

Prosjektoppgave i Tunnelsikkerhetsstudiet
Våren 2024
Universitetet i Stavanger

Tunnelsikkerhet, krav til selvredning og rømningsveier – bruk av ÅDT
for å definere sikkerhetsnivå

Forord

Det finnes over 1.250 vegtunneler i Norge og det bygges stadig flere og lengre tunneler. I følge TØI rapport 1948/2023 [8] er det i perioden 2008-2021 i gjennomsnitt 27 branner og 17 branntilløp per år. På det norske vegnettet finnes alt fra korte tunneler på rundt 500 meter til tunneler som er opp mot 25 km lange. For å sikre et tilstrekkelig sikkerhetsnivå og en felles forståelse av tunnelsikkerhet ble Europa-parlamentets og rådets direktiv 2004/54/EF av 29.april 2004 om minimumssikkerhetskrav for tunneler i det transeuropeiske vegnettet vedtatt [3].

Motivasjonen bak denne oppgaven er å se på hvordan man sikrer at kravene til selvredning ved branntilfeller i tunneler ivaretas gjennom å følge Tunnelsikkerhetsforskriften [1]. Med unntak av tunneler med 2 løp med tverrforbindelser mellom løpene så bygges det unntaksvis tunneler i Norge med rømningsveier i hele tunnelens lengde. Det er derfor i oppgaven sett nærmere på hvordan kravene til selvredning ivaretas og hvilken praksis som finnes med bruk av årsdøgntrafikk (ÅDT) som en av de viktigste styrende parameterne. Hvilket sikkerhetsnivå gir dette og vil dette være en hensiktsmessig måte å drive sikkerhetsstyring på.

Denne oppgaven utgjør modul 6 av Tunnelsikkerhetsstudiet ved Universitetet i Stavanger. Oppgaven omfatter 5 studiepoeng av totalt 30 studiepoeng for hele studiet som er gjennomført i perioden høsten 2022 – våren 2024. I den anledning rettes en stor takk til Ove Njå som studieveileder. I tillegg rettes en stor takk Anine Kalmo Larsen, praktisk tunnelforvalter for Oslofjordtunnelen som har bidratt med teknisk informasjon om tunnelen og Karoline Bakken Bråthen, praktisk tunnelforvalter for Byfjordtunnelen som har bidratt med teknisk informasjon om tunnelen. Inger Lise Johansen (Vegdirektoratet), Mona Lindstrøm (Vegdirektoratet) og Oddvar Kaarmo (Statens Vegvesen) har også bidratt i diskusjoner om bruk av ÅDT for å definere krav til sikkerhetsnivå. En stor takk rettes for den innsikten de har bidratt med til oppgaven.

Med daglig virke som rådgiver innenfor brann og sikkerhet og i denne anledning student innenfor tunnelsikkerhet har det vært interessant å skrive denne oppgaven for å kaste et lys på problemstillingene knyttet til krav om selvredning og rømningsveier i norske tunneler.

Sammendrag

Oppgaven har hatt til hensikt å belyse følgende problemstillinger:

- Hvordan sikrer vi at kravene til selvredning i EU-direktivets innledende betraktninger, punkt 11, er ivarettatt gjennom Tunnelsikkerhetsforskriften?
- Hvordan sikrer man at kravene ivaretas ved å benytte ÅDT som styrende parameter for å etablere rømningsveier?

For å vurdere dette er det sett nærmere på hvordan evakuering av tunneler foregår, og hvilke problemstillinger dette kan omfatte. Viktig i definisjon av sikkerhetsnivå med dagens regelverk og praksis vil være den mengden trafikk som går gjennom en tunnel i løpet av året, uttrykt som et gjennomsnittlig årsdøgn (ÅDT).

Sammenliknet med evakuering andre steder i samfunnet som vurdert i kapittel 2.1.4 så vurderes det at trafikantene er lite forberedt på den hendelsen som kan inntreffe. I tillegg er scenario i de to tilfellene fra bygninger og flytrafikken tydeligere definert med maks forventet personbelastning i motsetning til i tunneler hvor disse verdiene ofte er ukjente.

Det er i rapporten utført analyser av de 2 eksisterende tunnelene Byfjordtunnelen og Oslofjordtunnelen og hvordan ÅDT har påvirket sikkerhetsnivået ved utvikling over en lengre periode. Tunnelene kan vurderes å ha et noenlunde likeverdig risikobilde, men funnene viser at det er stor variasjon i sikkerhetsnivået mellom de 2 tunnelene, blant annet ved at Oslofjordtunnelen har etablert en nødutgang i tillegg til redningsrom, noe som ikke finnes i Byfjordtunnelen. I tillegg er det akseptert at tunnelen over mange år ikke har etablert rømningsveier iht.

Tunnelsikkerhetsforskriften [1], noe som forutsetter at det er dokumentert at etablering av rømningsvei ikke er gjennomførbart og virkningsfullt.

De store forskjellene i tiltak på Oslofjordtunnelen og Byfjordtunnelen er påfallende siden begge tunnelene skal ivareta krav i samme forskrift og tunnelene virker å ha likeverdige forutsetninger og risiko. Det har imidlertid vært flere kritiske hendelser i Oslofjordtunnelen enn i Byfjordtunnelen, hvilket kan tyde på at det er hendelsene som styrer krav til sikkerhetsnivå. En slik metode vil kunne bety at tunneler med høy risiko hvor konsekvensene ved ulykke kan være store, ikke får oppgradert sikkerheten på grunn av fravær av kritiske hendelser.

Videre er det utført analyser av variasjoner i sikkerhetsnivå i de 2 eksisterende tunnelene samt i 3 fiktive tunneler definert etter dagens krav. Fokuset på denne analysen har vært å se hvor mange kjøretøy man kan forvente inne i en tunnel ved et branntilfelle og hvor mange kjøretøy som kan bli sperret av en ulykke med brann. Videre er det vurdert hvor lang tid man kan forvente at trafikanter må benytte dersom man evakuerer ut av tunnelen til fots. Resultatene viser at ÅDT og lengden på tunnelen er medvirkende til hvor mange kjøretøy som befinner seg i en tunnel og som kan bli sperret av en brann i en tunnel. I tillegg vil det også være andre faktorer som kan avgjøre dette, spesielt hvor lang tid man bruker på å stenge tunnelen etter

inntruffet hendelse. Analysene viser også at det er store variasjoner i hvor lang tid man kan forvente å benytte ved selvredning til fots på grunn av lengden på tunnelene og naturligvis om det etableres rømningsveier med langt kortere mellomrom.

EU-direktivet stiller strenge krav til enkeltindividet ved selvredning. Med dagens regelverk og unntak i norske forskrifter, som legger opp til at rømningsveier først etableres ved ÅDT 8.000 i lange tunneler, vil det i mange tilfeller ikke kunne konkluderes med at EU-direktivets krav til selvredning vil ivaretas. Videre konkluderer oppgaven og analysene med at ÅDT må benyttes på en mer nyansert metode for å kunne analysere faktiske scenario og ikke bare benytte grenseverdier for å definere krav.

Rapporten konkluderer med en anbefaling om å utrede metoder for å analysere alle forhold som har betydning for tunnelsikkerhet i samsvar med Tunnelsikkerhetsforskriftens vedlegg I, punkt 1.1.1 og 1.1.2. På denne måten vil det være tydeligere hvilke krav som bør stilles til tunnelen for å sikre ivaretagelse av krav om selvredning. Til slutt anbefales nærmere utredninger om hvordan man kan bygge mer kostnadseffektive rømningsveier fra ett-løps tunneler for å stimulere til å etablere flere rømningstunneler i fremtiden.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
2	Evakuering av tunneler ved brann	6
2.1	dagens metoder for ivaretagelse av sikker evakuering	6
2.1.1	<i>Hva er ÅDT?</i>	6
2.1.2	<i>Hva betyr ÅDT for valg av sikkerhetstiltak?</i>	7
2.1.3	<i>Selvredning med og uten rømningsvei</i>	9
2.1.4	<i>Hvordan dimensjoneres krav til evakuering andre steder i samfunnet?</i>	10
2.1.5	<i>ÅDT til bruk ved sikkerhetsstyring</i>	11
3	Metode	13
3.1	DOKUMENTANALYSE	13
3.2	analyse av sikkerhet i eksisterende tunneler	13
3.3	Variasjoner i sikkerhetsnivå i tunneler ved bruk av dagens regelverk	14
4	Analyse og empiri	16
4.1	analyse av sikkerhet basert på ådt i eksisterende tunneler	16
4.1.1	<i>Tunnelbeskrivelser</i>	16
4.1.2	<i>Byfjordtunnelen – analyse av ÅDT og sikkerhetsnivå</i>	19
4.1.3	<i>Oslofjordtunnelen – analyse av ÅDT og sikkerhetsnivå</i>	20
4.1.4	<i>Byfjordtunnelen og Oslofjordtunnelen – ÅDT som grunnlag for sikkerhetsstyring</i>	21
4.2	Variasjoner i sikkerhetsnivå i tunneler ved bruk av dagens regelverk	22
4.2.1	<i>Tunnelanalyse - innledning</i>	22
4.2.2	<i>Tunnelanalyse – Byfjordtunnelen</i>	24
4.2.3	<i>Tunnelanalyse – Oslofjordtunnelen</i>	25
4.2.4	<i>Tunnelanalyse – Tunnel 1 - Tunnelklasse B med lengde 4.990 meter og ÅDT 3.990</i>	26
4.2.5	<i>Tunnelanalyse – Tunnel 2 - Tunnelklasse C med lengde 9.990 meter og ÅDT 7.000</i>	27
4.2.6	<i>Tunnelanalyse – Tunnel 3 - Tunnelklasse D med lengde 5.000 meter og ÅDT 8.000</i>	28
4.2.7	<i>Tunnelanalyse – sammenstilling</i>	29
5	Drøfting og konklusjon	31
5.1	Sikkerhetsnivå eksisterende tunneler	31
5.2	Variasjoner i sikkerhetsnivå ved bruk av dagens regelverk	32
5.3	Hvordan hensyntas konsekvens ved hendelse i dagens regelverk	33
5.4	Drøfting av problemstilling	33
5.5	videre arbeider	34
5.6	Konklusjon	35
6	Referanser	37

1 Innledning

For å sikre et tilstrekkelig sikkerhetsnivå og en felles forståelse av tunnelsikkerhet ble Europa-parlamentets og rådets direktiv 2004/54/EF av 29.april 2004 om minimumssikkerhetskrav for tunneler i det transeuropeiske vegnettet vedtatt [3]. EU-direktivet har benyttet 26 betraktninger som grunnlag for direktivet som fastsetter et minste krav til sikkerhetsnivå for tunneler som omfattes av direktivet.

Dette direktivet har videre dannet grunnlaget for Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (Tunnelsikkerhetsforskriften, også kalt TSF) [1]. I denne oppgaven er det valgt å se på forutsetningene for kravene til å etablere rømningsveier fra tunneler iht. direktivet og hvilke tilpasninger som er gjort i den norske forskriften.

EU-direktivets innledende betraktninger, punkt 11, sier følgende om evakuering: *«Safety measures should enable people involved in incidents to rescue themselves, allow road users to act immediately so as to prevent more serious consequences, ensure that emergency services can act effectively and protect the environment as well as limit material damage».*

Tunnelsikkerhetsforskriften stiller krav om rømningsvei (nødutgang) ved følgende tilfeller ved bygging av nye tunneler (vedlegg I, 2.3.6):

- Tunneler med ÅDT > 4.000

Alternativt vil det kunne stilles krav om etablering av rømningsvei som forsterkede tiltak som følge av at andre risikoforhold tilsier dette. Det kan for eksempel være aktuelt ved stigning > 3%.

I Tunnelsikkerhetsforskriftens § 8 gis Vegdirektoratet en mulighet for å gjøre et unntak fra krav om nødutgang for tunneler < 10 km og med ÅDT < 8.000. Dette forutsetter at en risikoanalyse kan vise at tilsvarende eller bedre sikkerhet kan oppnås med alternative tiltak.

Med disse forutsetningene vil denne oppgaven se nærmere på følgende problemstilling:

- Hvordan sikrer vi at kravene til selvredning i EU-direktivets innledende betraktninger, punkt 11, er ivaretatt gjennom Tunnelsikkerhetsforskriften?
- Hvordan sikrer man at kravene ivaretas ved å benytte ÅDT som styrende parameter for å etablere rømningsveier?

Med svært få unntak, etableres rømningsveier fra tunneler i Norge. I all hovedsak gjøres dette kun når det bygges tunneler med 2 løp hvor rømning ivaretas med tverrforbindelser til motsatt tunnelløp. Motivasjonen bak oppgaven er å se nærmere på hvorfor det etableres så få rømningstunneler i Norge og hva det betyr at trafikkmengde er den eneste parameteren som legges til grunn for kravet.

2 Evakuering av tunneler ved brann

2.1 DAGENS METODER FOR IVARETAKELSE AV SIKKER EVAKUERING

Dersom fagpersoner innenfor tunnelsikkerhet får uttale seg, vil de fleste si at evakuering av tunneler ved brann kan være komplisert. Det er ofte et ukjent antall personer som kan befinne seg i tunnelen ved en hendelse og disse har varierende og ukjent kompetanse om evakuering av tunneler ved brann. Dersom en hendelse oppstår vil utfallet avhenge av mange faktorer som vil variere fra tunnel til tunnel og fra hendelse til hendelse. Dette kan være faktorer som følger:

- Tunnelens lengde
- Tunnelens størrelse (profil)
- Brannforløp (brannenergi, brannutvikling)
- Ventilasjon
- Deteksjon og overvåkning
- Informasjon til trafikanter
- Muligheter for stenging av tunnelen
- Snumuligheter inne i tunnelen
- Personbelastning, hvor mange befinner seg i tunnelen ved en hendelse?
- Trafikantenes evne og kompetanse om selvredning

Alle disse faktorene vil kunne bestemme utfallet av en hendelse. I forbindelse med sikker evakuering legges det store forventninger til trafikantenes evne til selvredning og evakueringskompetanse. De må forholde seg aktivt til en situasjon som er ukjent og som de færreste verken har kompetanse eller erfaring innen.

Kanskje den viktigste faktoren er; «hvor mange personer oppholder seg inne i tunnelen ved en hendelse hvor man må evakuere ut av tunnelen?». Dette kan kalles personbelastning, og er styrende for valg av de fleste andre sikkerhetstiltak i tunnelen. Så hvordan sikrer man i dag at tiltakene samsvarer med den risikoen det forventede antallet utgjør? Jo, dette ivaretas ved bruk av tunnelens ÅDT, årstdøgnettrafikk.

2.1.1 Hva er ÅDT?

Det er derfor naturlig å se nærmere på hva ÅDT egentlig er og hvordan denne kan forventes å påvirke tunnelenes sikkerhetsnivå.

Ifølge Statens Vegvesen er årstdøgnettrafikk (ÅDT) definert som følger: «Det totale antall kjøretøy, i begge retninger, som passerer et snitt på en veg i løpet av ett år, dividert med 365».

Med andre ord så vil ikke ÅDT alene kunne si noe om hvor mange som befinner seg i en aktuell tunnel ved en inntruffet hendelse.

For å ta høyde for økning i trafikk, risikofylt trafikk og variasjoner gjennom året må ÅDT analyseres nærmere i hvert prosjekt. Eksempler på dette er følgende:

- ÅDT-prognoser 10-30 år frem i tid benyttes som dimensjonerende
- Dersom ÅDT tyngre kjøretøy er >15 % må ÅDT risikojusteres/økes
- Dersom sommerdøgntrafikken, SDT (juni, juli og august), er betydelig høyere enn årlig gjennomsnitt må ÅDT risikojusteres/økes
- Maks timestrafikk vil kunne si noe om belastning på utsatte tider på døgnet

ÅDT er ikke en statisk verdi og det er mange usikkerheter knyttet til ÅDT gjennom prognoser. Dette kan påvirkes av politiske beslutninger om biltrafikk, etablering av nye veier i samme område, stengte veier, tilflytting, fraflytting, etablering av nye næringsområder, etc. I tillegg er ÅDT som sagt et årsgjennomsnitt og må i mange tilfeller justeres for de nevnte risikoer ovenfor. Det er viktig å forstå at ÅDT tallene er historiske data, og ved å benytte dette til dimensjonering av tunnelsikkerhet så endrer disse status fra statistiske data og til sannsynlige data for fremtiden. Siden ÅDT har en såpass sentral rolle ved dimensjonering må det gjøres en vurdering av risiko for at de valgte dimensjoneringskriteriene er riktige siden tallene kun representerer en forventningsverdi.

I tillegg gir dette en enda større usikkerhet til spørsmålet som ble stilt i kapittel 2.1: «hvor mange personer oppholder seg inne i tunnelen ved en hendelse som må evakuere ut av tunnelen?», som burde være sentralt ved valg av sikkerhetstiltak.

2.1.2 Hva betyr ÅDT for valg av sikkerhetstiltak?

Som beskrevet i kapittelet over så representerer bruk av ÅDT som premissgiver for sikkerhet en stor usikkerhet. Både EU-direktivet (inkl. Tunnelsikkerhetsforskriften) og Statens Vegvesen sin håndbok N500 [5] baserer krav til sikkerhet med et utgangspunkt i ÅDT.

I forskriften stilles for eksempel krav til rømningsveier, ventilasjon, stenging av tunnel og overvåkning/deteksjon basert på tunnelens lengde og ÅDT. Det samme prinsippet benyttes i Håndbok N500 hvor tunneler først kategoriseres i tunnelklasse A-F basert på ÅDT fra < 300 til > 50.000 og lengde fra 500 meter opp til 10.000 meter. Basert på dette stilles krav til havari- og snunisjer, utstyr for stenging av tunnel, deteksjon og overvåkning, PA-system og brannsikring av konstruksjoner.

Krav om når rømningsveier skal etableres er ikke definert i dagens N500 og det vises i denne sammenheng kun til forskriftens krav.

Oppgaven har ikke lyktes med å finne bakgrunn for definisjon av krav til rømningsveier basert på grenseverdier med ÅDT.

Basert på ovenstående kan det påstås at det er litt tilfeldig hvilke tiltak som er etablert for å sikre evakuering ved gitt hendelse ut fra hvor mange personer som befinner seg i tunnelen ved en hendelse. Denne påstanden begrunnes med at det er store usikkerheter knyttet til ÅDT generelt, og ikke minst om det vil representere hvor mange som befinner seg i tunnelen ved aktuell hendelse. Med de usikkerhetene som ligger i forventet trafikkmengde/ÅDT og hvordan dette kan påvirke utfallet av

en hendelse, vil det være hensiktsmessig at risikoanalysen iht. Tunnelsikkerhetsforskriftens §10 benyttes som et aktivt verktøy for å definere hvordan dette påvirker risikoen. På denne måten kan risikoen også hensyntas bedre gjennom forsterkede tiltak der dette er nødvendig.

Man kan likevel si at dette er hensyntatt både i EU-direktivet og i Tunnelsikkerhetsforskriftens generelle og spesifikke krav. For eksempel angir forskriftens vedlegg I, punkt 1.1.1 og 1.1.2 følgende:

1.1.1: Sikkerhetstiltak som skal gjennomføres i en tunnel, skal være basert på en systematisk vurdering av alle sider ved systemet som utgjøres av infrastrukturen, bruken, trafikantene og kjøretøyene.

1.1.2: Følgende parametere skal tas i betraktning:

- tunnellengde,
- antall løp,
- antall kjørefelt,
- tverrsnittsgeometri,
- vertikal og horisontal profil,
- konstruksjonstype,
- enveis- eller toveistrafikk,
- trafikkvolum per løp (herunder fordeling i tid),
- risiko for trafikkork (per døgn eller sesongbestemt),
- atkomsttid for redningstjenestene,
- nærvær og prosentandel av tunge lastebiler,
- særtrekk ved atkomstveiene,
- kjørefeltbredde,
- hastighetsaspekter,
- geografisk og meteorologisk miljø.

I tillegg stiller forskriften krav om at ulike forhold ved tunnelen skal vurderes gjennom risikoanalyse som kan medføre forsterkede tiltak.

Flere av de overnevnte parameterne påvirkes i større eller mindre grad av strekningens eller tunnelens ÅDT. Ved å analysere ÅDT på en mer differensiert måte ved hver enkelt tunnel kan man få frem de faktiske risikoene knyttet til ÅDT utover å bare bygge alt på hvor ofte hendelser forventes å inntreffe. For eksempel vil

ferjetrafikk på hver side av en tunnel kunne medføre store svingninger i trafikkmengde deler av døgnet som ikke nødvendigvis kommer frem på statistikken til maks timestrafikk. Med en ferje i timen kan det meste av trafikken komme i løpet av 15 minutter og ikke fordelt på en hel time. Antall kjøretøy i tunnelen ved en hendelse kan da være langt flere enn det ÅDT tilsier som et gjennomsnitt. Dette er eksempel på en årsak til at årstdøgntrafikken ikke trenger å gi et riktig bilde på risikoen i tunnelen. Eksemplet som er trukket frem kan også være typisk for en undersjøisk tunnel hvor brannrisikoen er større enn for andre tunneler.

Hvorvidt dette hensyntas ved planlegging av bygging av ny tunnel eller ved oppgradering av eksisterende tunnel må ses opp mot praksis og hvilken betydning N500 har hatt for ivaretagelse av nettopp krav til rømningsveier i norske tunneler. Påfølgende tekst er hentet fra innledningen i N500:2020 [9]:

«Håndbok N500 Vegtunneler ivaretar minimum sikkerhetskrav i Tunnelsikkerhetsforskriftene for henholdsvis riksveg og for fylkesveger og kommunale veger i Oslo. På noen områder stilles det høyere krav til sikkerhet i håndbok N500 enn i Tunnelsikkerhetsforskriftene.»

Ved denne teksten har norske myndigheter ved Vegdirektoratet langt på vei lagt til grunn at man ikke trenger å vurdere parametere i forskriftens vedlegg I, punkt 1.1.1 og 1.1.2. Dagens N500 henviser imidlertid kun til forskriften for krav om etablering av rømningsveier, hvilket tydeliggjør at kravene i forskriften ikke er ivare tatt ved å kun følge N500. Det er imidlertid en innarbeidet praksis å følge prinsippet om å ikke etablere rømningsveier før ÅDT overskrider 8.000 selv om dette ifølge forskriften skal vurderes særskilt i hvert enkelt tilfelle. Det anbefales at norske vegmyndigheter går dypere i disse problemstillingene for å analysere hvilke tiltak som må legges til grunn dersom man skal fortsette å tillate ettløps tunneler uten rømningsveier med ÅDT mellom 4.000 – 8.000. Det anbefales også å analysere hvorvidt det er grunnlag for å tillate tunneler med denne trafikkmengden uten rømningsveier.

2.1.3 Selvredning med og uten rømningsvei

Evakuering av tunneler baserer seg på prinsippet om selvredning. Dette betyr at den enkelte trafikant må sørge for å komme seg i sikkerhet selv enten ved bruk av eget kjøretøy, til fots eller ved å få hjelp av andre medtrafikanter. Felles for de fleste tunneler i Norge er at det benyttes langsgående ventilasjon. Dette betyr at det prinsipielt vil være en røykfri og en røykfull side av brannen. Forholdene for selvredning vil dermed være svært forskjellige, avhengig av hvilken side man befinner seg på.

Det vil være en prinsipiell forskjell å evakuere en tunnel som har rømningsveier og en som ikke har rømningsveier. For de som er i en situasjon hvor man ikke er truet av brann eller røyk og kan kjøre fritt ut av tunnelen, har rømningsveien liten eller ingen betydning. Rømningsveien vil først være nødvendig for de som må evakuere til fots, i verste fall i røykfulle omgivelser, eller de som evakuerer med eget kjøretøy i en røykfylt tunnel.

Forskjellene mellom tunnel med og uten rømningsvei vil da være avstand til sikkert sted. Iht. Tunnelsikkerhetsforskriften skal avstand mellom 2 rømningsveier ikke overstige 500 meter, hvilket betyr maks 250 meter fluktvei. For toløps tunneler skal det iht. N500 etableres rømningsveier i form av tverrforbindelser til motsatt tunnellopp for hver 250. meter, hvilket betyr maks 125 meter fluktvei. For en lang ettløps tunnel opp mot 10 km uten rømningsvei kan avstanden bli svært lang, avhengig av hvor man befinner seg i tunnelen.

Erfaringer fra tunnelbranner i Norge, blant annet i Gudvangatunnelen [11, 12, 14] og Oslofjordtunnelen [10, 13] viser at selvredning kan være komplisert og at det er fare for at personer kan bli fanget i røyk. Prinsippet om selvredning legger mange forutsetninger om trafikantenes oppførsel ved en hendelse i en tunnel. Dette er en situasjon hvor de færreste har kompetanse om og erfaring fra tidligere. Derfor blir selvredning i ettløps tunneler uten rømningsveier fort komplisert om ikke trafikantene får nødvendig informasjon underveis i hendelsen.

Denne prosjektoppgaven handler om hvordan selvredning skal ivaretas gjennom krav i Tunnelsikkerhetsforskriften og hvordan bruken av ÅDT som styrende parameter påvirker dette. Oppgaven skal ikke analysere hvorvidt tunneler med eller uten rømningsveier gir det beste sikkerhetsnivået. Basert på tidligere erfaringer fra branner og den åpenbare fordelene med kortere fluktveier ved bruk av rømningsveier, legges det til grunn at dette gir det høyeste sikkerhetsnivået ved videre vurderinger i denne oppgaven. Oppgaven ønsker da å belyse hvordan man ved å benytte dagens metoder og retningslinjer ofte ikke bygger ettløps tunneler med rømningsveier.

2.1.4 Hvordan dimensjoneres krav til evakuering andre steder i samfunnet?

Senere i rapporten vil det ses nærmere på hvor store forskjeller i sikkerhetsnivå man kan få ved tenkte hendelser med bruk av ÅDT som dimensjonerende kriterium. I dette delkapitlet gjøres det en betraktning av dimensjonerende parametere ved evakuering ved brannhendelser i tunnel i et samfunnssikkerhetsperspektiv. Det er da naturlig å se på andre arenaer hvor det gjennom lover, forskrifter og veiledninger legges til rette for evakuering ved brannhendelser. Det er valgt å se dette opp mot hvordan dimensjonering av evakuering gjøres for bygninger og innenfor flytrafikk med persontransport.

Bygninger

Ved planlegging av nye bygninger defineres krav til rømning iht. Byggeteknisk forskrift, TEK 17 [2], med tilhørende veiledning, VTEK 17 [15]. Krav til rømning defineres blant annet ut fra bygningens størrelse, etasjeantall og bruk. For dimensjonering av evakuering legges normalt til grunn 1 cm fri rømningsbredde per person. Dimensjonerende scenario tar utgangspunkt i den hendelsen hvor det er flest personer inne samtidig i løpet av byggets eller lokalets levetid. Dette gjelder for alle typer bygninger/lokaler som flyplasser, kjøpesentre, konsertlokaler, idrettshaller,

sykehus, restauranter, etc. Dette betyr at det maksimale antallet personer som skal håndteres ved et branntilfelle er kjent på forhånd.

Basert på dette utarbeides evakueringsplaner og instruksjoner for å sikre at personer som oppholder seg i bygget kjenner til hva man skal gjøre ved evakuering. Det vil i alle publikums- og arbeidsbygninger være dedikerte personer som skal sikre at evakuering kan foregå på en trygg og effektiv måte. Det finnes planer for evakuering som finnes oppslått ved rømningsveier, inne på hotellrom, etc.

Passasjerfly

For evakuering av fly finnes konkrete krav til antall og størrelse på nødutganger basert på hvor mange flyet er beregnet for. Krav til utforming er nøye regulert av nasjonale og internasjonale standarder. Også her er worst-case scenario med antall dimensjonerende personer kjent på forhånd og krav for ivaretagelse av sikker evakuering dimensjoneres på bakgrunn av dette.

I tillegg finnes kjente personer (ansatte) på alle fly som har i oppgave å både drive opplæring av alle passasjerene før reisen starter i tillegg til et ansvar for å lede en situasjon som krever evakuering. Det finnes i tillegg informasjon om sikkerhet og evakuering ved hvert sete.

Oppsummering

I begge de to tilfellene det sammenliknes med så tas det utgangspunkt i det scenario der maksimalt tillatt antall personer er til stede. Til sammenlikning gis det også mer informasjon om sikkerhet og evakuering til alle brukere enn det som gjøres for brukere av tunneler. Hensikten med å sammenlikne evakuering av f.eks. bygninger med tunneler er ikke å få frem at det er enklere å evakuere fra en bygning enn fra en tunnel. Det er imidlertid for å synliggjøre at mangelen på akseptkriterier og dimensjoneringsforutsetninger for tunneler gjør at man ikke vet hvor mange personer som forventes å måtte evakuere i en gitt hendelse.

Selvredning innebærer som sagt tidligere at den enkelte gjennom aktive handlinger må redde seg selv i sikkerhet. De to eksemplene som er beskrevet fra bygninger og passasjerfly viser at det er langt tydeligere hvordan dette skal foregå enn om man havner i en situasjon i en tunnel. Det er få steder i samfunnet hvor personer kan antas å være så lite forberedt til å takle en kritisk hendelse som i en tunnel.

I kapittel 3 og 4 gjøres analyser av ulike scenario i tunneler og hvordan ÅDT er med å påvirke tiltakene og potensielle utfall av hendelser.

2.1.5 ÅDT til bruk ved sikkerhetsstyring

Ved sikkerhetsstyring av tunneler er målsetningen at tunnelen representerer en akseptabel risiko. Risiko defineres som produktet av sannsynligheten for at en hendelse oppstår x konsekvensen av en aktuell hendelse.

$$\text{Risiko} = \text{Sannsynlighet} \times \text{Konsekvens}$$

Ved at man gjennom forskrift og veiledninger definerer krav til sikkerhet i så stor grad basert på ÅDT så er påstanden at det helhetlige fokuset på risiko forsvinner. ÅDT vil i hovedsak representere sannsynligheten for at en hendelse inntreffer fremfor konsekvensen av en aktuell hendelse. Jo flere kjøretøy som passerer en tunnel i løpet av en gitt periode, desto større vil sannsynligheten være for at en aktuell hendelse inntreffer. Så hva da med konsekvensen når hendelsen først har inntruffet. Ja, antall kjøretøy som passerer en tunnel i løpet av en gitt periode, vil også kunne si noe om et mulig antall kjøretøy som involveres i en ulykke, og dermed også konsekvensen. Men er det alene nok til å ha kontroll på konsekvensen, altså den totale risikoen i sikkerhetsstyringen av tunnelene? Det er viktig å skille på risiko innenfor trafiksikkerhet som representerer mange hendelser i løpet av et år og de sjeldne og kritiske hendelsene som f.eks. brann i en tunnel. Det er vanskelig å se at sikkerhetsstyring med bruk av ÅDT er særlig egnet for dette. Det vil ses nærmere på mulige konsekvenser og utfall ved hendelser i analysene i kapittel 3 og 4.

3 Metode

For å vurdere hvordan krav til selvredning og evakuering av tunneler ivaretas, hvor ÅDT har en sentral rolle, er det valgt å gjøre undersøkelser av kjent litteratur knyttet til områdene tunnelsikkerhet og ÅDT. Videre er det gjennomført en grov vurdering av sikkerhetsnivået i to utvalgte eksisterende tunneler basert på ÅDT. Basert på dette er det utført analyser av scenario ved brann hvor det er behov for evakuering både i de to eksisterende tunnelene i tillegg til tre fiktive tunneler som kan oppføres iht. dagens krav.

3.1 DOKUMENTANALYSE

Mest relevant i denne sammenheng er følgende litteratur:

- Tunnelsikkerhetsdirektivet [3]
- Tunnelsikkerhetsforskriften [1]
- Håndbok N500-2024 Vegtunneler inkludert historiske versjoner [5]
- Veileder for risikoanalyser av vegtunneler, TS 2007:11 [7]
- Håndbok V721 Risikovurdering i vegtrafikken [4]
- Sintef Risikoanalyse, ÅDT 4000/8000 [6]

Dokumentanalysen viser generelt at det er lite grunnlag for hvorfor ÅDT har en såpass sentral rolle i sikkerhetsstyringen av tunneler og hvordan grenseverdiene er satt. Litteraturen gir imidlertid god innsikt i kravene som stilles for norske tunneler som grunnlag for videre analyser av problemstillingene.

Svakheten ved dokumentanalysen er at det ikke har vært mulig å oppdrive underlagsdokumenter og beslutningsgrunnlag for EU-direktivet som sier noe om metode for sikkerhetsstyring.

3.2 ANALYSE AV SIKKERHET I EKSISTERENDE TUNNELER

Tunnelsikkerhetsforskriften stiller for eksisterende tunneler krav om etablering av nødutganger dersom det er gjennomførbart og virkningsfullt når ÅDT overstiger 4.000 hvor Vegdirektoratet kan gjøre unntak såfremt ÅDT er < 8.000. Det er som sagt tidligere knyttet store usikkerheter til ÅDT. For det første fordi den representerer gjennomsnittsverdier med store variasjoner gjennom året og døgnet. Men også fordi ÅDT som verktøy i sikkerhetsstyringen kun er en prognose hvor man først finner riktige tall ved å telle og se tilbake i tid. Derfor er det valgt å se på 2 utvalgte tunneler uten langsgående rømningsveier hvor det finnes trafikkdata lenger tilbake i tid. De aktuelle tunnelene er Byfjordtunnelen i Stavanger kommune og Oslofjordtunnelen som krysser Oslofjorden mellom Frogn kommune og Asker kommune. Begge tunnelene er undersjøiske med høy vertikalkurvatur.

I denne oppgaven har det ikke vært anledning til å gjøre en fullstendig analyse av sikkerhetsnivået i tunnelene og beslutningsgrunnlagene som foreligger for

sikkerhetsnivået. Fokuset har vært å se på ÅDT og utviklingen av denne opp mot krav eller behov for rømningsveier. Det er gjennomført en enkel kvalitativ analyse basert på det tallmaterialet som foreligger og informasjon som er innhentet om de to tunnelene.

3.3 VARIASJONER I SIKKERHETSNIVÅ I TUNNELER VED BRUK AV DAGENS REGELVERK

Formålet med Tunnelsikkerhetsforskriften er beskrevet i forskriftens § 1 og er beskrevet som 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. Så hvilke variasjoner vurderes som akseptable ved bruk av dagens kriterier for sikkerhetsstyring i tunneler. I analysen av sikkerhet i eksisterende tunneler som beskrevet i kapittel 3.2 og 4.1 vurderes hvordan ÅDT er i utvikling og hvordan sikkerhetsstyring basert på dette påvirkes med hensyn på langsiktighet. I kapittel 4.2 vil det ses nærmere på variasjoner i sikkerhetsnivå for tunneler ved å gå dypere inn i variasjoner i ÅDT gjennom året og døgnet og hvordan dette kan påvirke sikkerheten i ulike tunneler.

Så hvilke parametere kan ha avgjørende betydning for utfallet av en ulykke/hendelse med brann i tunnel? Dette kan f.eks. være følgende:

- Tunnelens lengde
- Rømningsveier eller redningsrom
- Tunnelens stigning/ vertikalkurvatur
- Ventilasjonsløsninger
- Varslingssystemer og overvåkning
- Muligheter for stenging av tunnel
- Hvor mange som personer befinner seg i tunnelen ved inntruffet hendelse
- Muligheter for å snu i tunnel
- Manuell brannslukking
- Innsatstid for nødetater

For å avgrense analysene så legges det ikke vekt på tunnelens stigning og tunnelprofil slik at sannsynligheten for brann per kjøretøy per km kan antas å være lik. Det legges til grunn at det finnes langsgående ventilasjon i alle tilfellene. Krav til rømningsvei er basert på tilfeller med ÅDT over 8.000. Krav om AID/ITV er basert på krav i N500. Det ses nærmere på følgende parametere:

- Tunnelens lengde
- Trafikkmengde (ÅDT) med nærmere vurderinger av personbelastning
- Om det finnes rømningsveier
- Varslingssystemer og overvåkning
- Muligheter for stenging av tunnel

Det er i påfølgende delkapittel analysert 5 tunneler (inkludert de eksisterende tunnelene Byfjordtunnelen og Oslofjordtunnelen) for å se variasjoner i tiltak og

forventede scenario som følge av dette. Det interessante i denne analysen vil være å se hvor mange kjøretøy som forventes å befinne seg inne i tunnelene ved en hendelse og hvor lange de ulike tunnelene kan være, som igjen vil ha betydning for hvor lange fluktveier trafikantene vil måtte kjøre eller gå.

4 Analyse og empiri

4.1 ANALYSE AV SIKKERHET BASERT PÅ ÅDT I EKSISTERENDE TUNNELER

I dette kapittel er det gjort en analyse av sikkerhetstiltak som er etablert for de to tunnelene Byfjordtunnelen og Oslofjordtunnelen opp mot utviklingen i ÅDT over tid. Nærmere beskrivelse av metode er gjort i kapittel 3.2.

4.1.1 Tunnelbeskrivelser

Her følger en kort beskrivelse av de to tunnelene som skal analyseres.

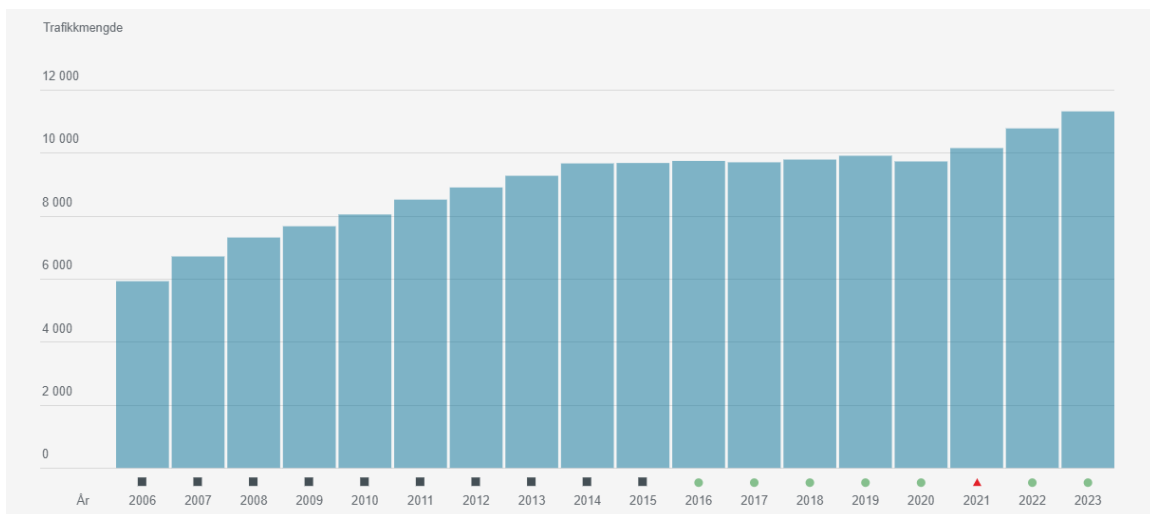
Byfjordtunnelen

Byfjordtunnelen er en del av Rennfast sambandet på E39 som ble åpnet i 1992. Tunnelen er 5.875 meter lang og har en maks stigning på 8 %. Tunnelprofil er T11,5. Tunnelen har 3 kjørefelt med møtende trafikk og har en fartsgrense på 80 km/t. Av sikkerhetstiltak kan det nevnes følgende:

- Havarinisjer: 20 nisjer
- Nødstasjoner: 57 totalt (ca. hver 100. meter)
- Snunisjer: 4 nisjer
- Bommer for stenging av tunnel ved hendelse
- Videoovervåkning (ITV) og automatisk hendelsesdeteksjon (AID)
- Evakueringsbelysning

Tunnelen har langsgående ventilasjon som er normalt for tunneler på det norske vegnettet.

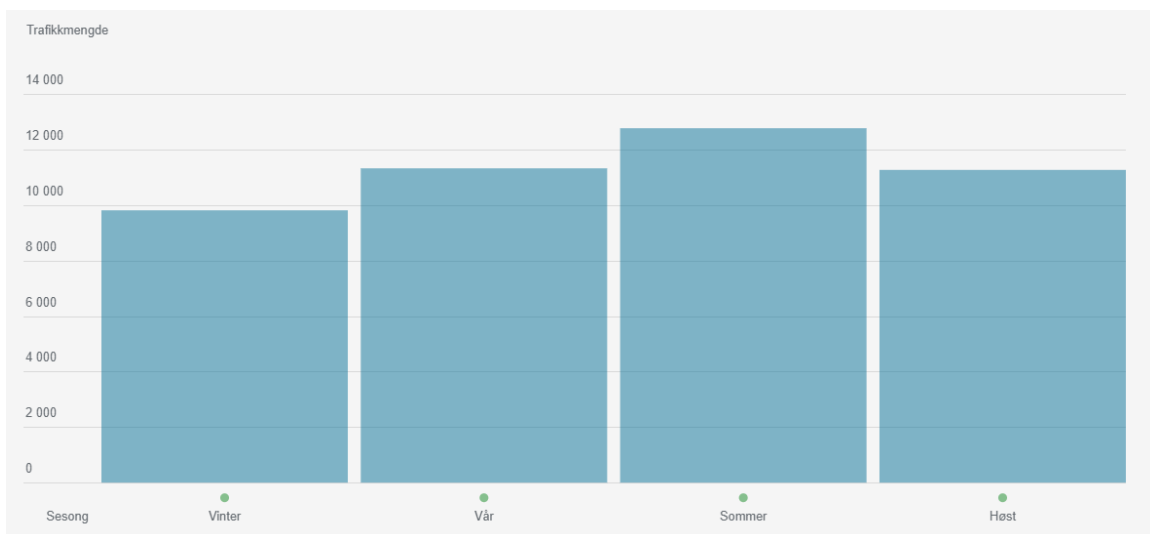
På www.trafikldata.no som er Statens Vegvesen sin nettside finnes det et tellepunkt for kjøretøy på Sokn nord for tunnelen. Dette tellepunktet har bare vært operativt siden 2006 så detaljerte data fra 1992-2006 finnes ikke lett tilgjengelig. Det er imidlertid opplyst i artikkel i Stavanger Aftenblad 18.06.2012 at ÅDT i 1992 var på ca. 4.000. Nedenfor følger utsnitt med tabell som viser utviklingen i ÅDT fra 2006-2023.



Figur 1 - ÅDT Byfjordtunnelen 2006-2023 (hentet fra www.trafikdata.no)

Som tall fra Trafikkdata viser så har det vært en jevn stigning i ÅDT mellom 2006 og 2023 og med 4.000 på åpningstidspunktet så har denne stigningen vært jevn helt siden 1992 opp til 11.313 i 2023.

Utover årsgjennsnittet finnes flere interessante data på www.trafikdata.no. Nedenfor følger utsnitt med tabell som viser sesonggjennsnittet (SDT) fra 2023.



Figur 2 - SDT Byfjordtunnelen 2023 (hentet fra www.trafikdata.no)

Som tabellen viser så er det en forholdsvis jevn fordeling av trafikk mellom årstidene i Byfjordtunnelen sammenliknet med steder med utpreget sesongtrafikk. Likevel ser man at SDT for sommer ligger på 12.766, som er 1.453 høyere enn ÅDT. SDT fra 2023 er det høyeste registrerte siden 2006.

Videre er høyeste døgnetrafikk registrert til 16.275 kjøretøy den 23.06.2023. For å kunne se nærmere på maks belastning ved worst-case hendelser er det også hentet

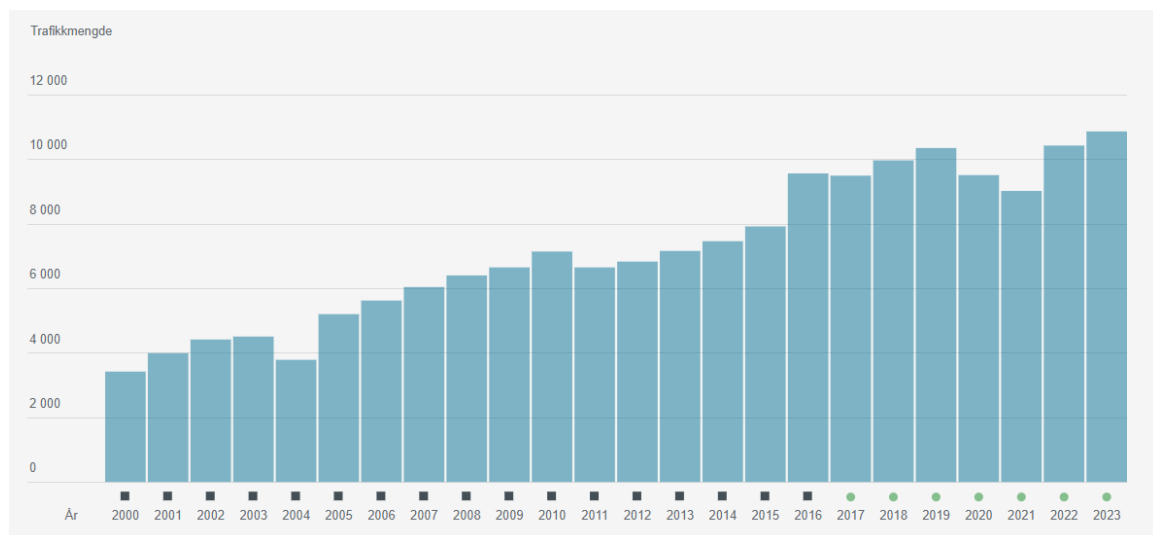
ut data for maks timetrafikk i 2023. Det er registrert 1.676 kjøretøy som høyeste trafikk gjennom tunnelen på en time i 2023.

Oslofjordtunnelen

Oslofjordtunnelen ble åpnet i 2000. Tunnelen er 7.306 meter lang og har en maks stigning på 7 %. Tunnelprofil er T11. Tunnelen har 3 kjørefelt med møtende trafikk og har en fartsgrense på 70 km/t. Av sikkerhetstiltak kan det nevnes følgende:

- Havarinisjer: 8 for lette kjøretøy og 8 for lange kjøretøy
- Nødstasjoner: ca. hver 250. meter + brannskap mellom nødstasjoner
- Evakueringsrom/redningsrom: Avstand mellom evakueringsrom er 150 – 475 meter. Kun ett sted med avstand 475 m og ett med 350 m, resten er 250 m eller kortere.
- Rømningsvei: Ca. 2 km fra portal Drammen side, leder direkte til det fri
- Snunisjer: 4 for lette kjøretøy og 2 for lange kjøretøy
- Bommer for stenging av tunnel ved hendelse
- Automatisk hendelsesdeteksjon (AID) i trafikkrom og evakueringsrom, Videoovervåkning (ITV) i rømningstunnel
- Evakueringsbelysning

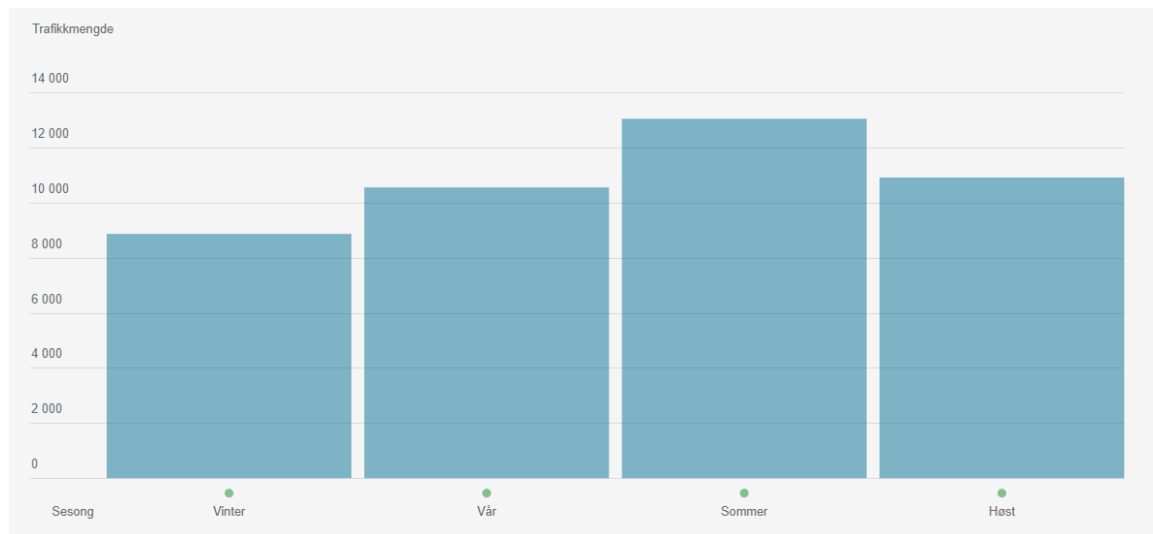
På www.trafikkdata.no som er Statens Vegvesen sin nettside finnes det et tellepunkt for kjøretøy inne i tunnelen, men dette mangler data fra 2014-2016 og ble stengt i 2017. Det andre tellepunktet ligger rett utenfor tunnelen på den østre siden. Dette tellepunktet har vært operativt siden 2000. Nedenfor følger utsnitt med tabell som viser utviklingen i ÅDT fra 2000-2023.



Figur 3 - ÅDT Oslofjordtunnelen 2000-2023 (hentet fra www.trafikkdata.no)

Som tall fra Trafikkdata viser så har det vært en jevn stigning i ÅDT mellom 2000 og 2023 som har økt fra 3.419 til 10.860.

Utover årsdøgntrafikk finnes flere interessante data på www.trafikdata.no. Nedenfor følger utsnitt med tabell som viser sesongdøgntrafikk (SDT) fra 2023.



Figur 4 - SDT Oslofjordtunnelen 2023 (hentet fra www.trafikdata.no)

Som tabellen viser så er det en forholdsvis jevn fordeling av trafikk mellom årstidene i Oslofjordtunnelen sammenliknet med steder med utpreget sesongtrafikk. Likevel ser man at SDT for sommer ligger på 13.039, som er 2.179 høyere enn ÅDT. SDT fra 2023 er det høyeste registrerte siden 2000.

Videre er høyeste døgntrafikk registrert til 15.748 kjøretøy den 26.05.2023. For å kunne se nærmere på maks belastning ved worst-case hendelser er det også hentet ut data for maks timetrafikk i 2023. Det er registrert 1.529 kjøretøy som høyeste trafikk gjennom tunnelen på en time i 2023.

4.1.2 Byfjordtunnelen – analyse av ÅDT og sikkerhetsnivå

Det legges til grunn at kravene i Tunnelsikkerhetsforskriften er gjeldende for tunnelen. Det vises i denne sammenheng til forskriftens §2 og §14 som stiller krav om at tunneler som ikke oppfyller kravene skal utbedres og godkjennes av Vegdirektoratet.

Tunnelsikkerhetsforskriften stiller videre krav om at det «*I eksisterende tunneler på mer enn 1.000 meters lengde med et større trafikkvolum enn 2.000 kjøretøy per kjørefelt, skal det vurderes om det er gjennomførbart og virkningsfullt å lage nye nødutganger*». I Norge forstås gjennom §8 og utøvd praksis at denne grensen ligger på 4.000 kjøretøy per kjørefelt, altså ÅDT på 8.000.

Forskriftens tydelige intensjon er at det skal etableres rømningsveier når ÅDT overstiger 8.000. Samtidig så må det vurderes om det er gjennomførbart og virkningsfullt. Hvorvidt det er gjennomførbart vil ikke utfordres i denne oppgaven,

men det vil åpenbart være virkningsfullt i et branntilfelle med fare for at personer kan bli sperret av brann og røyk i tunnelen.

Tunnelsikkerhetsforskriften trådte i kraft i 2007 og som vist i Figur 1 oversteg ÅDT 8.000 grensen allerede i 2010. Iht. forskriftens §14 skulle renovering av tunneler være fullført innen 30.04.2014, men med en mulighet for å forlenge fristen med 5 år. Da tunnelen i skrivende stund våren 2024 ikke har etablert rømningsveier, må det forstås at det ikke er vurdert som *gjennomførbart og virkningsfullt*. Dette til tross for at trafikkmengden er 2,83 ganger høyere enn ÅDT grensen i EU-direktivet og 1,4 ganger høyere enn ÅDT grensen i Forskriftens § 8.

Det er forventet at trafikken gjennom Rennfast sambandet og i den anledning Byfjordtunnelen vil reduseres betraktelig når Rogfast prosjektet åpnes i 2033 og E39 ikke lenger skal gå gjennom Rennfast. Hvor mye trafikken gjennom Byfjordtunnelen vil reduseres er ikke kjent, men det antas å være en stor reduksjon. ÅDT for Byfjordtunnelen frem mot 2033 er ikke kjent, men en økning tilsvarende som forrige 10-års periode (2013-2023) fra 9.270 til 11.313 (ca. 22 %) vil gi en forventet ÅDT på 13.802.

Rogfast er planlagt åpnet i 2033 og skal ifølge E39 Rogfast ROS analyse tunnel fra 2012 [17] ha en forventet ÅDT på 13.000 20 år etter åpning.

For Byfjordtunnelen har økningen i trafikk vært jevn helt siden åpningstidspunktet og allerede i 2010 oversteg trafikken 8.000 opp mot en antatt ÅDT på nesten 14.000 før den kan antas å reduseres i 2033, 23 år senere.

4.1.3 Oslofjordtunnelen – analyse av ÅDT og sikkerhetsnivå

Det legges til grunn at kravene i Tunnelsikkerhetsforskriften er gjeldende for tunnelen. Det vises i denne sammenheng til forskriftens §2 og §14 som stiller krav om at tunneler som ikke oppfyller kravene skal utbedres og godkjennes av Vegdirektoratet.

Tunnelsikkerhetsforskriften stiller videre krav om at det «*I eksisterende tunneler på mer enn 1.000 meters lengde med et større trafikkvolum enn 2.000 kjøretøy per kjørefelt, skal det vurderes om det er gjennomførbart og virkningsfullt å lage nye nødutganger*». I Norge forstås gjennom §8 og utøvd praksis at denne grensen ligger på 4.000 kjøretøy per kjørefelt, altså ÅDT på 8.000.

Forskriftens tydelige intensjon er at det skal etableres rømningsveier når ÅDT overstiger 8.000. Samtidig så må det vurderes om det er gjennomførbart og virkningsfullt. Hvorvidt det er gjennomførbart vil ikke utfordres i denne oppgaven, men det vil åpenbart være virkningsfullt i et branntilfelle med fare for at personer kan bli sperret av brann og røyk i tunnelen.

Tunnelsikkerhetsforskriften trådte i kraft i 2007 og som vist i Figur 3 oversteg ÅDT 8.000 grensen i 2016. Det har fra tunnelen ble åpnet vært tilgang til en rømningstunnel som ligger ca. 2 km fra portal Drammen side, men denne har kun en

utgang fra tunnelen og medfører uansett lange avstander sammenliknet med langsgående rømningstunneler iht. kravene i Tunnelsikkerhetsforskriften med krav om maks 500 meter mellom nødutganger. Rømningstunnelen gir et godt bidrag til rømningssikkerheten og gir brannvesenet en god alternativ tilkomst, men samsvarer ikke med kravene i forskriften om etablering av nødutganger på grunn av lange avstander. Som konsekvens av brannen i tunnelen i 2011 ble det i tillegg bygget evakueringsrom i 2012 med evakueringsmuligheter til midlertidig sikre steder. Evakueringsrom er prinsipielt i konflikt med ordlyden i EU-direktivet og Tunnelsikkerhetsforskriften, slik at særskilt godkjenning for løsning forutsettes ivaretatt. Denne oppgaven skal ikke vurdere tryggheten til evakueringsrom, men det kan konkluderes med at tiltakene ble etablert for å øke sikkerheten.

ÅDT i 2023 var på 10.860, hvilket er 2,72 ganger høyere enn ÅDT grensen i EU-direktivet og 1,36 ganger høyere enn ÅDT grensen i Tunnelsikkerhetsforskriftens § 8. Det er planer om å etablere et tunnellop til gjennom prosjektet E134 Oslofjordforbindelsen – byggetrinn 2. Ferdigstillelse er ikke kjent, men kan antas å være omtrent i 2032. ÅDT for Oslofjordtunnelen frem mot 2032 er ikke kjent, men en økning tilsvarende som forrige 9-års periode (2014-2023) fra 7.459 til 10.860 (ca. 46 %) vil gi en forventet ÅDT på 15.856.

4.1.4 Byfjordtunnelen og Oslofjordtunnelen – ÅDT som grunnlag for sikkerhetsstyring

De to tunnelene har en ikke ulik utvikling i trafikkmengde og har med unntak av lengde, noenlunde samme utførelse med hensyn på stigning og antall kjørefelt. I tillegg skal tunnelene tilfredsstille de samme kravene til rømningsveier i Tunnelsikkerhetsforskriften. ÅDT for begge tunnelene viser at, med mindre det kan dokumenteres å ikke være gjennomførbart og virkningsfullt, så skulle rømningsveier med adkomst gjennom hele tunnellopet vært etablert for begge tunnelene. For Byfjordtunnelen overskred ÅDT 8.000 i 2010 og for Oslofjordtunnelen overskred ÅDT 8.000 i 2016. Med en forventet åpning i 2033 for Rogfast med påfølgende forventet reduksjon i ÅDT så vil Byfjordtunnelen ha vært i drift i 23 år med ÅDT > 8.000 uten at det er etablert rømningsveier. For Oslofjordtunnelen forventes etablering av rømningsveier ved etablering av et ekstra tunnellop antatt ferdigstilt i 2032. Oslofjordtunnelen har da vært i drift i 16 år med ÅDT > 8.000 uten at det er etablert rømningsveier i samsvar med krav om maks avstand 500 meter mellom nødutgangene.

Begge tunnelen har gjennomgått omfattende oppgraderinger siden åpningstidspunktet. Under forutsetning om at evakueringsrommene sikrer personer tilstrekkelig mot brann og røyk i et branntilfelle så er det en vesentlig forskjell i sikkerhet ved selvredning i de to tunnelene. I tillegg gir rømningstunnelen i Oslofjordtunnelen et positivt bidrag til evakueringsmulighetene i tillegg til brannvesenets innsatsmuligheter. Det er likevel relevant å stille spørsmål til hvorfor det aksepteres å utsette etablering av rømningsveier så lenge, spesielt for Byfjordtunnelen, samt hvorfor det er så store forskjeller i tiltakene som er etablert i

de to tunnelene. I tillegg må det nevnes at det i Byfjordtunnelen kan antas større opphopninger med pulserende trafikk som følge av ferjesambandet mellom Arsvågen og Mortavika. Hvorvidt denne effekten kommer med på maks timestrafikk er usikkert og er ikke studert nærmere i denne oppgaven.

Iht. TØI rapport 1948/2023 [8] så utgjør 112 av 226 av branner og branntilløp i tunneler med høy stigningsgrad hvorav 23 av brannene er i Byfjordtunnelen og 40 av brannene er i Oslofjordtunnelen. Det skal med andre ord legges svært gode argumenter til grunn for hvorfor etablering av rømningsveier ikke vil være virkningsfullt.

4.2 VARIASJONER I SIKKERHETSNIVÅ I TUNNELER VED BRUK AV DAGENS REGELVERK

I dette kapittel er det gjort en analyse av hvilke variasjoner i sikkerhetsnivå som kan forventes ved bruk av dagens regelverk i tillegg til vurdering av tiltakene i Byfjordtunnelen og Oslofjordtunnelen. Videre er det sett på hvordan tiltakene kan påvirke utfallet av hendelsene. Nærmere beskrivelse av metode er gjort i kapittel 3.3.

4.2.1 Tunnelanalyse - innledning

Lengder og ÅDT er for Byfjordtunnelen og Oslofjordtunnelen hentet fra faktiske data fra 2023 mens for de øvrige tunnelene er det satt opp fiktive verdier. Største timetrafikk vil være bestemmende for hvor mange kjøretøy som forventes å befinne seg i tunnelen ved et worst-case scenario og er satt til 14,8 % hvilket er i samsvar med andel på Byfjordtunnelen i 2023. Hastighet er for alle tunnelene satt til 80 km/t med unntak av Oslofjordtunnelen som har 70 km/t.

Det vil for hver tunnel defineres sikkerhetsutstyr enten basert på faktiske forhold for de eksisterende tunnelene og iht. N500 for de fiktive tunnelene. Basert på dette er det ønskelig å analysere følgende forhold:

- Ulikheter i muligheter for selvredning (med eller uten rømningsvei)
- Forventet antall kjøretøy ved hendelse
- Forventet antall kjøretøy som havner nedstrøms og oppstrøms brannen og må forventes å evakuere med kjøretøy eller til fots i røyk
- Forventet gangtid ved evakuering til fots (basert på stans midt i tunnelen eller worst-case mellom rømningsalternativer)

Det gjøres kun en grov analyse for å se hvordan forskjeller i ÅDT påvirker sikkerhetsnivået og hvordan dette igjen påvirker trafikantenes forutsetninger for selvredning.

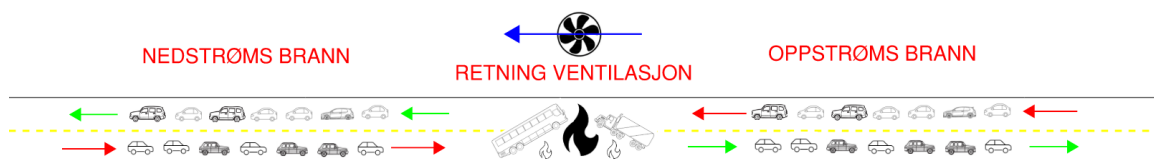
Forventet antall kjøretøy inne i tunnelen ved en hendelse beregnes statistisk ut fra maks timestrafikk og hastighet/gjennomkjøringstid. I tillegg vil tid til stenging av

tunnelen være svært avgjørende for utfallet av dette. For å ha verdier å sammenlikne med så vil det for tunneler med ITV/AID og bommer for stenging benyttes 60 sekunder før tunnel stenges. For tunneler uten ITV/AID, men med bommer eller lys for stenging av tunnel vil tiden være svært varierende og avhenge av hvor lang tid det tar før trafikantene varsler Vegtrafikksentralen som iverksetter stenging. Dette vil igjen avhenge av hvor mange som oppholder seg i tunnelen, hvordan personer vurderer situasjonen, hvor raskt brannforløpet er, etc. For å ha et sammenlikningsgrunnlag settes tid til stenging til 5 minutter (300 sekunder).

Det er lagt til grunn at det kjører like mange i hver retning i tunnelen ved branntilfelle. Dette for å gi alle tunnelene likt sammenlikningsgrunnlag.

Det legges til grunn at ventilasjonen har fast retning som aktiveres ved brann. Det gjøres ikke beregninger av ventilasjonens påvirkning på evakuerende annet at ventilasjonen vil ha en oppstrøms (røykfri) og en nedstrøms (røykfull) side som igjen vil påvirke trafikantenes muligheter for selvredning.

Størrelsen på brannen defineres ikke i analysen, men det legges til grunn en brann/ulykke som sperrer begge kjørefelt. Det legges til grunn at de kjøretøy som har passert brannen, enten de befinner seg oppstrøms eller nedstrøms brannen kjører ut av tunnelen. Figuren nedenfor illustrerer en forventet normal-fordelt situasjon for å definere hvor mange som blir sperret av brannen/ulykken. Disse må følgelig snu kjøretøyet eller evakuere til fots med ulikt utfall om de befinner seg oppstrøms eller nedstrøms brannen. Sikkerhetstiltak som havarinisjer og snunisjer er ikke illustrert inn da de avviker mellom de ulike tunnelene.



Figur 5 - Prinsipp biler som blir sperret i tunnelen av brann/ulykke. Biler som kjører i retning grønn pil antas å ikke bli involvert i ulykken, mens biler som kjører i retning rød bil blir sperret av ulykke/brann og må snu kjøretøy eller evakuere til fots

Alle kjøretøy som kjører inn i tunnelen mellom tidspunkt ulykken har oppstått og tunnelen stenges forventes å bli sperret av brann/ulykke.

For de som må evakuere ut av tunnelen til fots så settes ganghastighet til 1,4 m/s [16]. Reelt vil det være store variasjoner i ganghastighet ut fra lengde på tunnel, stigning og personers helsetilstand. Hastighet er kun satt for å gi et likt sammenlikningsgrunnlag, og kan i mange tilfeller antas å være lavere enn 1,4 m/s.

4.2.2 Tunnelanalyse – Byfjordtunnelen

ÅDT	11313
Lengde (m)	5875
Tunnelklasse (dersom definert i dagens regelverk)	D
Rømningsveier	Nei
AID og ITV	Ja
Fjernstyrte bomber/ lys for stenging	Ja
Største timetrafikk (kjt/t)*	1676
Hastighet (m/s)	22,2
Gjennomkjøringstid (sek)	265
Kjøretøy/sek	0,47
Tid fra brannstart til stenging (sek)	60
Sum bil i tunnel ved brannstart	123
Sum biler inn mellom brannstart og stenging	28
Sum biler ved brann	151
Sum biler nedstrøms brann - sperret av ulykke	45
Sum biler nedstrøms brann - har passert ulykke	31
Sum biler oppstrøms brann - sperret av ulykke	45
Sum biler oppstrøms brann - har passert ulykke	31

Tabell 1 - Analyse Byfjordtunnelen

Som det fremkommer i tabellen så er Byfjordtunnelen utført uten rømningsvei. Dette er basert på dagens situasjon. Analysen viser at det ved brannstart vil være 123 kjøretøy i tunnelen og ved stenging etter 60 sekunder så vil ytterligere 28 ha kjørt inn i tunnelen. De sistnevnte vil alle forventes å bli sperret inne i tunnelen av brannen/ulykken.

Det vil si at det i dette tilfellet teoretisk vil befinne seg 45 kjøretøy på hver side av brannen som enten må snu kjøretøy og kjøre ut, sitte på med andre medtrafikanter eller gå ut av tunnelen til fots.

Forventet evakueringstid til fots basert på beskrivelse i kapittel 4.2.1 vil være:

$$5.875 \text{ meter} / 2 = 2.937,5 \text{ meter} / 1,4 \text{ m/s} \approx 35 \text{ minutter}$$

I Byfjordtunnelen vil man altså ha totalt 90 kjøretøy som enten må snu kjøretøret eller evakuere til fots. Det vil være muligheter for evakuering ved å sitte på med andre med deres kjøretøy. Dette vil være høyst aktuelt for tyngre kjøretøy og kjøretøy med tilhenger som kan være vanskelige å snu. Evakuering til fots fra midten av tunnelen kan teoretisk ta 35 minutter hvilket kan være kritisk for de som befinner seg nedstrøms brannen.

4.2.3 Tunnelanalyse – Oslofjordtunnelen

ÅDT	10860
Lengde (m)	7306
Tunnelklasse (dersom definert i dagens regelverk)	D
Rømningsveier	Redningsrom + 1 nødutg
AID og ITV	Ja
Fjernstyrte bomber/ lys for stenging	Ja
Største timetrafikk (kjt/t)*	1529
Hastighet (m/s)	19,4
Gjennomkjøringstid (sek)	377
Kjøretøy/sek	0,42
Tid fra brannstart til stenging (sek)	60
Sum bil i tunnel ved brannstart	160
Sum biler inn mellom brannstart og stenging	25
Sum biler ved brann	185
Sum biler nedstrøms brann - sperret av ulykke	53
Sum biler nedstrøms brann - har passert ulykke	40
Sum biler oppstrøms brann - sperret av ulykke	53
Sum biler oppstrøms brann - har passert ulykke	40

Tabell 2 - Analyse Oslofjordtunnelen

Som det fremkommer i tabellen så er Oslofjordtunnelen utført med en rømningsvei, og redningsrom som har avstander mellom 150- 475 meter. Dette er basert på dagens situasjon. Analysen viser at det ved brannstart vil være 160 kjøretøy i tunnelen og ved stenging etter 60 sekunder så vil ytterligere 25 ha kjørt inn i tunnelen. De sistnevnte vil alle forventes å bli sperret inne i tunnelen av brannen/ulykken.

Det vil si at det i dette tilfellet teoretisk vil befinne seg 53 kjøretøy på hver side av brannen som enten må snu kjøretøy og kjøre ut, sitte på med andre medtrafikanter eller gå ut av tunnelen til fots. For Oslofjordtunnelen beregnes gangtid til nærmeste redningsrom og til nødutgangen. Lengste avstand mellom 2 redningsrom på 475 meter benyttes. Da nødutgang ligger ca. 2 km fra portal Drammen side legges til grunn avstand mellom rømningsvei og portal Drøbak side ($7.306 \text{ m} - 2.000 \text{ m} = 5.306 \text{ m} / 2 = 2.653 \text{ m}$).

Forventet evakueringstid til fots til nærmeste redningsrom basert på beskrivelse i kapittel 4.2.1 vil være:

$$237,5 \text{ meter} / 1,4 \text{ m/s} = 2 \text{ minutter og } 50 \text{ sekunder} \approx 3 \text{ minutter}$$

Forventet evakueringstid til fots til nødutgangen basert på beskrivelse i kapittel 4.2.1 vil være:

$$2.653 \text{ meter} / 1,4 \text{ m/s} \approx 31,5 \text{ minutter}$$

Forventet evakueringstid til fots helt ut av tunnelen basert på beskrivelse i kapittel 4.2.1 vil være:

$$7.306 \text{ meter} / 2 = 3.653 \text{ meter} / 1,4 \text{ m/s} \approx 43,5 \text{ minutter}$$

I Oslofjordtunnelen vil man altså ha totalt 106 kjøretøy som enten må snu kjøreretningen eller evakuere til fots. Det vil være muligheter for evakuering ved å sitte på med andre med deres kjøretøy. Dette vil være høyst aktuelt for tyngre kjøretøy og kjøretøy med tilhenger som kan være vanskelige å snu. Evakuering til fots til nærmeste redningsrom kan teoretisk ta ca. 3 minutter. Dette er et tiltak som er iverksatt for å redde personer som ikke kan evakuere helt ut av tunnelen. Tiden til å komme seg inn i et redningsrom vil være vesentlig kortere enn dersom man skulle evakuert helt ut av tunnelen til fots eller til nøutgangen, hvilket kan være kritisk for de som befinner seg nedstrøms brannen.

4.2.4 Tunnelanalyse – Tunnel 1 - Tunnelklasse B med lengde 4.990 meter og ÅDT 3.990

Denne fiktive tunnelen vil ha en lengde på 4.990 meter og en ÅDT på 3.990. Det vil si at den ligger akkurat under grenseverdien for tunnelklasse C og dermed er det ikke krav om AID og ITV. Det ville vært fornuftig å installere dette tiltaket da tunnelen er marginalt kortere enn kravet, men det er benyttet for å vise hvordan dette kan slå ut på antall kjøretøy som kan bli sperret av en brann i tunnelen ved senere deteksjon og stenging av tunnelen.

ÅDT	3990
Lengde (m)	4990
Tunnelklasse	B
Rømningsveier	Nei
AID og ITV	Nei
Fjernstyrte bomber/ lys for stenging	Nei, kun lys
Største timetrafikk (kjt/t)*	591
Hastighet (m/s)	22,2
Gjennomkjøringstid (sek)	225
Kjøretøy/sek	0,16
Tid fra brannstart til stenging (sek)	300
Sum bil i tunnel ved brannstart	37
Sum biler inn mellom brannstart og stenging	49
Sum biler ved brann	86
Sum biler nedstrøms brann - sperret av ulykke	34
Sum biler nedstrøms brann - har passert ulykke	9
Sum biler oppstrøms brann - sperret av ulykke	34
Sum biler oppstrøms brann - har passert ulykke	9

Tabell 3 – Analyse Tunnelklasse B, lengde 4.990 m og ÅDT 3.990

Som det fremkommer i tabellen så er tunnelen utført uten rømningsvei. Analysen viser at det ved brannstart vil være 37 kjøretøy i tunnelen og ved stenging etter 300 sekunder så vil ytterligere 49 ha kjørt inn i tunnelen. De sistnevnte vil alle forventes å bli sperret inne i tunnelen av brannen/ulykken.

Det vil si at det i dette tilfellet teoretisk vil befinne seg 34 kjøretøy på hver side av brannen som enten må snu kjøretøy og kjøre ut, sitte på med andre medtrafikanter eller gå ut av tunnelen til fots.

Forventet evakueringstid til fots basert på beskrivelse i kapittel 4.2.1 vil være:

$$4.990 \text{ meter} / 2 = 2.495 \text{ meter} / 1,4 \text{ m/s} \approx 29,5 \text{ minutter}$$

I denne tunnelen vil man altså ha totalt 68 kjøretøy som enten må snu kjøreretningen eller evakuere til fots. Det vil være muligheter for evakuering ved å sitte på med andre med deres kjøretøy. Dette vil være høyst aktuelt for tyngre kjøretøy og kjøretøy med tilhenger som kan være vanskelige å snu. Evakuering til fots fra midten av tunnelen kan teoretisk ta ca. 29,5 minutter hvilket kan være kritisk for de som befinner seg nedstrøms brannen.

4.2.5 Tunnelanalyse – Tunnel 2 - Tunnelklasse C med lengde 9.990 meter og ÅDT 7.000

Denne fiktive tunnelen vil ha en lengde på 9.990 meter og en ÅDT på 7.000. Det vil si at den ligger akkurat under grenseverdien 10 km som tillates iht. N500. Videre ligger ÅDT 1.000 under krav om etablering av rømningsvei som beskrevet i kapittel 4.2.

ÅDT	7000
Lengde (m)	9990
Tunnelklasse	C
Rømningsveier	Nei
AID og ITV	Ja
Fjernstyrte bomber/ lys for stenging	Ja
Største timetrafikk (kjt/t)*	1036
Hastighet (m/s)	22,2
Gjennomkjøringstid (sek)	450
Kjøretøy/sek	0,29
Tid fra brannstart til stenging (sek)	60
Sum bil i tunnel ved brannstart	130
Sum biler inn mellom brannstart og stenging	17
Sum biler ved brann	147
Sum biler nedstrøms brann - sperret av ulykke	41
Sum biler nedstrøms brann - har passert ulykke	32
Sum biler oppstrøms brann - sperret av ulykke	41
Sum biler oppstrøms brann - har passert ulykke	32

Tabell 4- Analyse Tunnelklasse C, lengde 9.990 m og ÅDT 7.000

Som det fremkommer i tabellen så er tunnelen utført uten rømningsvei. Analysen viser at det ved brannstart vil være 130 kjøretøy i tunnelen og ved stenging etter 60 sekunder så vil ytterligere 17 ha kjørt inn i tunnelen. De sistnevnte vil alle forventes å bli sperret inne i tunnelen av brannen/ulykken.

Det vil si at det i dette tilfellet teoretisk vil befinne seg 41 kjøretøy på hver side av brannen som enten må snu kjøretøy og kjøre ut, sitte på med andre medtrafikanter eller gå ut av tunnelen til fots.

Forventet evakueringstid til fots basert på beskrivelse i kapittel 4.2.1 vil være:

$$9.990 \text{ meter} / 2 = 4.995 \text{ meter} / 1,4 \text{ m/s} \approx 59,5 \text{ minutter}$$

I denne tunnelen vil man altså ha totalt 82 kjøretøy som enten må snu kjøreretningen eller evakuere til fots. Det vil være muligheter for evakuering ved å sitte på med andre med deres kjøretøy. Dette vil være høyst aktuelt for tyngre kjøretøy og kjøretøy med tilhenger som kan være vanskelige å snu. Evakuering til fots fra midten av tunnelen kan teoretisk ta ca. 59,5 minutter hvilket kan være kritisk for de som befinner seg nedstrøms brannen.

4.2.6 Tunnelanalyse – Tunnel 3 - Tunnelklasse D med lengde 5.000 meter og ÅDT 8.000

Denne fiktive tunnelen vil ha en lengde på 4.990 meter og en ÅDT på 8.000. Det vil si at den ligger akkurat på grenseverdien for krav om etablering av rømningsveier som beskrevet i kapittel 4.2. Lengde er satt til 5.000 meter.

ÅDT	8000
Lengde (m)	5000
Tunnelklasse	D
Rømningsveier	Ja
AID og ITV	Ja
Fjernstyrte bomber/ lys for stenging	Ja
Største timetrafikk (kjt/t)*	1184
Hastighet (m/s)	22,2
Gjennomkjøringstid (sek)	225
Kjøretøy/sek	0,33
Tid fra brannstart til stenging (sek)	60
Sum bil i tunnel ved brannstart	74
Sum biler inn mellom brannstart og stenging	20
Sum biler ved brann	94
Sum biler nedstrøms brann - sperret av ulykke	28
Sum biler nedstrøms brann - har passert ulykke	19
Sum biler oppstrøms brann - sperret av ulykke	28
Sum biler oppstrøms brann - har passert ulykke	19

Tabell 5 - Analyse Tunnelklasse D, lengde 5.000 m og ÅDT 8.000

Som det fremkommer i tabellen så er tunnelen utført med rømningsvei. Avstand mellom nødutganger skal iht. Tunnelsikkerhetsforskriften være maks 500 meter. Analysen viser at det ved brannstart vil være 74 kjøretøy i tunnelen og ved stenging etter 60 sekunder så vil ytterligere 20 ha kjørt inn i tunnelen. De sistnevnte vil alle forventes å bli sperret inne i tunnelen av brannen/ulykken.

Det vil si at det i dette tilfellet teoretisk vil befinne seg 28 kjøretøy på hver side av brannen som enten må snu kjøretøy og kjøre ut, sitte på med andre medtrafikanter eller gå ut av tunnelen til fots.

Ved evakuering til fots legges til grunn evakuering til nærmeste rømningsvei. Med maks avstand mellom rømningsveier på 500 meter legges til grunn en avstand på 250 meter om man befinner seg midt mellom 2 rømningsveier. Forventet evakueringstid til fots basert på beskrivelse i kapittel 4.2.1 vil være:

250 meter / 1,4 m/s $\approx$ 3 minutter

I denne tunnelen vil man altså ha totalt 56 kjøretøy som enten må snu kjøreretningen eller evakuere til fots. Det vil være muligheter for evakuering ved å sitte på med andre med deres kjøretøy. Dette vil være høyst aktuelt for tyngre kjøretøy og kjøretøy med tilhenger som kan være vanskelige å snu. Evakuering til fots midt mellom to rømningsveier kan teoretisk ta ca. 3 minutter.

4.2.7 Tunnelanalyse – sammenstilling

Det er gjort analyse av 5 tunneler hvorav 2 er eksisterende tunneler og 3 er fiktive tunneler som kan lovlig oppføres etter dagens regelverk. Det må skilles mellom resultatene av de to eksisterende tunnelene og de 3 fiktive tunnelene. Dette fordi de har ulike forutsetninger, spesielt grunnet oppføringstidspunktet. Allikevel er det interessant å se på forskjellene i sikkerhetsnivået da alle tunnelene skal tilfredsstillende krav i Tunnelsikkerhetsforskriften. Analyse materiale som viser hvordan kravene i forskriften er ivarettatt for de to eksisterende tunnelene er imidlertid ikke kjent og ikke undersøkt.

Det er interessant å se at det kun er tunnel som beskrevet i kapittel 4.2.6 som har rømningsvei med nødutganger gjennom hele tunnelen. Denne er definert i tunnelklasse D med lengde 5.000 meter og ÅDT 8.000. I tillegg er Oslofjordtunnelen utført med redningsrom som skal sikre at personer kan evakuere til midlertidig sikkert sted ved brann i tillegg til en nødutgang som leder til sikkert sted.

For å sammenlikne risikoen i de ulike tunnelen er det satt opp en tabell nedenfor som viser antall kjøretøy som er sperret av brann/ulykke nedstrøms og oppstrøms brannen, samt forventet tid ved evakuering til fots i tilfelle noen personer ikke kommer seg til sikkert eller midlertidig sikkert sted ved bruk av eget eller andres kjøretøy.

	ÅDT	Lengde	Ant. kjøretøy totalt ved brann	Ant. kjøretøy sperrert oppstrøms brann	Ant. kjøretøy sperrert nedstrøms brann	Tid til evakuering til fots*
Byfjordtunnelen	11.313	5.875 meter	151	45	45	35 minutter
Oslofjordtunnelen	10.860	7.306 meter	185	53	53	3 minutter
Tunnel 1	3.990	4.990 meter	86	34	34	29,5 minutter
Tunnel 2	7.000	9.990 meter	147	41	41	59,5 minutter
Tunnel 3	8.000	5.000 meter	94	28	28	3 minutter

Tabell 6 - Tunnelanalyse, sammenstilling av resultater

* Tid til evakuering er beregnet fra senter av tunnel der man evakuerer helt ut og fra midten av rømningsveier der dette finnes. For Oslofjordtunnelen regnes avstand midt mellom 2 redningsrom med lengste avstand.

Analysen viser at ÅDT til en viss grad er med å definere hvor mange kjøretøy som kan sperres inne i tunnelen ved en brann. Lengden på tunnelen er også styrende for dette, men i tillegg er tiltak som sikrer tidlig stenging av tunnelen viktig for å redusere antall kjøretøy inne i tunnelen ved en brann.

Analysen viser en betydelig forskjell i de tilfellene der man må evakuere til fots. Tunnel 3 som er på 5.000 meter vil ha en teoretisk forflytningstid til fots til nærmeste rømningsvei på ca. 3 minutter, mens Tunnel 1 på 4.990 meter vil ha en teoretisk forflytningstid til fots på ca. 29,5 minutter. Dersom denne tunnelen var 10 meter lenger ville den blitt definert i tunnelklasse C med krav om ITV og AID hvilket ville medført raskere stenging av tunnelen og en reduksjon fra 68 kjøretøy til 28 kjøretøy som blir sperret av ulykken. Det har imidlertid ingen innvirkning på krav om rømningsvei med denne ÅDT og derfor heller ikke tid til evakuering til fots.

I tillegg ser vi at evakuerende til fots i Oslofjordtunnelen vil kunne komme seg til midlertidig sikkert sted etter bare 3 minutter, mens man i Byfjordtunnelen vil bruke ca. 35 minutter. Forskjellen i sikkerhetsnivå med hensyn på selvredning ved brann for to tunneler som ellers er såpass like, vurderes å være veldig stor. Det må tas med i betraktningen at bruken av redningsrom strider med kravene i EU-direktivet. Under forutsetning at disse er bygget med et tilstrekkelig sikkerhetsnivå så medfører de en stor økning av sikkerhetsnivå ved selvredning. Kvalitet på og effekt av redningsrom er ikke vurdert nærmere i denne rapporten.

Det er ellers et stort sprik i sikkerhetsnivået mellom tunnel 2 og tunnel 3. Her vises hvordan en økning i ÅDT fra 7.000 til 8.000 gir et vesentlig høyere sikkerhetsnivå ved selvredning til tross for at tunnelen uten krav til rømningsvei er nesten dobbelt så lang og har en kalkulert tid for evakuering til fots på nesten en time.

5 Drøfting og konklusjon

Oppgaven har sett på hvordan man gjennom dagens regelverk, i den anledning Tunnelsikkerhetsforskriften, ivaretar kravene til selvredning i norske tunneler. I tillegg er det vurdert hvordan ÅDT påvirker at kravene ivaretas. Det er i kapittel 1 definert følgende problemstillinger:

- Hvordan sikrer vi at kravene til selvredning i EU-direktivets innledende betraktninger, punkt 11, er ivare tatt gjennom Tunnelsikkerhetsforskriften?
- Hvordan sikrer man at kravene ivaretas ved å benytte ÅDT som styrende parameter for å etablere rømningsveier?

I kapittel 2 er det sett nærmere på dagens metoder for evakuering av tunneler ved brann og hvordan ÅDT påvirker ivaretagelse av selvredning gjennom å stille krav til sikkerhet. Det er også sett på hvordan evakuering dimensjoneres andre steder i samfunnet, for eksempel i bygninger og i flytrafikken. Kapittel 2.1.5 stiller til slutt spørsmål ved hvordan man sikrer at hele risikobildet hensyntas. Dette grunnet en påstand om at bruk av ÅDT som i dag har et større fokus på sannsynlighet for at uønsket hendelse oppstår enn konsekvens av det uønskede hendelsen. Dette drøftes videre i kapittel 5.3.

Dokumentanalysen drøftes ikke videre i dette kapittel, men er benyttet som underlag for de analyser og vurderinger som er gjort i kapittel 2 og 3.

5.1 SIKKERHETSNIVÅ EKSISTERENDE TUNNELER

I kapittel 4.1 er det gjort vurderinger av sikkerhetsnivået til Byfjordtunnelen og Oslofjordtunnelen basert på innhentede opplysninger. Det er ikke gjort fullstendige analyser av tunnelenes sikkerhetsnivå på linje med krav i Tunnelsikkerhetsforskriftens §10. Intensjonen har vært å studere tunnelens utvikling i ÅDT og hvordan denne har påvirket krav til sikkerhetsnivå, i denne anledning krav om etablering av rømningsveier.

Funnene viser at trafikken langt på vei har overskredet verdier for krav om etablering av rømningsveier iht. Tunnelsikkerhetsforskriftens vedlegg I, pkt. 2.3.6 (og forskriftens §8), gitt at det kan vurderes som både gjennomførbart og virkningsfullt å etablere dette. Byfjordtunnelen har ved forventet ferdigstilling av Rogfast i 2033, vært i drift i 23 år med en ÅDT > 8.000 uten at rømningsveier er etablert. Til sammenlikning har Oslofjordtunnelen ved forventet ferdigstilling av nytt tunnelløp i 2032, vært i drift i 16 år med en ÅDT > 8.000 uten at rømningsveier er etablert utover den ene nødutgangen 2 km inn i tunnelen. I Oslofjordtunnelen er det imidlertid avvik fra EU-direktivet og etablert redningsrom, hvilket er et kompensierende tiltak for etablering av rømningsveier under forutsetning om at de sikrer personer mot påkjenning av brann og røyk.

Studien viser at det kreves langsiktig planlegging og investeringer for å sikre at kravene til selvredning kan ivaretas i tunneler da trafikken mange steder er økende og etablering av rømningsveier i eksisterende tunneler kan være svært kostbart. De to tunnelene fremstår som ganske like med hensyn på sikkerhetsnivå dersom lengde, stigning og ÅDT legges til grunn. Oslofjordtunnelen har en nødutgang og har fått etablert redningsrom hvilket medfører en langt kortere tid til selvredning til fots enn Byfjordtunnelen. Hvorvidt det er tidligere hendelser som har medført dette eller om det er andre årsaker som ligger til grunn er ikke studert nærmere i denne analysen. Med bakgrunn i det antall branner og branntilløp mellom 2008-2021 [8] som har vært i Byfjordtunnelen (23) sammenliknet med Oslofjordtunnelen (40) ville det vært rimelig at tilsvarende tiltak har vært vurdert for begge tunnelene.

Allerede ved utarbeidelse av reguleringsplaner for ett-løps tunneler kan og bør det legges forutsetninger for når det skal etableres nødutganger. Dette vil kunne gi en mer forutsigbarhet i sikkerhetsstyringen og vil påkrevne at det settes av investeringer til oppgraderinger i et langsiktig perspektiv.

5.2 VARIASJONER I SIKKERHETSNIVÅ VED BRUK AV DAGENS REGELVERK

I kapittel 4.2 er det gjort vurdering av sikkerhetsnivået ved bruk av dagens regelverk. Det er gjort analyser av 3 fiktive tunneler basert på lengde og ÅDT for å se på variasjonene i sikkerhetsnivå og sikkerhetstiltak. Disse er også sammenliknet med Byfjordtunnelen og Oslofjordtunnelen. Det er i analysene i kapittel 4.2 heller ikke gjort fullstendige analyser av tunnelenes sikkerhetsnivå på linje med krav i Tunnelsikkerhetsforskriftens §10. Intensjonen har vært å studere tunnelenes og hvordan ÅDT påvirker krav til sikkerhetsnivå, i denne anledning krav om etablering av rømningsveier.

Resultatene viser at man kan komme veldig ulikt ut med hensyn på krav til sikkerhetstiltak opp mot den forventede hendelsen som er vurdert. ÅDT har en viss innvirkning på hvor mange kjøretøy som forventes å kunne bli sperret inne av en ulykke med brann. Samtidig viser også resultatene at forskjellene mellom de tre fiktive tunnelen er små og varierer fra 56 kjøretøy for Tunnel 3, 68 kjøretøy for Tunnel 1 og 82 kjøretøy for tunnel 2. Siden det etableres rømningsvei i Tunnel 3 vil tid for evakuering til fots være bare 3 minutter, mens tiden vil være nesten 30 minutter for Tunnel 1 og nesten 60 minutter for Tunnel 2 dersom man regner fra midten av tunnelen. Forskjellene i sikkerhetsnivået her vurderes som urimelig store.

Tunnel 1 kan tolkes å være litt urimelig dimensjonert siden den ligger på grensen til å ha krav om etablering av ITV/AID og defineres i tunnelklasse C. For å teste variasjon kan lengde settes til 5.000 meter og ÅDT samtidig reduseres til 2.000. I dette tilfellet kan tid til stenging av tunnel reduseres til 60 sekunder som for de andre. Dette sammen med en halvering av trafikken vil medføre en reduksjon i antall kjøretøy som sperres av brann fra 68 til 14. Dette er en betydelig reduksjon, samtidig vil evakuering av de som befinner seg nedstrøms brannen fortsatt være komplisert både med eget kjøretøy og til fots som uansett vil kunne ta ca. 30 minutter.

5.3 HVORDAN HENSYNTAS KONSEKVENSNEDVIRKINGEN VED HENDELSE I DAGENS REGELVERK

Som beskrevet i kapittel 2.1.5 så kan det stilles spørsmål ved hvorvidt bruk av ÅDT i for stor grad fokuserer på å redusere sannsynlighet for at hendelse inntreffer. Eksempelene som er benyttet i kapittel 2.1.4 viser at man ved sikkerhetsstyring av bygninger og i flytrafikken legger til grunn maksimalt forventet personantall, mens for tunneler så benyttes hele tiden en midlere forventet verdi (ÅDT). Så hvordan er konsekvensene medtatt i risikostyringen for tunneler, eller kan det sies at denne er nedprioritert med en tanke om at lav nok sannsynlighet totalt sett gir lav nok risiko? Analysene i kapittel 4.2 viser at tunnelene uten rømningsveier og uten redningsrom vil ha en variasjon mellom 68 og 90 kjøretøy som kan sperres av en ulykke med brannhendelse. Her er variasjonene i lengde på tunnelene fra 4.990 til 9.990 meter hvilket medfører evakuering til fots i «worst-case» scenario på mellom ca. 30 til 60 minutter.

I tillegg er følsomheten testet i kapittel 5.2 ved å redusere ÅDT i Tunnel 1 til 2.000 og øke lengden på tunnelen til 5.000 meter. Dette gir da en reduksjon i antall kjøretøy sperret av brann til 14.

Dersom man antar at kjøretøy som befinner seg oppstrøms en brann kan evakuere trygt til sikkert sted ut av tunnelen så vil de ulike tunnelene inkludert Tunnel 1 med redusert ÅDT ha mellom 7 og 45 kjøretøy sperret nedstrøms brannen. Bare med 7 kjøretøy kan gjerne en av de være en turistbuss med 50 personer, hvilket betyr at man i verste fall kan ha en ulykke med 60-70 personer nedstrøms. En hendelse med 45 kjøretøy nedstrøms kan medføre langt flere personer sperret i tunnelen og gi et potensiale for en storulykke etter Storulykeforskriften [18].

5.4 DRØFTING AV PROBLEMSTILLING

Den første problemstillingen i oppgaven er beskrevet som følger:

«Hvordan sikrer vi at kravene til selvredning i EU-direktivets innledende betraktninger, punkt 11, er ivarettatt gjennom Tunnelsikkerhetsforskriften?»

Det er vanskelig å si at dagens tunneler og tunneler som bygges etter dagens regelverk vil kunne sikre ivarettelse av kravet til selvredning. Dette begrunnes med et uvisst antall kjøretøy som kan involveres i branner der selvredning må betraktes som komplisert, spesielt for de som befinner seg nedstrøms en brann. I tillegg til dette så er kompetansen om selvredning blant trafikantene svært varierende. Erfaringene fra blant annet brann i Gudvangatunnelen viser at dette har vært komplisert selv med få kjøretøy involvert.

Dersom kravet om selvredning i EU-direktivets punkt 11 skal ivaretas, må det i større grad innarbeides en praksis hvor tunnelenes helhetlige sikkerhet vurderes etter intensjonen i Tunnelsikkerhetsforskriftens vedlegg I, punkt 1.1.1 som angir

følgende: «Sikkerhetstiltak som skal gjennomføres i en tunnel, skal være basert på en systematisk vurdering av alle sider ved systemet som utgjøres av infrastrukturen, bruken, trafikantene og kjøretøyene». Punkt 1.1.2 angir videre hvilke parametere som skal tas i betraktning. På denne måten vil sikkerheten i større grad kunne tilpasses den aktuelle tunnelens risiko.

Den andre problemstillingen i oppgaven er beskrevet som følger:

«Hvordan sikrer man at kravene ivaretas ved å benytte ÅDT som styrende parameter for å etablere rømningsveier?»

ÅDT er som beskrevet i oppgaven en prognose på en gjennomsnittsverdi. Tallene vil gi store usikkerheter både med tanke på fremtidig utvikling, og ikke minst hvordan man skal definere et dimensjonerende scenario basert på et årsgjennomsnitt. Dersom ÅDT skal benyttes på rett måte er man nødt til å både sesongjustere, risikojustere og se på maksimale verdier for både døgn- og timestrafikk. Dette gir et bedre grunnlag for å vurdere faktiske scenario fremfor å benytte gjennomsnittstall for å definere krav ut fra grenseverdier for ÅDT som er nedfelt i forskriften. Som vist kan bruken av ÅDT fort gi store svingninger i sikkerhetstiltak og sikkerhetsnivå.

5.5 VIDERE ARBEIDER

Tunnelsikkerhet og ivaretagelse av krav til selvredning gjennom dagens forskriftskrav er et komplisert tema. Denne oppgaven viser at selvredning kan være komplisert i tunneler og at praksis ved å følge dagens forskriftskrav gir et sterkt varierende sikkerhetsnivå i norske tunneler. Så spørsmålet er hva som bør aksepteres av sikkerhetsnivå med hensyn på selvredning i fremtiden. Er det greit å fortsette å bygge ett-løps tunneler uten rømningsveier og at rømningsveier hovedsakelig er forbeholdt de tunnelene som har to løp?

Det anbefales å se nærmere på andre måter for å definere hva som skal medføre krav om etablering av rømningstunneler i Norge. Som beskrevet i kapittel 5.3 vil dette kunne hensyntas om man i større grad legger til grunn Tunnelsikkerhetsforskriftens vedlegg I, punkt 1.1.1 og 1.1.2. Metoder for å analysere disse parameterne i et helhetlig tunnelsikkerhetskonsept anbefales utredet nærmere. I tillegg vil dette kunne medføre en endret praksis hvor man i større grad fristiller seg fra definerte grenseverdier med krav. En mer differensiert bruk av ÅDT som parameter vil være en del av dette arbeidet da dette også er en forutsetning iht. punkt 1.1.2.

I forbindelse med metoder for analyse av tunnelsikkerhet anbefales det å etablere en praksis for å definere designscenario for kritiske hendelser.

Som beskrevet i kapittel 1 er det bare unntaksvis at det etableres rømningsveier i ett-løps tunneler og at dette normalt etableres først når tunnelen utvides til 2 løp. En av årsakene til dette kan være at kostnaden ved å etablere en parallelført rømningstunnel alene er såpass stor med dagens krav til tunnelprofil T 5,5 iht. N500

at man unngår dette helt til det er behov for å etablere et ekstra tunneløp. Det anbefales derfor å utrede nærmere hvorvidt det er behov for å benytte så store dimensjoner for en rømningsvei og om det er mulig å etablere rømningsveier inne i samme sprengningsprofil, dersom det tas høyde for å etablere en smalere rømningsvei. Dersom man kan finne enklere måter å bygge rømningsveier som gir et tilstrekkelig sikkerhetsnivå på, så vil dette også kunne stimulere til økt bruk av rømningsveier gjennom lavere kostnader.

5.6 KONKLUSJON

Som drøftingen i foregående delkapitler viser så er det vanskelig å si at selvredning ivaretas ved eksisterende og nye tunneler jfr. EU-direktivets innledende betraktninger. Dette grunnet mange usikkerheter med ulike forutsetninger om hvor mange og hvem som befinner seg i tunnelene hvor selvredning i mange tilfeller kan være komplisert. Det er ofte også snakk om svært lange avstander.

Det å styre sikkerheten i tunnelene basert på ÅDT og i denne anledning til bruk for krav om rømningsveier gir store usikkerheter og krever nærmere analyser enn å bare benytte gjennomsnittsverdier. ÅDT gir i tillegg bare en forventning om trafikk og dermed forventninger om at hendelse skal inntreffe, men sier lite om konsekvensene av en hendelse. Det er viktig å skille på risiko innenfor trafikksikkerhet hvor hendelser inntreffer ofte per år med de sjeldne og kritiske hendelsene som f.eks. brann i tunnel. ÅDT er ikke nødvendigvis egnet for å få frem risiko for de kritiske hendelsene.

Erfaringene viser at man i eksisterende tunneler og ved planlegging av nye tunneler vil få store variasjoner i sikkerhetsnivå for selvredning ved kritiske hendelser som brann i tunnel. Resultatene viser at det kan være store variasjoner i avstander og tid til evakuering til fots. De store forskjellene i tiltak på Oslofjordtunnelen og Byfjordtunnelen er påfallende siden begge tunnelene skal ivareta krav i samme forskrift og tunnelene virker å ha likeverdige forutsetninger og risiko. Det har imidlertid vært flere kritiske hendelser i Oslofjordtunnelen enn i Byfjordtunnelen, hvilket kan tyde på at det er hendelsene som styrer krav til sikkerhetsnivå. En slik metode vil kunne bety at tunneler med høy risiko hvor konsekvensene ved ulykke kan være store, ikke får oppgradert sikkerheten på grunn av fravær av kritiske hendelser.

Analysene av de fiktive tunnelene viser også store forskjeller i sikkerhetsnivå, noe som er forventet siden tiltakene normalt slår inn ved grenseverdier ved økte lengder og ÅDT. Som drøftet i kapittel 5.5 vil utvikling av metoder for å gjennomføre mer helhetlige analyser av tunnelsikkerhetskonsept kunne medføre et jevnere sikkerhetsnivå mellom ulike tunneler hvor krav i Tunnelsikkerhetsforskriftens vedlegg I, punkt 1.1.1 og 1.1.2 får et større fokus.

Sammenliknet med evakuering andre steder i samfunnet som vurdert i kapittel 2.1.4 så vurderes det at trafikantene er lite forberedt på den hendelsen som kan inntreffe. I tillegg er scenario i de to tilfellene fra bygninger og flytrafikken tydeligere definert

med maks forventet personbelastning i motsetning til i tunneler hvor disse verdiene ofte er ukjente.

6 Referanser

1. Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften). (2020). Samferdselsdepartementet.
2. Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift, TEK 17). (2017). Kommunal- og distriktsdepartementet.
3. Tunnelsikkerhetsdirektivet 2004/54/EF. (2004). The European Parliament and the Council og the European Union.
4. Håndbok V721 Risikovurdering i vegtrafikken. (2014). Statens Vegvesen.
5. N500:2024. (2024). Statens Vegvesen.
6. Risikoanalyse ÅDT 4000/8000. (2018). Sintef.
7. TS 2007:11 - Veileder for risikoanalyser av vegtunneler. (2007). Statens Vegvesen.
8. TØI rapport 1948/2023, Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008-2021. (2023). Transportøkonomisk institutt.
9. N500:2020. Statens Vegvesen, 2020
10. Vei rapport 2013/05 - Rapport om brann i vogntog på Rv 23, Oslofjordtunnelen, 23. juni 2011. (2013). Statens Havarikommisjon.
11. Vei rapport 2015/02 - Rapport om brann i vogntog på E16 i Gudvangatunnelen i Aurland 5. august 2013. (2015). Statens Havarikommisjon.
12. Vei rapport 2016/03 - Rapport om bussbrann i Gudvangatunnelen på E16 i Aurland 11. august 2015. (2016). Statens Havarikommisjon.
13. Vei rapport 2018/04 - Rapport om brann i vogntog på rv. 23 Oslofjordtunnelen 5. mai 2017. (2018). Statens Havarikommisjon.
14. Vei rapport 2020/04 - Rapport om brann i vogntog på E16 i Gudvangatunnelen i Aurland 30. mars 2019. (2020). Statens Havarikommisjon.
15. Veiledning til Byggteknisk forskrift, VTEK 17. (2017). Direktoratet for byggkvalitet.
16. Byggforskserien 520.385, Nødvendig rømningstid ved brann. (2016). SINTEF Byggforsk.
17. A22149 / RAP_201 Åpen - E-39 Rogfast, ROS analyse tunnel. (2012). Sintef.
18. Forskrift om tiltak for å forebygge og begrense konsekvensene av storulykker i virksomheter der farlige kjemikalier forekommer (storulykkeforskriften). (2016, sist endret 2024). Justis- og beredskapsdepartementet.