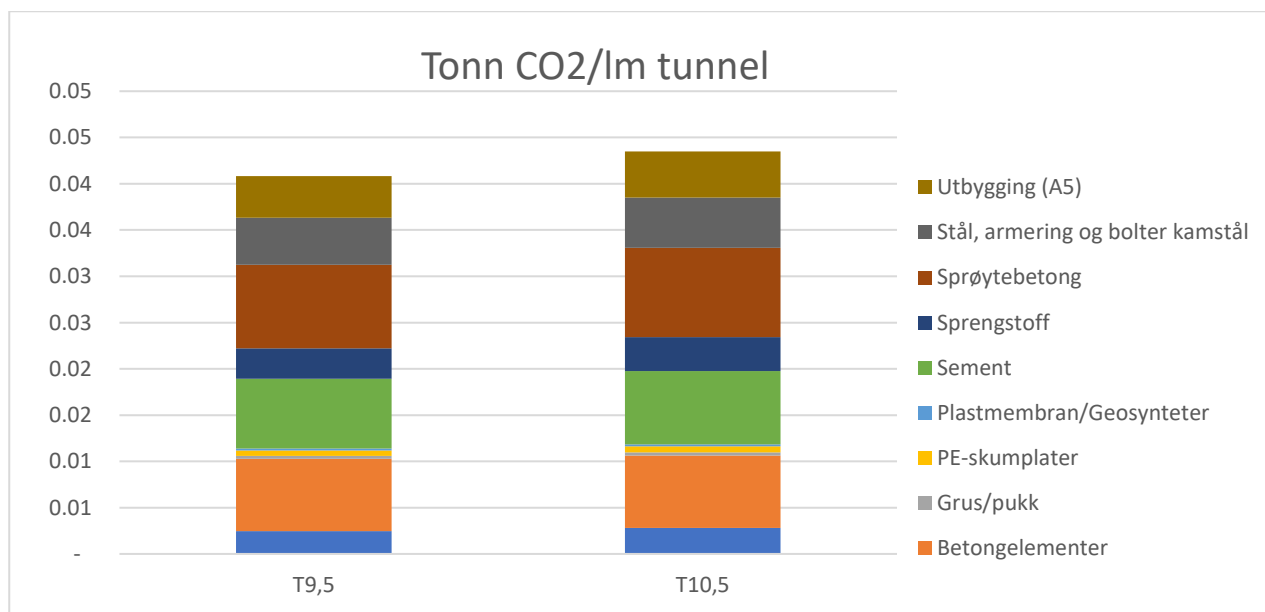
6.4 Resultater

Klimagassutslipp fra tunnelprofil T9,5 og T10,5 har blitt beregnet og presenteres i dette kapittel. Innsatsfaktorene og mengdene som ble benyttet i beregningene, er presentert i Vedlegg 1.

Resultatet viser at klimagassutslipp fra materialbruk og anleggsprosesser i anleggsfasen for tunnelprofil T9,5 ligger på totalt ca. 4,1 tonn CO₂ per løpemeter tunnel. Resultat av klimagassutslipp fra materialbruk og anleggsprosesser i anleggsfasen for tunnelprofil T10,5 ligger totalt på ca. 4,4 tonn CO₂ per løpemeter tunnel. Det betyr at tunnelprofil T9,5 gir et klimagassutslipp som er 6% lavere enn for tunnelprofil T10,5. I Tabell 4 vises materialproduksjon og utbygging for tunnelprofil T9,5 og T10,5.

Tabell 4: Materialproduksjon (A1-A4) og utbygging (A5)

Material/prosess	T9,5	T10,5	Enhet
Asfalt	0,24	0,28	Tonn CO2/lm
Betongelementer	0,78	0,78	Tonn CO2/lm
Grus/pukk	0,03	0,04	Tonn CO2/lm
PE-skumplater	0,057	0,063	Tonn CO2/lm
Plastmembran/Geosynteter	0,02	0,02	Tonn CO2/lm
Sement	0,75	0,79	Tonn CO2/lm
Sprengstoff	0,33	0,37	Tonn CO2/lm
Sprøytebetong	0,90	0,97	Tonn CO2/lm
Stål, armering og bolter kamstål	0,51	0,54	Tonn CO2/lm
Utbygging (A5)	0,45	0,50	Tonn CO2/lm
SUM	4,08	4,35	Tonn CO2/lm
	94 %	100 %	



Figur 6-1 Klimagassutslipp fra tunnelprofil T9,5 og T10,5

6.5 Vurdering og konklusjon

Ved å redusere tunnelverrsnittet fra T10,5 til T9,5 reduseres klimagassutslippet fra materialbruk og anleggsprosesser i anleggsfasen med 6 %, fra 4,4 tonn CO₂ per løpemeter tunnel til 4,1 tonn CO₂/lm.

De største bidragsyterne til klimagassutslipp fra bygging av tunnel er betong, injeksjonssement og sprøytebetong.

De største besparelsene ved å redusere tverrsnittet fra T10,5 til T9,5 ligger i reduserte mengder betong for vann- og frostsikringen, sprøytebetong for bergsikringen, asfalt, grus/pukk, sprengstoff og diesel til anleggsmaskiner og massetransport.

7 Investeringskostnader

Det er gjennomført et enkelt overslag for økonomiske besparelser som en følge av å endre fra tunnelprofil T10,5-profil til T9,5.

Overslaget er basert på en typisk toløps tunnel med ÅDT på under 20.000 utenfor bystrøk. Andre forutsetninger er at det er normal geologi og bergforhold hvor injeksjon utføres behovsprøvd lokalt i tunnelen. Vann- og frostsikringen er veggelementer av betong og sprøytebetonghvelv i taket.

Nedenfor følger en oppsummering av kostnadsbildet for T10,5 og T9,5.

Sammendrag T10,5 kontra T9,5			
	T9,5	T10,5	Kommentarer
Sprengning og bergsikring	44 000	48 080	Areal ned fra 75 m2 til 66 m2
Vann- og frostsikring	22 800	23 900	Buelengde ned fra 22 m til 21 m.
Tekniske bygg, kiosker, Kabelbro, skiltoppheng	8 420	8 420	
VA. Kummer og rør	6 740	6 740	
Vegoppbygning	7 275	8 150	1 m smalere vegbane
Elektro og SRO og Ventilasjon	19 500	19 500	
Øvrig 10%	8 822	9 413	
Rigg og drift 25%	29 415	31 080	
Entreprenarkostnad	147 073	155 399	Redusert kostnad kr. 8000,-
Byggherrekostnader 23%	33 827	35 742	
Prosjektkostnad	180 900	191 140	Redusert kostnad kr. 10 000,-
T9,5 tunnel har ca. kr. 10.000,- lavere prosjektkostnad pr tunnellopp. For to løp ca. kr. 20.000,-.			

Som en ser av sammenstillingen her så er det noen kostnadselementer som får redusert omfang og dermed reduserte byggekostnader. Dette er som angitt i tabellen over redusert omfang og tilhørende byggekostnader for sprengning, bergsikring ved sprøytebetong, vann- og frostsikring for hengen/taket og vegoverbygningen.

Som det fremgår av sammendraget så er det her en redusert entreprenarkostnad på kr. 16.000,- og redusert prosjektkostnad på kr. 20.000 pr lm tunnel for denne toløps-tunnelen.

Det er å anmerke her at ved å gå ned til en T9,5-tunnel vil det kunne bli et økt behov for siktutvidelser i et typisk prosjekt. Denne kostnaden er belyst i Safetec-rapport (/24/). Der er denne økte kostnaden for siktutvidelse antatt til ca. 8 % av de reduserte byggekostnader. Her da typisk kr. 1600,- pr lm.

Videre vil en ved å plassere skilt over vegbanen kunne få en mulig reduksjon av økte kostnader for utvidelser til skilt ved T9,5-profilet. Hvis ikke skilt plasseres over vegbanen vil det typisk være behov for tilsvarende kostnad for utvidelser for skilt.

For en typisk toløps-tunnel på 3000 meter vil en kunne redusere prosjektkostnaden med:

Redusert prosjektkostnad = 3000 x kr 18400 = 55 millioner.

Prosjektkostnaden for prosjektet er da typisk ca. 1 milliard.

8 Samfunnsøkonomiske vurderinger

Sparte samfunnsøkonomiske kostnader som følge av reduserte investeringskostnader ved å redusere tunnelbredden, må veies opp mot reduserte samfunnsøkonomiske nyttevirksomheter i form av lavere faktisk kjørehastighet og økt ulykkesrisiko.

I kapittel 7 anslås at endringen kan innebære en reduksjon i investeringskostnadene på 55 millioner kroner for en 3000 meter lang toløpstunnel. Dette anslaget er inkludert mva. I den samfunnsøkonomiske analysen¹ skal alle nytte- og kostnadsvirkninger være ekskl. mva. Imidlertid skal det legges til en skattekostnad på 20 prosent. Forutsatt 2 års investeringsperiode er nåverdibidraget av en investering på 55 millioner kroner inkl. mva. også ca. 55 millioner kroner ekskl. mva, men inkludert skattekostnaden og beregnet som nåverdi.

Vi presenterer i det følgende noen regneeksempler på den samfunnsøkonomiske nyttetapet ved redusert hastighet og økt ulykkesrisiko med en 9,5 meters tunnel i forhold til en 10,5 meters tunnel, basert på vurderingene tidligere i rapporten.

8.1 Forutsetninger

Vi baserer oss på de siste tidsverdiene og satsene for samfunnsøkonomiske ulykkeskostnader som er implementert i nyttekostnadsverktøyet EFFEKT, og legger også til grunn gjennomsnittlig fordeling av reisene mellom reisehensikter og reiselengder, samt belegg (antall personer per bil). Med disse forutsetningene får vi en gjennomsnittlig tidsverdi på i underkant av 390 kroner per time per lette kjøretøy og i overkant av 650 kroner per time for tunge kjøretøy². Det legges til grunn en tungebilandel på 10 prosent og en trafikk i åpningsåret på 10000 ÅDT.

Det legges til grunn hastigheter og ulykkesrisikoer som i Tabell 8-1.

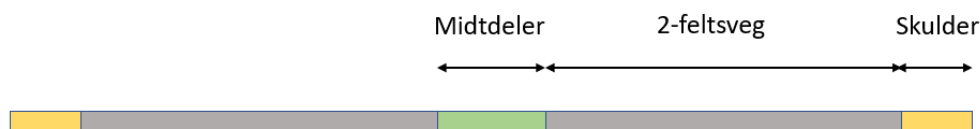
Tabell 8-1 Forutsetninger om hastighet og ulykkesrisiko ved ulike tunnelbredder, forutsatt en tunnel på 3000 meter og 110 kilometers fartsgrense.

	Bredde 10,5 meter	Bredde 9,5 meter	Differanse 9,5-10,5
Hastighet, lette, km/t	107	105,5	-1,5
Hastighet, tunge, km/t	90	89,5	-0,5
Ulykker, antall per år			
Drepte	0,005	0,0053	0,0003
Hardt skadde	0,065	0,069	0,004
Lettere skadde	0,687	0,729	0,042
Materialskaueulykker	1,12	1,19	0,068

Reduksjonen i kjørehastighet for lette kjøretøy er basert på Highway Capacity Manual 2000, som er en amerikansk guide for mobilitetsanalyser /39/. Guiden oppgir sammenheng mellom total avstand til faste objekter på hver side av kjørebane og reduksjon i hastighet, for motorveg i dagen. Total avstand til faste objekter tilsvarer bredde på midtdeler pluss skulderbredde.

¹ Jf for eksempel håndbok V712 Konsekvensanalyser fra Statens Vegvesen.

² Prisene i dette kapitlet er regnet i prisenivå 2020.



Figur 8-1 Inndeling vegbredde basert på Highway capacity manual

For tunnelverrsnitt T9,5 tilsvarer dette totalbredde på 2,5 m, og for T10,5 en totalbredde på 3,5 m. En reduksjon i bredden på firefelts motorveg fra 3,6 m til 2,4 m tilsvarer en reduksjon i kjøretøyhastighet på 1,5 km/t. Dette er ikke nødvendigvis helt overførbart til tunnel, men det ansees å gi et tilstrekkelig estimat som grunnlag for beregningene. Det vil imidlertid være noe usikkerhet knyttet til om ny teknologi i kjøretøyene vil påvirke gjennomsnittlig kjørehastighet i tunnelene.

Kjøretøyhastigheten for lette kjøretøy i T10,5-profil er basert på snitthastigheter målt på de nye vegstrekningene Kolomoen-Kåterud, Rugtvedt-Dørddal og Tvedestrand-Arendal med 110 km/t. Snitthastigheten for strekningene er målt til ca. 109 km/t. For å ta høyde for at hastigheten reduseres i tunnel er det benyttet 107 km/t i beregningene.

For tunge kjøretøy er kjøretøyhastigheten i T10,5-profil satt til 90 km/t. Det er antatt at reduksjonen i hastighet vil være mindre enn for lette kjøretøy siden hastigheten i utgangspunktet er betydelig lavere enn skiltet hastighet. Hastighet i T9,5-profilet er derfor redusert med 0,5 km/t for tunge kjøretøy.

Ulykkesrisikoen er basert på statistikk fra TØI. Det er lagt til grunn en ulykkesfrekvens representativ for motorveg i tunnel. Ulykker i portalområdene er inkludert i statistikken, her er det benyttet ulykkesfrekvenser representative for toløpstunneler i spredtbygd strøk (dvs. ikke i byområder), se Figur 3-1.

Fordelingen av konsekvenser ved ulykker er basert på statistikk fra presentasjon om trafikksikkerhet i vegtunneler /12/. Det er benyttet statistikk for toløpstunneler på land, inkludert innkjøringssonen. Det er lagt til grunn følgende tall: 0,01 drepte per ulykke, 0,13 hardt skadde per ulykke, og 1,38 lettere skadd per ulykke. For å vurdere antall ulykker med materielle skader er det lagt til grunn registrerte hendelser fra Safetec-analysen /24/, der det var ni hendelser med materielle skader per fire personskadeulykker.

Det er lagt til grunn en økning i ulykkesfrekvens på 6 % når tunnelverrsnittet reduseres fra T10,5 til T9,5. Dette er basert på statistikk fra veg i dagen. En reduksjon av skulderbredde på 0,5 m tilsvarer ca. 6 % økning i ulykkesrisiko (/12/). Statistikken er ikke nødvendigvis direkte overførbart til tunnel, men det gir en indikasjon på hvilken påvirkning det har, og er et «best guess» på hvordan ulykkesfrekvensen kan endre seg. Det er ikke lagt til grunn en risikoreduserende effekt av forsterket kantoppmerking i dette estimatet.

8.2 Resultater

I en basisberegning med de viste forutsetninger blir resultatene som vist i Tabell 8-2. Det er vist resultater med 40 års levetid (som i håndbok V712) og med 75 års levetid (som det ble lagt til grunn i nyttekostnadsanalysene i forbindelse med Nasjonal Transportplan). Lengre levetid innebærer at framtidige nyttevirksomheter teller mer enn ved kort levetid, men diskonteringen av framtidige effekter til dagens situasjon i nåverdiberegningen gjør at årene fra 40 til 75 likevel ikke fører til svært store endringer i resultatene. Med de benyttede standardforutsetningene er kostnadsbesparelsen ved å redusere veibredden klart større enn det samfunnsøkonomiske nyttetapet fra redusert hastighet og økte ulykkeskostnader. Reduksjonen i trafikanntnytt (kroneverdien av den økte tidsbruken) utgjør fjerdedel av reduksjonen i investeringskostnaden på 56 millioner kroner med levetid 40 år og litt mer med levetid 75 år. Økningen i ulykkeskostnader blir liten sammenlignet med de øvrige endringene, i størrelsesorden fem prosent av reduksjonen i investeringskostnadene.

Tabell 8-2 Nåverdi av sentrale samfunnsøkonomiske kostnadskomponenter ved å redusere tunnelbredde fra 10,5 meter til 9,5 meter. Millioner kroner, 2020-priser. Sammenligningsår/åpningsår 2025.

		Nåverdi 40 år*	Nåverdi 75 år*
1	Trafikantnytte	-14,0	-18,9
2	Ulykkeskostnad	-2,6	-3,5
3	Investeringskostnad	56,0	56,0
4=1+2+3	Netto	39,5	33,7

* Positive tall er endringer som bidrar til økt netto nytte. Negative tall er endringer som bidrar til redusert netto nytte.

Det er også gjort noen enkle følsomhetsanalyser av endrede forutsetninger. Lavere tidskostnad per lette kjøretøy kan inntreffe på vegprosjekter med høy andel feriereiser (oftest lange reiser), mens høyere tidskostnad kan være et resultat av høy andel tjenestereiser og arbeidsreiser. Tungbilandelen er oftest høyest på landeveistrekningslangt unna større byer, slik at omfanget av lokal biltrafikk er beskjedent. Resultatene er vist i Tabell 8-3.

Tabell 8-3 Følsomhetsanalyser av endrede forutsetninger. Netto nåverdi, millioner kroner

	Netto nåverdi ved 75 år
Basisberegning	33,7
Tidskostnad lette: 300 kr/t	37,6
Tidskostnad lette: 450 kr/t	30,9
Tungbilandel 20 %	33,7

Lavere tidsverdier enn i basisberegningen gir som forventet økt netto nytte av å begrense vegbredden, men forskjellene er ikke svært store. Variasjonene i tungbilandelen har nesten ingen effekt på den samlede trafikantnyttens og dermed netto nåverdi. Selv om tidsverdien per kjøretøy er langt høyere for tunge enn for lette biler, motvirkes dette av at tidsbesparelsen i minutter (sekunder) er mindre for tunge enn for lette kjøretøy.

Tabell 8-4 viser variasjon i nåverdi ved endret ÅDT.

Tabell 8-4 Følsomhetsanalyse av endret ÅDT. Netto nåverdi, millioner kroner

	Trafikantnytte	Netto nåverdi ved 75 år
Basisberegning (ÅDT 10 000)	-18,9	33,7
ÅDT 20 000	-37,7	11,5
ÅDT 12 000	-22,6	29,3
ÅDT 6 000	-11,3	42,7

Ved endret ÅDT vil investeringskostnaden være uendret, men trafikantnyttens og ulykkeskostnaden endrer seg proporsjonalt med ÅDT-verdien. Det er trafikantnyttens som er særlig utslagsgivende i den samlede oppsummeringen. Variasjonen i ÅDT gir store utslag på beregnet nåverdi. Ved ÅDT 6 000 er netto nåverdi nesten fire ganger større enn ved ÅDT 20 000.

Trafikantnyttens endres også omtrent proporsjonalt med hastighetsendringen. Dvs. at dersom hastighetsdifferansen mellom T10,5 og T9,5 øker til 2 km/t, vil trafikantnyttens reduseres med 5,8 millioner kroner ift. basisberegningen. Dette tilsvarer ca. 1/3 av trafikantnyttens for basisberegningen. Tilsvarende vil trafikantnyttens øke med 5,8 millioner kroner ift. basisberegningen dersom hastighetsdifferansen reduseres til 1 km/t.

En endring i hastighet for lette kjøretøy i T10,5-profilen på +/- 2 km/t gir en svært liten endring i trafikanntnyttene. 109 km/t og 105 km/t som utgangspunkt i basisberegningene gir hhv. 0,6 mill kroner mer og 0,7 mill kroner mindre i trafikanntnyttene for nåverdi 75 år.

8.3 Oppsummerende vurderinger

Samlet sett tyder regneeksemplene på at 9,5 meters tunnelbredde på motorveitunneler generelt sett kan rettferdiggjøres ut fra samfunnsøkonomiske vurderinger basert på Vegvesenets standard forutsetninger og de hastighetsreduksjoner og endringer i ulykkesrisiko som her er lagt til grunn.

9 Konklusjon

9.1 Usikkerhet

For å vurdere trafikksikkerheten er det benyttet statistikk og analyser gjennomført av TØI, Statens Vegvesen, Nye Veier, med flere, som underlag. Statistikken er ikke alltid entydig, og det er derfor usikkerhet knyttet til resultatene.

I tillegg er det begrenset tilgang til statistikk/erfarte hendelser i lignende tunneler (T9,5-profil med fartsgrense 110 km/t) som grunnlag for vurderingene.

9.2 Vurdering opp mot Nasjonal transportplan sine fem mål

9.2.1 Nullvisjon for drepte og hardt skadde

Erfaring fra veg i dagen tilsier at smalere skulder medfører en økning i ulykkesrisikoen. Det vil være sannsynlig at dette også gjelder for tunneler. Studier viser at kjøreadferden endrer seg i tunneler, og et smalere tunnelprofil vil antagelig forsterke disse forholdene og dermed bidra til en økning i risikoen. Det antas imidlertid at økningen vil være begrenset, og at risikoreducerende tiltak, slik som forsterket kantoppmerking og endret skiltplassing/redusert skiltstørrelse, vil bidra til å redusere risikoen. Forsterket kantoppmerking har vist seg å ha svært god effekt som et risikoreducerende tiltak. Det bemerkes imidlertid at den risikoreducerende effekten øker med økende skulderbredde. Det forventes at tiltaket vil ha god effekt også i tunneler med et T9,5-profil, men oppnådd risikoreducerende effekt vil trolig være noe lavere enn for tilsvarende kantoppmerking i tunnel med bredere skulderbredde.

Hendelsesstatistikk fra eksisterende tunneler gir ikke grunnlag for å konkludere med at et smalere tunnelprofil gir flere hendelser eller hendelser med mer alvorlige konsekvenser. Konklusjonen er imidlertid usikker da det statistiske grunnlaget er begrenset.

Smalere skulderbredde innebærer at fremkommeligheten for nødetatene vil være redusert i et T9,5-profil sammenlignet med et T10,5-profil. Det vurderes at tunneler med T9,5-profil og trafikkmengder opp mot ÅDT 20 000 vil ha en økt sårbarhet ved hendelser.

Sannsynligheten for alvorlige ulykker øker generelt med økt hastighet. Det er generelt ikke ønskelig å skilte ned fartsgrensene i tunneler, da dette kan utgjøre en risiko i seg selv. For å redusere risiko i tunnelen som følge av økt hastighet, er det derfor foreslått avbøtende tiltak, i form av forsterket kantoppmerking og endret skiltplassing/redusert skiltstørrelse. Det forventes derfor at hastigheten i tunnelene vil ligge under 110 km/t, spesielt i høyre kjørefelt.

Det er ikke funnet statistikk som indikerer at trafikkmengder opp mot ÅDT 20 000 medfører en høyere ulykkesrisiko i tunnelen enn trafikkmengder rundt ÅDT 6 000. Økende mengde ÅDT innebærer imidlertid en større sannsynlighet for at det oppstår hendelser i tunnelen (selv om ulykkesfrekvensen er uendret).

Alvorlighetsgraden på ulykkene øker når farten øker. Fremtidig teknologi vil sannsynligvis innebære både at vi overholder fartsgrensene og at faren for sammenstøt med andre kjøretøy og/eller tunnelvegg reduseres. Det vil likevel være et godt stykke fram i tid før kjøretøyparken er byttet ut og vi kan ta høyde for effekten av disse risikoreducerende teknologiske tiltakene. Valg om redusert tverrsnitt bør derfor være basert på en vurdering av om dette tverrsnittet gir akseptabel trafikksikkerhet også gitt dagens kjøretøypark og kjøreadferd.

9.2.2 Bidra til oppfyllelsen av Norges klima- og miljømål

Statens vegvesen skal bidra til å oppnå klimamålene ved blant annet valg av materialer, materialmengder og transportløsninger ved planlegging, bygging og drift av vegnettet.

Hensikten med klimagassberegningene er å synliggjøre de relative forskjellene i klimagassutslipp fra de to tunnelprofilene, samt synliggjøre hva som er de største bidragsyterne til utslippene.

Ved å redusere tunneltverrsnittet fra T10,5 til T9,5 reduseres klimagassutslippet fra materialbruk og anleggsprosesser i anleggsfasen med 6 %, fra 4,4 tonn CO₂ per løpemeter tunnel til 4,1 tonn CO₂/lm.

De største bidragsyterne til klimagassutslipp fra bygging av tunnel er betong, injeksjonssement og sprøytebetong.

De største besparelsene ved å redusere tverrsnittet fra T10,5 til T9,5 ligger i reduserte mengder betong for vann- og frostsikringen, sprøytebetong for bergsikringen, asfalt, grus/pukk, sprengstoff og diesel til anleggsmaskiner og massetransport.

9.2.3 Mer for pengene

Statens vegvesen søker å få mer for pengene, ved å ta vare på og få mer ut av dagens vegnett, og gjøre effektive valg i bruk av ny teknologi i livsløpet for veiene.

Det er gjennomført et enkelt overslag for økonomiske besparelser som en følge av å endre fra tunnelprofil T10,5 profil til T9,5.

Overslaget er basert på en typisk toløps-tunnel med ÅDT på under 20 000 utenfor bystrøk. Med forutsetningene som er satt tilsvarer redusert tverrsnitt en redusert entreprisestnad på kr. 16.000,- og redusert prosjektkostnad på kr. 20.000 pr lm tunnel for denne to-løps tunnelen.

For en typisk toløps-tunnel på 3000 meter vil en kunne redusere prosjektkostnaden med:

Redusert kostnad = 3000 x kr 18400 = 55 millioner.

Prosjektkostnaden for prosjektet er da typisk ca. 1 milliard. Kostnadsbesparelsen blir da i størrelsesorden 5-6 % av prosjektets total kostnad.

Sparte samfunnsøkonomiske kostnader som følge av reduserte investeringskostnader ved å redusere tunnelbredden, må veies opp mot reduserte samfunnsøkonomiske nyttevirksomheter i form av lavere faktisk kjørehastighet og økt ulykkesrisiko. Følgende forutsetninger om hastighet og ulykkesrisiko (for en tunnel på 3000 m, 110 km/t fartsgrense og ÅDT 10 000) er lagt til grunn i beregningene:

	Bredde 10,5 meter	Bredde 9,5 meter	Differanse 9,5-10,5
Hastighet, lette, km/t	107	105,5	-1,5
Hastighet, tunge, km/t	90	89,5	-0,5
Ulykker, antall per år			
Drepte	0,005	0,0053	0,0003
Hardt skadde	0,065	0,069	0,004
Lettere skadde	0,687	0,729	0,042
Materialskaulykker	1,12	1,19	0,068

Med de benyttede standardforutsetningene er kostnadsbesparelsen ved å redusere veibredden klart større enn det samfunnsøkonomiske nyttetapet fra redusert hastighet og økte ulykkeskostnader:

		Nåverdi 40 år*	Nåverdi 75 år*
1	Trafikantnytte	-14,0	-18,9
2	Ulykkeskostnad	-2,6	-3,5
3	Investeringskostnad	56,0	56,0
4=1+2+3	Netto	39,5	33,7

* Positive tall er endringer som bidrar til økt netto nytte. Negative tall er endringer som bidrar til redusert netto nytte. Millioner kroner, 2020-priser. Åpningsår 2025.

Reduksjonen i trafikantnytt (kroneverdien av den økte tidsbruken) utgjør fjerdedel av reduksjonen i investeringskostnaden på 56 millioner kroner med levetid 40 år og litt mer med levetid 75 år. Økningen i ulykkeskostnader blir liten sammenlignet med de øvrige endringene, i størrelsesorden fem prosent av reduksjonen i investeringskostnadene.

Ved endret ÅDT vil investeringskostnaden være uendret, men trafikantnytt og ulykkeskostnaden endrer seg proporsjonalt med ÅDT-verdien. Det er trafikantnytt som er særlig utslagsgivende i den samlede oppsummeringen. Variasjonen i ÅDT gir store utslag på beregnet nåverdi. Ved ÅDT 6 000 er netto nåverdi nesten fire ganger større enn ved ÅDT 20 000:

	Trafikantnytte	Netto nåverdi ved 75 år
Basisberegning (ÅDT 10 000)	-18,9	33,7
ÅDT 20 000	-37,7	11,5
ÅDT 12 000	-22,6	29,3
ÅDT 6 000	-11,3	42,7

Samlet sett tyder regneeksemplene på at 9,5 meters tunnelbredde på motorveitunneler generelt sett kan rettferdiggjøres ut fra samfunnsøkonomiske vurderinger basert på Vegvesenets standard forutsetninger og de hastighetsreduksjoner og endringer i ulykkesrisiko som her er lagt til grunn.

9.2.4 Effektiv bruk av ny teknologi

For å tilrettelegge for fremtidens transportsystem er det viktig å velge løsninger som gir god oppetid og fremkommelighet på vegnettet, og som tar høyde for forutsette endringer i trafikken.

Rapport for bærekraftig bevegelsesfrihet og mobilitet stiller følgende spørsmål om prosjekt for bærekraftig transportpolitikk (/35/):

Er sentrale valg i prosjektet basert på dagens og ikke morgendagens sikkerhetsnivå for kjøretøy? Smartere kjøretøy og utstyr vil kunne øke sikkerheten på vei, blant annet knyttet til evne til å holde eget kjørefelt og ved forhindring av risikabel fletting. Dette kan ha konsekvenser eksempelvis for behov for veibredde, prosjekter knyttet til tunnelsikkerhet med mer.

Sensorteknologi og kjøretøyutvikling vil medføre en bedring i trafiksikkerheten. Samtidig tar det i størrelsesorden 25-30 år før kjøretøyparken skiftes ut, slik at vi ikke kan ta høyde for en økning i trafiksikkerhet som følge av teknologisk utvikling på kjøretøyene helt ennå.

Løsningen med 0,5 m bred skulder legger til rette for at fremtidige kjøretøy benytter optiske kamera, som er avhengig av god synlighet på vegmerkingen. Smalere vegskulder ville økt sannsynligheten for at vegstøv bygges seg opp langs vegbanen, og økt behovet for renhold av tunnelen.

Fremtidig teknologi vil ha økt behov for kapasitet for sensorteknologi og behov for kabler. T9,5- vs. T10,5-profil vil gi noe mindre kapasitet til trekkerør, men med gjeldende regelverk (N601 og NEK600) er behovet for trekkerør uansett større enn tilgjengelig plass under opphøyd skulder – selv i en T10,5-tunnel. Dvs. at

uavhengig av størrelse på tunnelprofil må det uansett etableres føringsveier andre steder i tunnelen enn i vegskulderen. Det er et krav i N500 at det skal etableres ekstra kapasitet for trekkerør for fremtidig bruk, som skal tilrettelegge for oppgradering.

9.2.5 Enklere reisehverdag og økt konkurransevne for næringslivet

Det er viktig at løsningene som velges ivaretar fremtidig ÅDT. Bergkonstruksjonen skal dimensjoneres for 100 år (/13/), slik at valgene som tas med tanke på utforming av tunneler vil ha påvirkning i lang tid fremover. Valg av tunnelprofil er ikke et reversibelt valg, da det vil innebære store kostnader å utvide tunneltverrsnittet.

Et annet aspekt ved tilrettelegging for reiser i fremtiden er god fremkommelighet på vegnettet. Det antas at det vil bli noe større fartsforskjeller og at det vil være litt flere som velger å kjøre noen km/t under fartsgrensen i T9,5 enn i T10,5, slik at gjennomsnittshastigheten vil være noe lavere. Dette innebærer at trafikanntnyten reduseres marginalt ved å redusere tverrsnittet til T9,5.

Løsningene som velges bør ikke gi økt vedlikeholdsbehov og redusert oppetid, og de må ivareta HMS for drift. Det er ikke identifisert forhold som skiller tunnelprofil T9,5 og T10,5 med tanke på drift og vedlikehold i stor grad.

Påkjørsel av skilt er identifisert som en stor fare med tradisjonelle sidemonterte skilt, som kan medføre ekstra vedlikehold og nedetid i tunnelen. Denne faren kan ivaretas ved at skilt monteres overhengende, eller at det monteres mindre skilt (MS). Dersom skilt (bortsett fra nødsilt) plasseres overhengende, vil fare for påkjørsel reduseres betraktelig, og vedlikeholdsbehovet vil reduseres. Det vil være behov for lift for tilkomst til skiltene, men løsningen kan samtidig potensielt redusere antall skilt i tunnelen ved at flere funksjoner kan slås sammen.

Ved drift- og vedlikeholdsarbeider i tunnelene forutsettes det at ett eller begge kjørefelt stenges, og det vurderes at det reduserte tverrsnittet i T9,5 ift. T10,5 ikke øker risiko knyttet til HMS.

9.3 Avbøtende tiltak

For å kompensere for redusert sikkerhet som følge av smalere tunneltverrsnitt er følgende avbøtende tiltak anbefalt i rapporten:

- Overhengende skilt, eventuelt mindre sideplasserte skilt. Avbøtende tiltak for å redusere sannsynligheten for påkjørsel av skilt. Skiltløsningen bør vurderes nærmere.
- Forsterket kantoppmerking, avbøtende tiltak for å ivareta kantsteinens varslingsfunksjon.
- Flatere utforming av skulder, avbøtende tiltak for rullestolbrukere.

9.4 Videre arbeid

Det bør vurderes videre hvordan sidearealet i tunnelen bør utformes, for å ivareta drift og trafiksikkerhet på best mulig måte.

I forbindelse med vurdering av utformingen av skulder i tunnelen kan det også vurderes om det er mulig å ha ulik utforming på sidearealet på hver side av tunnelen, tilsvarende som i dagsone. Det kan for eksempel være opphøyd skulder på en side (for evakuering), og asfalt på motsatt side. Ved rømning kan det være en fordel med ulik utforming, siden bilene vil ha bedre plass til å trekke ut mot høyre, og det blir tydeligere at det er venstre side, med ledelys, nødutgangsskilt (retning, med avstand) og nødutgangsskilt med grønn opplysning ved/rundt hver rømningsdør, som er rømningsveien.

Det bør også tas stilling til om det er ønskelig med sideplasserte eller overhengende forbudsskilt i tunnelene. Dette gjelder i hovedsak for T9,5-profilen, men det bør også vurderes for T10,5-profil.

Forbud mot tunge kjøretøy i venstre kjørefelt bør også vurderes videre som et avbøtende tiltak.

10 Kilder

- /1/ Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften), FOR-2007-05-15-517, Samferdselsdepartementet
- /2/ Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (brann- og eksplosjonsvernloven), LOV-2002-06-14-20, Justis- og beredskapsdepartementet
- /3/ Håndbok N500, Vegtunneler, Statens vegvesen, 2020.
- /4/ Håndbok N200, Vegbygging, Statens vegvesen, 2018
- /5/ Trafikksikkerhetshåndboken, Utforming av tunneler, TØI 2016.
- /6/ Nasjonal transportplan, 2022-2033, Meld.St. 20, Samferdselsdepartementet, 2020-2021.
- /7/ Nasjonal transportplan 2022-2033, Oppdrag 9: Prioriteringer, Statens vegvesen 2020.
- /8/ SVV 347, Predikering av branner og ulykker i vegtunneler, TØI, 2019.
- /9/ Trafikksikkerhetshåndboken, Trafikkregulering, TØI, 2016.
- /10/ Potential crash reduction benefits of shoulder rumble strips in twolane rural highways, Khan et.al., 2014.
- /11/ Trafikksikkerhetshåndboka, Vegutforming og vegutstyr, TØI. 2017.
- /12/ Presentasjon Trafikksikkerhet i veitunneler, Standardsprang?, Arild Engebretsen, 2019.
- /13/ SVV 127, Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008 – 2011, Hovedrapport, Statens vegvesen, 2012.
- /14/ Asplan Viak, «Dokumentasjon VegLCA v4.01,» 2020.
- /15/ Asplan Viak, «Brukerveiledning VegLCA v4.01,» 2020.
- /16/ Håndbok N100, Veg og gateutforming, Statens vegvesen, 2019
- /17/ Håndbok N300, Trafikkskilt, Statens vegvesen, 2012
- /18/ Håndbok N302, Vegoppmerking, Statens vegvesen, 2015
- /19/ Håndbok V721 Risikovurderinger i vegtrafikken, Statens vegvesen, 2007
- /20/ Veileder for risikoanalyser av vegtunneler, Statens vegvesen, 2007
- /21/ R511 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler, Statens vegvesen, 2019
- /22/ NA-rundskriv 2021/01 Fartsgrensekriterier, Statens vegvesen, 2021
- /23/ LOV-2017-06-16-51, Lov om forbud mot diskriminering på grunn av nedsatt funksjonsevne
- /24/ Risikoanalyse, Betydning av tunnelprofil T9,5 vs. T10,5, Safetec, 2020
- /25/ Kjørefart og personskadeulykker på motorveger med fartsgrense 100 km/t, Statens vegvesen, 2004
- /26/ Endring av fartsgrense – en før- og etteranalyse av fartsgrenseendring fra 100 km/t til 110 km/t, Statens vegvesen, 2019
- /27/ Trafikksikkerhet på 4-felts motorveg og motortrafikkveg, Trafitec, 2020
- /28/ Vegbredde motorveg / 4-feltsveg 90 – 110 km/t – Vurdering og sammenstilling av datamateriale, Multiconsult, 2020
- /29/ Notat NO-TUN-01, Hva kan gjøres for at tunnelprofil T9,5 kan skiltes 110 km/t, Norconsult, 2020
- /30/ Vurdering av om overhengende fartsgrenseskilt i tunnel vil være et fravik, Norconsult, 2021
- /31/ Predikering av branner og ulykker i vegtunneler, TØI, 2019
- /32/ Synsfelt, Store Norske Leksikon,
<https://sml.sn.no/synsfelt#:~:text=Synsfelt%20er%20det%20omr%C3%A5det%20som,og%20hodet%20holdes%20i%20ro.>
- /33/ Synsfelt, Wikipedia, <https://no.wikipedia.org/wiki/Synsfelt>
- /34/ Vurdering E39 Rogfast, Trygghet, monotoni og sikkerhet i krisesituasjoner og ved normal ferdsel, SINTEF, 2006
- /35/ Teknologi for bærekraftig bevegelsesfrihet og mobilitet, Ekspertutvalget - Teknologi og fremtidens transportinfrastruktur, 2019

- /36/ Fastsettelse av veinormal N100 Vei- og gateutforming - Motorveier og standardar på veier med ÅDT 6 000 - 20 000, Samferdselsdepartementet, 07.12.2020.
- /37/ Rullestolbredde, Veiviseren.no
<https://www.veiviseren.no/stotte-i-arbeidsprosess/fremskaffe-og-forvalte-boliger/veileder-for-lokalisering-og-utforming-av-omsorgsbygg/5-dimensjoneringsgrunnlag/rullestol>
- /38/ Cross Section Geometry in Uni-directional Tunnels, PIARC, 2001.
- /39/ Highway Capacity Manual, A Guide for Multimodal Mobility Analysis, Transportation Research Board, 2000.

Inndata for tunnelprofil T9,5 og T10,5 er benyttet fra Håndbok N500 Vegtunneler, Statens vegvesen håndbokserie. Tabell 5 viser geometriske mål for de ulike tunnelprofilene. Tabell 6 viser inndata som ble benyttet ved beregning av klimagassutslipp for tunnelprofil T9,5 og T10,5.

Tabell 5: Geometriske mål for de ulike tunnelprofilene (alle mål er gitt i m). Kilde: Håndbok N500, tabell 3.1

Tunnelprofil	Teoretisk sprengningsprofil		Normalprofil	
	Areal, AS, m ²	Buelengde, BS, m	Areal, AN, m ²	Buelengde, BN, m
T9,5	66,62	21,04	53,61	18,46
T10,5	74,59	22,13	60,64	19,55

Tabell 6: Inndata for tunnelprofil T9,5 og T10,5

Innsatsfaktorene	T9,5	T10,5	Enhet	Referanse
ÅDT	<20000	<20000		Oppdragsgiver
ÅDT _T *	2000	2000		10% av ÅDT
Trafikkgruppe	E	E		Håndbok N200 Vegbygning, tabell 511.1
Asfalttykkelse	0,12	0,12	m	Håndbok N200 Vegbygning, tabell 533.1
Forsterkningslag	0,3	0,3	m	Håndbok N200 Vegbygning, tabell 533.1
Telefarlighetsklasse	T1	T1		Håndbok N200 Vegbygning, tabell 521.1
Kjørebanebredde	7	8	m ²	Håndbok N500, tabell 3.1
Tykkelse sprøytebetong	0,08	0,08	m	Div. prosjekter
Injeksjonsbehov*	800	840	kg/lm	Erfaringstall, Rv. 80 Bodøtunnelen, to-løps, T9,5.
Sikringsbolter: antall	5	5	Stk./lm	Håndbok N500 Vegtunneler, tabell 6.1
Sikringsbolter: lengde	3	3	m	Q-systemet (NGI, 2015)
Opphengningsbolter: antall	10	10	Stk./lm tunnel	Erfaringstall
Opphengningsbolter: lengde	3	3	m	Erfaringstall
Egenvekt: stål	2,5	2,5	Kg/m	Produktdatablad Pretec sikringsbolt
Egenvekt: betong med armeringsjern	2,4	2,4	Tonn/m ³	Norsk Gjenvinning
Tykkelse betong element	0,2	0,2	m	Håndbok N500 Vegtunneler, tabell 7.4
Frostmengde*	<15000	<15000	F _{10T} (h°C)	Håndbok N500 Vegtunneler, tabell 7.4
Tykkelse PE-skum	45	45	mm	Håndbok R510 Vann og frostsikring i tunnel, kap. 4.4
Vekt armeringsnett ø8c150	5,77	5,77	Kg/m ²	Berger armering as, armeringsnett B500NA, NS 3576-1

* Antagelser

En del mengder er antatt ut fra generelle betraktninger. Mengdene er imidlertid usikre, for eksempel er behovet for injeksjonssement svært avhengig av bergkvalitet, vanntrykk og annet. Det er valgt representative enhetsmengder ut fra erfaring i tidligere prosjekter.

Materialforbruk

Tabell 8 vises materialbruk og anleggsarbeid for tunnelprofilene T9,5 og T10,5. Mengdene material for tunnelprofilene er beregnet utefra inndata i Tabell 2.

Tabell 11: Materialforbruk for tunnelprofil T9,5 og T10,5

Materialforbruk	T9,5	T10,5	
Materialer	Mengde	Mengde	Enhet
Asfalt, Agb	7	8	m2
Bærelag (Ag)	0,84	0,96	m3
Forsterkningslag (pukk)	2,1	2,4	am3
Betongelement, prefabrikkert, lavkarbon C	3,36	3,36	tonn
Sprøytebetong, B35 (uten fiber av stål/plast)	2,6	2,8	m3
Injeksjonssement	0,8	0,84	tonn
PE-skumplater	0,52	0,56	m3
Stål, armering og bolter kamstål	0,43	0,46	tonn
Tettemembran, plast	7	7	m2

Tabell 8: Anleggsarbeid for tunnelprofil T9,5 og T10,5

Anleggsarbeid	T9,5	T10,5	
Prosess	Mengde	Mengde	Enhet
Sprengning i tunnel (kun sprengning)	66,6	74,6	pfm3
Massehåndtering og -graving (alle masser)	66,6	74,6	pfm3
Masser ut av anlegg (kun transport)	66,6	74,6	pfm3
Masser inn til anlegg (kun transport)	2,5	2,9	lm3

10.2 Utelatte elementer

Elementer som anses som like for de to tunnelalternativene, eller som antas å ikke gi store utslipp i byggefasen, er utelatte ut fra hensynet til en forenkling av analysen. Dette gjelder:

- Vifter og lys
- Utskiftning av asfalt
- Utskiftning av vifter og lys
- Strøm til vifter og lys

10.3 Utslippsfaktorer

Utslippsfaktorene for de viktigste materialpostene og dieselforbruk er vist under Tabell 13.

Tabell 13: Utslippsfaktor for materialer

Innsatsfaktor	Utslippsfaktor	Enhet	Kilde
Asfalt	35	Kg CO2/m ²	VegLCA V4.10
Pukk	15	Kg CO2/m ³	VegLCA V4.10
Betongelement, prefabrikkert, lavkarbon C	233	Kg CO2/tonn	VegLCA V4.10
Sprøytebetong, B35 (uten fiber ab stål/plast)	348	Kg CO2/m ³	VegLCA V4.10
Injeksjonssement	943	Kg CO2/tonn	VegLCA V4.10
PE-skumplater	111	Kg CO2/m ³	VegLCA V4.10
Stål, armering og bolter kamstål	1188	Kg CO2/tonn	VegLCA V4.10
Tettemembran, plast	3,2	Kg CO2/m ²	VegLCA V4.10
Diesel	3,2	Kg CO2/l	VegLCA V4.10