

Fakultet for Naturvitenskap og Teknologi

Sikkerhetsvurdering av Tromsøysundtunnelen

Sondre Finjord Jensen

Masteroppgave

Technology and Safety in the High North

Juni 2016





Studieretning: Technology and Safety in the High North, TEK-3901 - Masteroppgave		År: 2016
Tittel: Sikkerhetsvurdering av Tromsøysundtunnelen		Dato: 1. Juni
Student: Sondre Finjord Jensen		Gradering: Åpen
Konfidensialitet: Offentlig		Antall sider: 91 Vedlegg: 4
Veileder: Javad Barabady		
Oppdragsgiver: Statens vegvesen Tromsø		Kontaktperson oppdragsgiver: Gunn Schultz
<p>Sammendrag: Veitunneler er statistisk sett en av de sikreste delene av veinettet, med svært få hendelser sammenlignet med det øvrige nettet. Det er derimot spesielle forhold som i vesentlig grad avviker fra veinettet for øvrig med tanke på brann og rømning. De ulike sikkerhetssystemene i tunnelen er med på å hindre at hendelser oppstår, og redusere konsekvensene hvis ulykken først er ute.</p> <p>Gjennom oppgaven settes det fokus på sikkerheten i norske veitunneler, spesielt med problemstillinger relatert til brannsikkerhet i Tromsøysundtunnelen. Undersjøiske tunneler utgjør i utgangspunktet en stor risiko på grunn av lengde, stigningsgrad og begrensede muligheter for rømning. I tillegg vil trafikkmengde og andre risikoforhold kategorisere tunnelen og dens utstyrsnivå med bakgrunn i krav og forskrifter. Gjennom nye krav gitt i Tunnelsikkerhetsforskriften gjennomgår Tromsøysundtunnelen en oppgradering til nytt sikkerhetsutstyr. Det drøftes om tunnelen har et tilstrekkelig sikkerhetsnivå etter oppgraderingen, eller om ytterligere sikkerhetstiltak burde vært implementert. Grunnlaget for en slik vurdering settes gjennom fagsamtaler, befaringer og øvelser sammen med sikkerhets-/ og beredskapspersonell.</p> <p>Av oppgaven fremkommer relevante forskrifter som ligger til grunn for utforming og vedlikehold av tunnelen. Planlagt utstyr som kameraovervåkning med hendelsesdeteksjon, bedre ventilasjon og tilrettelegging for mer effektiv evakuering for trafikanter ved brannhendelser viser seg å være svært viktige faktorer som kan utgjøre forskjellen på et mindre branntilløp og en større brann. Tromsøysundtunnelen fremstår som en godt utrustet og trygg tunnel, selv om det alltid vil være mulig å heve sikkerhetsnivået ytterligere. På tross av at det finnes sikkerhetssystemer som skal redusere risikoen, vil adferden i tunnel spille en sentral rolle i en nødsituasjon. Trafikanter bør være oppmerksom på konsekvensene ved brann og røykutvikling inne i tunnelen, og handle riktig – tross begrenset tid. Målet er at det skal være enkelt å handle riktig og vanskelig å gjøre feil.</p>		
Nøkkelord: Tunnel, Sikkerhetsoppgradering, Brannsikkerhet, Evakuering, Selvberging, Adferd		

Forord

Masteroppgaven markerer avslutningen på studieprogrammet Technology and Safety in the High North ved fakultet for Naturvitenskap og Teknologi på Universitetet i Tromsø. Oppgaven ble gjennomført i perioden januar til juni, 2016. Tittelen er ”Sikkerhetsvurdering av Tromsøysundtunnelen” og temaet tunnelsikkerhet er valgt på bakgrunn av interesse for brannsikkerhet og spesielle utfordringer relatert til dette. Det var samtidig et ønske fra samarbeidspartner Statens vegvesen å vurdere sikkerheten i Tromsøysundtunnelen.

Det er forutsatt at leseren har grunnleggende kunnskaper om risiko og ulike analysemetoder. Oppgaven har til tider vært utfordrende, men et svært spennende fagfelt å sette seg inn i og drøfte. Jeg mener oppgaven er løst på best mulig måte ved hjelp av motivasjon, god veiledning og faglig inspirasjon.

Det er på sin plass å rette en stor takk til veileder ved Universitetet i Tromsø, Professor Javad Barabady, for råd og god veiledning gjennom oppgaven. Uten Barabady sin hjelp med struktur av oppgaven og forslag til forbedringer, ville ikke resultatet blitt like godt.

Jeg ønsker også å rette en takk til Statens vegvesen i Tromsø for muligheten til å skrive oppgave i samarbeid med dere. Spesiell takk til min veileder, Gunn Schultz, som har vært svært hjelpsom gjennom hele prosessen og bidratt med profesjonell veiledning både til casestudien og selve innholdet.

Takk til brannvernleder i Oslo, Torbjørn Tollefsen for befaring og faglige diskusjoner, Espen Ødegaard på Veitrafikkentralen i Oslo, Tromsø Brann og Redning og brannvernleder i Harstad Kjell Agnar Mikalsen.

Til alle andre som har motivert og støttet meg underveis, tusen takk!

Universitet i Tromsø

31. Mai 2016

Sondre Finjord Jensen

Sammendrag

Veitunneler er statistisk sett en av de sikreste delene av veinettet, med svært få hendelser sammenlignet med det øvrige nettet. Det er derimot spesielle forhold som i vesentlig grad avviker fra veinettet før øvrig med tanke på brann og rømning. De ulike sikkerhetssystemene i tunnelen er med på å hindre at hendelser oppstår, og redusere konsekvensene hvis ulykken først er ute.

Gjennom oppgaven settes det fokus på sikkerheten i norske veitunneler, spesielt med problemstillinger relatert til brannsikkerhet i Tromsøysundtunnelen. Undersjøiske tunneler utgjør i utgangspunktet en stor risiko på grunn av lengde, stigningsgrad og begrensede muligheter for rømning. På toppen av dette vil trafikkmengde og andre risikoforhold kategorisere tunnelen og dens utstyrsnivå med bakgrunn i krav og forskrifter. Gjennom nye krav gitt i Tunnelsikkerhetsforskriften gjennomgår Tromsøysundtunnelen en oppgradering til nytt sikkerhetsutstyr. Det drøftes om tunnelen har et tilstrekkelig sikkerhetsnivå etter oppgraderingen, eller om ytterligere sikkerhetstiltak burde vært implementert. Grunnlaget for en slik vurdering settes gjennom fagsamtaler, befaringer og øvelser sammen med sikkerhets- og beredskapspersonell.

Av oppgaven fremkommer relevante forskrifter som ligger til grunn for utforming og vedlikehold av tunnelen. Planlagt utstyr som kameraovervåking med hendelsesdeteksjon, bedre ventilasjon og tilrettelegging for mer effektiv evakuering for trafikanter ved brannhendelser viser seg å være svært viktige faktorer som kan utgjøre forskjellen på et mindre branntilløp og en større brann. Tromsøysundtunnelen fremstår som en godt utrustet og trygg tunnel, selv om det alltid vil være mulig å heve sikkerhetsnivået ytterligere. På tross av at det finnes sikkerhetssystemer som skal redusere risikoen, vil adferden i tunnel spille en sentral rolle i en nødsituasjon. Trafikanter bør være oppmerksom på konsekvensene ved brann og røykutvikling inne i tunnelen, og handle riktig – tross begrenset tid. Målet er at det skal være enkelt å handle riktig og vanskelig å gjøre feil.

Innholdsfortegnelse

FORORD	II
SAMMENDRAG	IV
LISTE FIGURER	VIII
LISTE TABELLER	VIII
FORKORTELSER	X
DEFINISJONER	XII
1. INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 PROBLEMSTILLING	3
1.3 FORSKNINGSSPØRSMÅL	3
1.4 FORMÅL	3
1.5 BEGRENSNINGER	3
1.6 STRUKTUR	4
2. TEORI	7
2.1 RISIKO	7
2.2 AKSEPTKRITERIUM FOR RISIKO (ALARP)	8
2.3 ANALYSEMETODE FOR RISIKO	10
3. METODE	15
3.1 ROLLE OG FUNKSJON	15
3.2 DATAINNSAMLING	15
3.3 EKSEMPLER PÅ TIDLIGERE ULYKKESHENDELSER	18
3.3.1 <i>Oslofjordtunnelen</i>	18
3.3.2 <i>Gudvangatunnelen</i>	19
3.3.3 <i>Skatestraumtunnelen</i>	22
3.3.4 <i>Tiltak etter ulykkene</i>	23
4. TUNNEL	25
4.1 SAMARBEIDSPARTNER	25
4.2 VEITRAFIKKSENTRALEN	25
4.3 TUNNELSKOLE	27
4.3.1 <i>Utforming av tunneler</i>	27
4.3.2 <i>Tunnelklasser</i>	29
4.3.3 <i>Sikkerhetsutrustning</i>	32
4.4 GRUNNLEGGENDE KRAV OG FORSKRIFTER	40
4.5 CASE-BESKRIVELSE: TROMSØYSUNDTUNNELEN	43
4.5.1 <i>Oppgradering</i>	49
5. RESULTATER OG DISKUSJON	51
5.1 STYRENDE FORSKRIFTER	51
5.2 RISIKOFAKTORER I TUNNEL	56
5.2.1 <i>Sikt</i>	56
5.2.2 <i>Kjøreforhold</i>	57
5.2.3 <i>Belysning</i>	57
5.2.4 <i>Stigning</i>	58
5.2.5 <i>Adferd, varsling og evakuering</i>	59
5.2.6 <i>Beredskap</i>	64

5.3	RISIKOANALYSE AV TROMSØYSUNDTUNNELEN	65
5.3.1	<i>Risikobilde</i>	65
5.3.2	<i>Identifisering av sikkerhetsutfordringer</i>	71
5.3.3	<i>Risikoreduserende tiltak</i>	76
6.	AVSLUTNING	87
6.1	KONKLUSJON	87
6.2	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	89
	BIBLIOGRAFI	91
	VEDLEGG 1	1
	VEDLEGG 2	3
	VEDLEGG 3	5
	VEDLEGG 4	7

Liste Figurer

FIGUR 1 ALARP-PRINSIPPET (RAUSAND & UTNE, 2009)	9
FIGUR 2 METODE FOR RISIKOANALYSE (VEGDIREKTORATET, 2007).....	11
FIGUR 3 EKSEMPEL PÅ RISIKOBILDE (BOW-TIE) (AVEN, RØED, & WIENCKE, RISIKOANALYSE, 2010)	12
FIGUR 4 SJÅFØREN PRØVER Å SLUKKE BRANNEN I OSLOFJORDTUNNELEN I 2011 (VISNES, 2015).....	18
FIGUR 5 DEN UTBRENT BUSSEN ETTER BRANNEN I GUDVANGATUNNELEN, 11. AUGUST 2015 (ØYVIND GUSTAVSEN, 2015)	21
FIGUR 6 KRAFTIG RØYK VELTER UT AV SKATESTRAUMTUNNELEN 15. JULI 2015 (INGVILD TEIGE STIEGLER, 2015)	22
FIGUR 7 VEITRAFIKKSENTRALEN OSLO.	26
FIGUR 8 TUNNELKLASSE (VEGDIREKTORATET, 2014).....	29
FIGUR 9 UTFORMING AV HAVARINISJE (STATENS VEGVESEN, 2014)	30
FIGUR 10 PUMPEROM I RYATUNNELEN (AAS-PETTERSEN, 2015).....	31
FIGUR 11 FREMGANGSMÅTE FOR TESTING AV FUNKSJONSKRAV (STATENS VEGVESEN, 2006)	33
FIGUR 12 TEST AV BRANNVENTILASJON MED RØYK I BREIVIKATUNNELEN	35
FIGUR 13 REFLEKSJON AV LYS FØR OG ETTER VASK I ASKIMPORTEN TUNNEL (WANVIK, 2013).....	36
FIGUR 14 TROMSØSUNDTUNNELEN FORBINDER TROMSØYA OG FASTLANDET SAMMEN (STATENS VEGVESEN, 2015)	43
FIGUR 15 SKISSE/BRANNPLAN AV TROMSØSUNDTUNNELEN (LARSEN & SALANGLI, 2014)	46
FIGUR 16 LYSSIGNAL OG BOM FOR OMKJØRING UNDER OPPGRADERINGEN I TROMSØSUNDTUNNELEN (STATENS VEGVESEN, 2015).....	50
FIGUR 17 VEDLIKEHOLDSPROSESS FOR UTSTYR I TUNNEL (MARKESET & KUMAR, 2001)	53
FIGUR 18 HANDLING VED HENDELSE I TUNNEL (OLUFSEN, 2016)	59
FIGUR 19 NØDSKAP MED MERKING OG LYSBRUK I RYATUNNELEN, TROMSØ (AAS-PETTERSEN, 2015)	61
FIGUR 20 EVAKUERINGSROM OSLOFJORDTUNNELEN.....	63
FIGUR 21 BESKRIVELSE FOR EVAKUERINGSROM I OSLOFJORDTUNNELEN	63
FIGUR 22 EKSEMPEL PÅ RISIKOBILDE FOR BRANNSIKKERHET I TROMSØSUNDTUNNELEN	67
FIGUR 23 ULYKKESHENDELSER TROMSØSUNDTUNNELEN (TIDSROM 1996-2015).....	69
FIGUR 24 HENDELSESTRE VED BRANN I TROMSØSUNDTUNNELEN	74
FIGUR 25 NY BRANNVENTILASJON I TROMSØSUNDTUNNELEN (HANSEN, 2016)	77
FIGUR 26 BRANNVENTILASJON I T1, TROMSØSUNDTUNNELEN (HANSEN, 2016)	77
FIGUR 27 ØVELSE TROMSØSUNDTUNNELEN. BRANNBILEN PÅ VEI GJENNOM TVERRSLAG (SCHULTZ, RÅDGIVER SVV TROMSØ, 2016)	79
FIGUR 28 NØDBELYSNING I RØMNINGSVEI I TROMSØSUNDTUNNELEN (ROBUSTAS, 2016).....	80
FIGUR 29 EKSEMPEL PÅ DYNAMISK LED-BELYSNING I OSLOFJORDTUNNELEN	81
FIGUR 30 DYNAMISK KJØREFELTSIGNAL (EUROSKILT, 2016).....	84

Liste Tabeller

TABELL 1 EKSEMPEL PÅ RISIKOMATRISE (VEGDIREKTORATET, 2007)	13
TABELL 2 OVERSIKT OVER DATAINNSAMLING I FORM AV ØVELSER OG MØTER	16
TABELL 3 MAKSIMAL STIGNING FOR VEI I UNDERSJØISKE TUNNELER (VEGDIREKTORATET, 2014)	28
TABELL 4 KRAV TIL BRANNBESKYTTELSE (VEGDIREKTORATET, 2006)	32
TABELL 5 AKSEPTKRITERIER FOR TUNNELKLASSE VED TESTING (VEGDIREKTORATET, 2006)	33
TABELL 6 DIMENSJONERENDE LUFTKVALITETSNIVÅ I TUNNELER SOM ER TILLATT FOR GÅENDE OG SYKLENDE (VEGDIREKTORATET, 2014)	34
TABELL 7 TILTAK FOR Å SIKRE MINIMUM SIKKERHETSNIVÅ I TUNNELER (VEGDIREKTORATET, 2014).....	42
TABELL 8 TROMSØSUNDTUNNELEN (LARSEN & SALANGLI, 2014)	44
TABELL 9 FREKVENSS PÅ BRANNTILLØP (ØSTENSEN, 2009).....	68
TABELL 10 ULYKKESTATISTIKK TROMSØSUNDTUNNELEN	70
TABELL 11 UØNSKETE HENDELSER SOM KAN MEDFØRE ØKENDE RISIKO I TUNNEL	72
TABELL 12 RISIKOMATRISE LIV OG HELSE FOR BRANN I TROMSØSUNDTUNNELEN	76

Forkortelser

AID	Automatisk Hendelsesdetektering
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
ATK	Automatisk Trafikkontroll
DAB	Digital Audio Broadcasting
DSB	Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap
EFTA	European Free Trade Association
MW	Mega Watt
NVDB	Nasjonal Vegdatabank
PE-Skum	Polyetylenskum
SATK	Automatisk Gjennomsnittsmåling
SD	Sentral driftsovervåking
SHT	Statens Havarikommisjon
STRAKS	Registrerings- og Rapporteringssystem for Trafikkulykker
SVV	Statens vegvesen
TSF	Tunnelsikkerhetsforskriften
TUSI	Tunnelsikkerhetsberegning
UPS	Uninterruptible Power Supply
VTS	Veitrafikksentralen
ÅDT	Årsdøgntrafikk

Definisjoner

Akseptkriterier for risiko	Kriterier basert på forskrifter, standarder, erfaring og/eller teoretisk kunnskap som legges til grunn for beslutninger om akseptabel risiko (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
ALARP	Risikoen skal reduseres så langt som praktisk mulig (Aven, Røed, & Wiencke, Risikoanalyse, 2010).
Barrierer	Tiltak og funksjoner som er planlagt for å bryte et spesifisert uønsket hendelsesforløp (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
Beredskap	Omfatter alle tekniske, operasjonelle og organisatoriske tiltak som hindrer at en fare utvikler seg til en ulykke eller reduserer skadevirkningene av en ulykke (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
EU-kommisjonen	EU-kommisjonen som i denne sammenheng kan være representert ved EFTAs overvåkningsorgan ESA eller annen enhet som Norge skal rapportere til (Vegdirektoratet, 2007).
Fri sikt	Sammenhengende, synlig veilengde for en bilfører som befinner seg midt i kjørefeltet, og har øyehøyde over kjørebanelen (Vegdirektoratet, 2013).
Fylkesveg	Offentlig veg som etter vegloven er klassifisert som fylkesveg (Lovdata, 2007)
Håndbok 163	Funksjonskrav og dimensjoneringsregler for vann- og frostsikring i veitunneler ved avskjerming (Vegdirektoratet, 2006).
Håndbok 269	Sikkerhetsforvaltning av tunneler: Skal sørge for at sikkerheten i norske tunneler tilfredsstiller kravene i Tunnelsikkerhetsforskriften, Brannvernloven med forskrifter, samt Interne pålegg i Statens vegvesen (Vegdirektoratet, 2007).
Håndbok N500	Vegtunneler: omfatter alle forhold ved gjennomføringen av et veitunnelprosjekt, fra tidlig planlegging til ferdig produkt, samt drift og vedlikehold (Vegdirektoratet, 2014).
Konsekvens	Mulig følge av en uønsket hendelse. Konsekvenser kan uttrykkes med ord eller som en tallverdi for omfanget av skader på

	mennesker, miljø etter materielle verdier (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
Konsekvensanalyse	Systematisk fremgangsmåte for å beskrive og/eller beregne mulige skadeomfang på mennesker, miljø eller materielle verdier som følge av uønskede hendelser (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
PE-Skum	Polyetylenskum som brukes til frostsikring i tunneler (Schultz, Rådgiver SVV Tromsø, 2016).
Redningstjeneste	Alle lokale eller landsdekkende tjenester som er enten offentlig eller private, som rykker ut ved en ulykke, herunder Politi, Brann- og redningsvesen samt ambulansetjenesten og andre redningsmannskaper (Vegdirektoratet, 2007).
Risiko	Uttrykk for den fare som uønskede hendelser representerer for mennesker, miljø eller materielle verdier. Risikoen uttrykkes ved sannsynlighet for og konsekvenser av uønskede hendelser (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
Risikoanalyse	Analyse av risikoene ved en bestemt tunnel, der det tas hensyn til alle konstruksjonsfaktorer og trafikkforhold som berører sikkerheten, herunder særlig trafikkenes særtrekk og type, tunnellengde og tunnelgeometri og prognosen for antall tunge lastebiler per døgn (Lovdata, 2007).
Risikobilde	Samlet presentasjon av risiko ved de ulike elementene i et system (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
Risikoreduserende tiltak	Tiltak med sikte på å redusere sannsynlighet for og/eller konsekvens av uønskede hendelser (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
Sikkerhet	Evnen til å unngå skader og tap som følge av uønskede hendelser (Aven, Pålitelighets- og risikoanalyse, 2006).
Sikkerhetsdokumentasjon	Den dokumentasjon som skal foreligge for å få tunnelen sikkerhetsgodkjent (Vegdirektoratet, 2007).
Sikkerhetsforvaltning	Ansvar for at, i dette tilfellet tunnelene, er utrustet, driftet og vedlikeholdt på en slik måte at de tilfredsstiller krav som lover og forskrifter stiller. Dette innebærer også å sørge for at nødvendige

	tiltak bli iverksatt (sikkerhetsmessig og ift. Bevaring av den investerte kapitalen (Vegdirektoratet, 2007).
Sikkerhetsgodkjenning	Autorisering / godkjenning av tunnel (Vegdirektoratet, 2007).
TEK 10	Veiledning om tekniske krav til byggverk. Setter grenser for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge (Direktoratet for byggkvalitet, 2010)
Trafikksikkerhetstiltak	Alle tiltak som har til hensikt å begrense ulykker og skader i veitrafikken (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
Tunnel	Byggverk som fører veien i en underjordisk eller undersjøisk passasje (Vegdirektoratet, 2013).
Tunneleier	En omskrivning av begrepet fra brannvernlovgivningen som benytter eier av særskilt brannobjekt (i SVV er dette regionvegkontoret) (Vegdirektoratet, 2007).
Tunnellengde	Det lengste kjørefeltets lengde, målt i den helt innelukkede delen av tunnelen (Vegdirektoratet, 2007).
Tunnelsikkerhetsforskriften	Skal sikre lavest tillate 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 ulykker (Lovdata, 2007).
Uønsket hendelse	Hendelse eller tilstand som kan medføre skader på mennesker, miljø eller materielle verdier (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).
Vei i dagen	Veinettet utenfor tunnel (Vegdirektoratet, 2014).
Veitrafikksentralen	Informasjons- og kontaktsenter i Statens Vegvesen som har som oppgave å overvåke trafikken og styre alle tunneler og veistrekninger som er tilknyttet sentralen (Ødegaard, 2016).
Årsdøgntrafikk	Gjennomsnittlig antall kjøretøy per døgn gjennom tunnelen (Lux brannteknologi, 2004).

1. Innledning

Kapittel 1 presenterer en introduksjon slik at leseren skal ha forutsetninger for å forstå og sette seg inn i begrunnelsen for å bygge sikre tunneler. Her er bakgrunnen og utfordringene relatert til oppgaven presentert. Problemstillingen, formålet og forskningsspørsmålene som omhandler Tromsøysundtunnelen og sikkerhetsnivået etter oppgradering er beskrevet. Avslutningsvis er begrensninger og strukturen på oppgaven tatt med.

1.1 Bakgrunn

Veitunneler er en naturlig og viktig del av veinettet i Norge. Med over 1000 i antall og en samlet lengde på over 800 km, strekker de seg gjennom fjell og under fjorder for å sikre trafikanter en effektiv reise langs veien. Statistisk sett er veitunneler en av de sikreste delene av veinettet med svært få uønskede hendelser sammenlignet med resten av veinettet. Analyser gjennomført på grunnlag av politirapporterte personskadeulykker viser at det skjer færre ulykker i tunneler enn på tilsvarende veistrekninger utenfor tunnel, også kalt "vei i dagen" (faguttrykk som brukes av Statens vegvesen og som vil bli brukt videre i denne oppgaven). Derimot har veitunneler spesielle forhold som i vesentlig grad avviker fra "vei i dagen" med tanke på brannsikkerhet. De er ikke bemannet med fast personell slik som lignende særskilte brannobjekter, og innsatstiden kan være lang. Redning baseres på selvbearbeidingsprinsippet, noe som stiller ekstra krav til trafikanter og deres adferd.

Fra tidligere gjennomførte spørreundersøkelser ser man at mange trafikanter er bekymret for sin egen sikkerhet og føler seg utrygge når de kjører i veitunneler. Rundt en prosent av befolkningen lider av tunnelfobi (Veidirektoratet, 2010). Samfunnet er derfor avhengig av å tilby tunneler med et høyt sikkerhetsnivå. Lengden, trafikken og belsningen er viktig når det gjelder trafikantenes trygghetsfølelse, og er samtidig bestemmende for den faktiske sikkerheten i tunneler. Gjennom de siste 10 årene har fokuset på sikkerhet i tunnel endret seg kraftig. Trafikkmengden stiger, med et stadig økende antall vogntog langs veien. Som resultat av dette ble det 1. januar 2016 innført obligatorisk tunnelkjøring gjennom nye førerkortkrav for alle ferske bilister.

Tunneler fungerer som lukkede systemer gjennom fjell og under sjø, og i kombinasjon med kupert veibane vil risikoen ved hendelser øke betraktelig. Undersjøiske tunneler er særlig utsatt for branntilløp da kjøretøy, særlig tyngre kjøretøy med lettantennelig last, opplever varmgang i bremsesystemet på grunn av store nivåforskjeller, noe som kan føre til branntilløp og brann. Utfallet av en slik brann kan få

store konsekvenser for trafikanter innesperret i en tunnel, sammenlignet med om samme ulykke skjer i dagen. Dette gjelder særlig med tanke på spredning av røyk og begrensede rømningsmuligheter. Å sikre seg helt mot at brann skal oppstå er vanskelig, men ved å ha gode sikkerhetssystemer og innarbeide en bevisstgjøring hos trafikanter rundt selvbergingsprinsippet vil konsekvensene reduseres betraktelig om ulykken først er ute.

Sikkerhet handler i stor grad om risiko for at hendelser inntreffer, og konsekvensene av disse. Og det er nettopp konsekvensene som kan bli fatale ved en tunnelbrann. Dette er dessverre alvorlige ulykker i Oslofjord-, Gudvanga- og Skatestraumtunnelen eksempler på. Funksjonen på de forebyggende tiltakene som omhandler blant annet tunnelens geometri og konstruksjon, sikkerhetssystemene og den tekniske utrustningen er helt avgjørende for oppnå det nødvendige sikkerhetsnivået og dermed unngå slike ulykker (Vegdirektoratet, 2014). Bygningstekniske forskrifter og utforming en viktig del av denne prosessen, både i nye tunneler og tunneler under renovering.

For alle riksveitunneler lengre enn 500 meter ble det 15. mai 2007 innført forskrift om minimum sikkerhet (Lovdata, 2007). Forskriften er basert på EU-direktivet som stiller krav til sikkerheten i tunneler på det transeuropeiske veinettverket, TERN. Gjennomføringen førte frem til et mål om null drepte i trafikken (nullvisjonen), og at trafikantene skulle sikres en minimums sikkerhetsstandard i tunnelene på riksvei. Det ble samtidig oppfordret til at disse forskriftene også skulle gjøres gjeldende for tunneler på fylkes- og kommunal vei.

Gjennom oppgraderinger skal sikkerheten i norske veitunneler forbedres i henhold til Tunnelsikkerhetsforskriften. Den undersjøiske Tromsøysundtunnelen som går mellom Tromsøya og fastlandet i Tromsø kommune, er valgt som utgangspunktet for denne oppgaven fordi den har betydelig stigningsgrad og høy årsdøgntrafikk med flere registrerte ulykker. Over to år skal det gjøres store sikkerhetsmessige forbedringer i tunnelen for å redusere risikoen og oppfylle nye sikkerhetskrav, blant annet ved installasjon av ny belysning og ventilasjon, samt kameraovervåkning med automatisk hendelsesdetektering. Om brannsikkerhetsnivået er godt nok når tunnelen åpner for trafikk igjen, eller om andre tiltak burde vært tatt med som en del av denne oppgraderingen for å sikre trafikantene bedre, vil bli forsøkt belyst gjennom oppgaven.

1.2 Problemstilling

Problemstillingen for oppgaven er brannsikkerhet i Tromsøysundtunnelen. Det skal undersøkes om tunnelen har et tilstrekkelig brannsikkerhetsnivå etter at oppgraderingen er ferdig, eller om ytterligere tiltak burde vært implementert.

1.3 Forskningsspørsmål

Det er utarbeidet tre forskningsspørsmål som ligger til grunn for oppgavens innhold:

- **Hvilke forskrifter og krav er gjeldende ved oppgraderingen av Tromsøysundtunnelen?**
- **Hvilke faktorer påvirker sikkerheten for trafikanter i tunnelen?**
- **Vil brannsikkerheten være på et tilfredsstillende nivå etter oppgraderingen?**

1.4 Formål

Målet med oppgaven er å undersøke og drøfte sikkerheten i Tromsøysundtunnelen etter oppgraderingen. Oppgaven skal kartlegge sikkerhetsnivået og effekten av tiltak i Tunnelsikkerhetsforskriften for tunnelen. Det skal samtidig rettes fokus mot adferd ved uforutsette hendelser, slik at trafikanter blir oppmerksomme på bruken av de sikkerhetstiltak som er installert i tunneler for å gi en tryggere gjennomfart.

Med bakgrunn i dette skal følgende gjennomgås:

- **Redegjøre for aktuelle forskrifter og krav som ligger til grunn ved oppgradering til ny sikkerhetsstandard i Tromsøysundtunnelen.**
- **Beskrive og vurdere hvilke faktorer som påvirker sikkerheten for trafikanter i tunnelen.**
- **Kartlegge endringene i brannsikkerhetsnivået etter oppgraderingen.**

1.5 Begrensninger

Følgende begrensninger ligger til grunn for oppgaven:

- Oppgaven dreier seg i hovedsak om preventive sikkerhetssystemer og utstyr for selvberging ved hendelser, og ikke om redningsinnsats fra nødetatene.

- En forenklet analyse av brannsikkerheten i tunnel gjennomføres, som naturlig ville vært en del av en mer detaljert risikoanalyse om tunnelen.
- Innsamlet data er begrenset i forhold til tilgjengelig tid.
- Oppgaven tar ikke for seg forhold som er manglende eller dårlig med tanke på tekniske feil på bilen.

1.6 Struktur

Kapittel 1 innledes med bakgrunnen for oppgaven, fortsetter med problemstillingen og belyser forskningsspørsmålene. Avslutningsvis kommer formål, begrensninger og struktur.

I kapittel 2 er teorien som brukes videre i oppgaven presentert, med en kort innføring i risikoreduksjon og hva som ligger til grunn for risikoanalyse.

Kapittel 3 beskriver metoder og fremgangsmåter som ligger til grunn for oppgaven. Her fremkommer hvordan datainnsamlingen og dokumentgjennomgangen er gjennomført. Det er også tatt med eksempler på tidligere ulykkeshendelser i tunneler for å belyse konsekvensene av en brann.

Kapittel 4 innleder med informasjon om samarbeidspartner Statens vegvesen og Veitrafikksentralen som svært viktige aktører i sikkerhetsarbeidet. Videre gis en innføring i og beskrivelse av grunnleggende teori om tunneler og utforming. Så beskrives sikkerhetssystemene med tanke på brann og røykutvikling. Grunnleggende forskrifter og krav som er relevant for oppgavens innhold presenteres. Til slutt gis det en beskrivelse av Tromsøysundtunnelen og oppgraderingen.

Kapittel 5 tar for seg resultatene fra arbeidet med utgangspunkt i forskningsspørsmålene. Det er delt opp i tre seksjoner som hver forsøker å begrunne synspunktene fra forskningsspørsmålene. Diskusjonen omhandler sentrale momenter i sikkerhetsforskriften med bakgrunn i forskrifter og krav. Forhold som påvirker sikkerheten i tunnelen, særlig da med tanke på brann, er drøftet. Til slutt er det gjort en risikoanalyse på Tromsøysundtunnelen for å sammenligne sikkerhetsnivået før oppgraderingen med når den står ferdig.

Kapittel 6 tar for seg konklusjonen fra resultatene, samt noen forslag til videre arbeid.

Til slutt er det 4 vedlegg med oppgaven:

Vedlegg 1: Oversikt over datainnsamling i form av øvelser og møter

Vedlegg 2: TUSI-beregning for Tromsøysundtunnelen.

Vedlegg 3: Forslag til opplysningskampanje for adferd i tunnel

Vedlegg 4: Tiltaksplan - tunnel i forhold til oppgradering etter Tunnelsikkerhetsforskriften

2. Teori

Kapittelet gir en innføring i teori og forskning som er relevant for problemstillingen. Det presenteres sentrale begreper innenfor risikovurdering og risikoanalyser. Formålet med kapittelet er å gi leseren et teoretisk grunnlag for videre diskusjon gjennom oppgaven.

2.1 Risiko

Vei legges gjennom tunnel slik at rasutsatte områder, sommer som vinter, unngås og gir en tryggere strekning. Det bygges også stadig nye undersjøiske tunneler, og Ryfasttunnelen i Stavangerdistriktet blir nå verdens lengste og dypeste tunnel for biltrafikk (Andersen, 2016). Prosjektet skal stå ferdig i 2019, og tunnelen vil da ligge 292 meter under havet. Med slike prosjekter som strekker seg lenger og dypere enn tidligere, følger også strenge krav til risikovurderinger for å ivareta sikkerheten til trafikantene.

Risikobegrepet benyttes i ulike sammenhenger, og definisjonen er avhengig av konteksten det brukes i. Risiko beskrives ved kombinasjonen av mulige fremtidige hendelser (sannsynlighet) eller konsekvenser, med tilhørende usikkerhet. Statens vegvesen (2013) definerer risiko som *”den fare som uønskede hendelser/tilstander representerer for mennesker, miljø eller materielle verdier. Risikoen uttrykkes ved sannsynlighet for, og konsekvensene av, de uønskede hendelsene”*. Ut fra dette kan konseptet for risiko illustreres ved følgende ligning:

$$Risiko = Sannsynlighet \times Konsekvens \quad (1)$$

Risiko uttrykkes dermed som sannsynlighet for at en uønsket hendelse inntreffer, og konsekvensene av den. Risiko forteller noe om fremtiden, og en risikovurdering sier noe om hva man tror vil skje fremover basert på dagens kunnskap (Statens vegvesen, 2013). I denne konteksten kan risiko beskrives gjennom antatt frekvens av ulykker relatert til brann i tunnel og alvorlighetsgrader på disse. Gjennom risikovurdering fremkommer det hvilke uønskede hendelser som kan inntreffe, hvor ofte det kan skje og hvilke konsekvenser den kan få. Sikkerhet i vegg-tunneler omhandler dermed en risiko for at hendelser inntreffer, samt omfanget av disse hendelsene. Risiko baseres på historiske data som legger en prediksjon på hva som vil skje fremover (Rausand & Utne, 2009). Det er vanskelig å vite eksakt hva, men man antar at noe kan komme til å skje i fremtiden. For å angi denne usikkerheten benyttes sannsynlighetsutsagn, hvor sannsynligheten bør knyttes opp til observerbare størrelser og hendelser som har skjedd. En risikoforståelse er basert på historiske data, men også på kunnskap og

overraskelser, som gir en utvidet forståelse av risiko. Å predikere et brannforløp i tunnel med påfølgende reaksjon fra trafikanter vil ikke gi eksakte svar, noe som kan føre til at den tilgjengelige rømningstiden kan avvike fra det som predikeres.

2.2 Akseptkriterium for risiko (ALARP)

Risikoakseptkriterier er verbale eller tallfestede uttrykk som setter grenser for hvilken risiko som er akseptabel eller ønskelig. Kriteriene uttrykkes gjennom forskrifter og bedriftsinterne krav (Aven, Pålitelighets- og risikoanalyse, 2006). Et risikoestimat for en tunnel vil i seg selv ha en begrenset verdi fordi det er basert på statistikk og personlige vurderinger. Estimatet må sammenlignes med andre risikoverdier eller risikoakseptkriterier, for at det skal kunne brukes som beslutningsverktøy. Risikoakseptkriterium er definert på følgende måte i Standard Norge sine "Krav til risikovurdering":

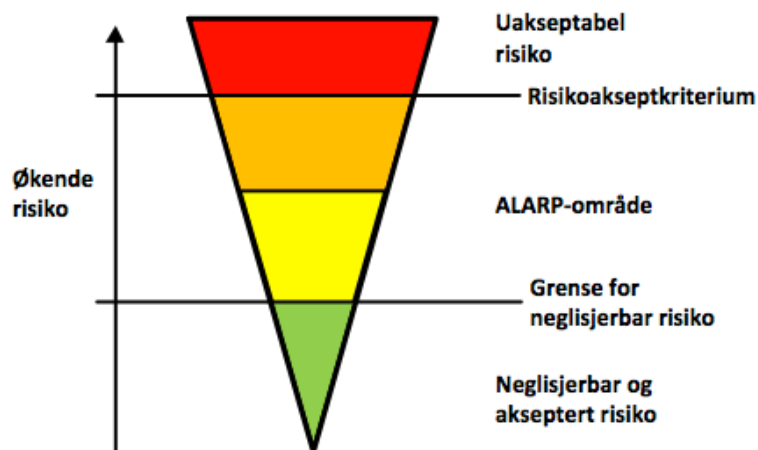
Kriterium som legges til grunn for beslutning om akseptabel risiko. Risikoakseptkriterier kan uttrykkes med ord eller være tallfestet, eller ved en kombinasjon av disse, for eksempel som ulike soner i en risikomatrise.

De fleste risikoakseptkriterier har ikke noe skarpt skille mellom akseptabel og uakseptabel risiko. Det defineres en øvre grense for risiko som er grensen mot uakseptabel risiko, og en nedre grense som er grensen mot akseptabel risiko. I intervallet mellom akseptabel og uakseptabel, skal risikoen reduseres så mye som praktisk mulig. Dette området omtales som ALARP-området, As Low As Reasonably Practible (Statens vegvesen, 2014). Gjennom en slik ALARP-vurdering skal risikoen reduseres så langt som praktisk mulig. Dette oppnås ved å følge en dokumentert og systematisk prosess hvor nytten ved å innføre tiltaket vurderes i forhold til ulempen eller kostnaden. ALARP-prinsippet innebærer "omvendt bevisbyrde", som vil si at identifiserte tiltak skal implementeres, med mindre det kan dokumenteres at det er et urimelig misforhold mellom kostnader/ulempen og nytte (Aven, Røed, & Wiencke, Risikoanalyse, 2010).

Det er ikke fastsatt eksakte vurderingskriterier for risiko i Statens vegvesen. De løsninger som gjøres er bestemt ut fra flere forhold som standarder og normaler, nullvisjonen i trafikkikkerhetsarbeidet og fagkunnskap om hvilke løsninger som er optimale til de omgivelsene de skal fungere i. Gjennom Stortingets vedtak i forbindelse med behandling av Nasjonal Transportplan fremkommer en visjon om "et transportsystem som ikke fører til tap av liv eller varig skade" – Nullvisjonen (Statens vegvesen, 2010). Gjennom denne stilles det krav til sikre veier og tunneler, hvor utformingen skal lede til sikker adferd. Dette er en klargjøring av at det er moralsk og etisk uakseptabelt at folk blir drept eller hardt skadet i trafikkulykker.

Løsningene som skal brukes for å oppnå dette skal være logiske og letteste for trafikanter og redusere sannsynligheten for feilhandlinger (Vegdirektoratet, 2007). Veien skal gi trafikantene nødvendig informasjon uten å være stressende, og skal invitere til ønsket fart gjennom linjeføring, utforming og fartsgrenser. Utformingen i tunnelen skal beskytte mot alvorlige konsekvenser av feilhandlinger. Veien skal ha beskyttende barrierer som "tilgir" en feilhandling. Fartsnivået skal være tilpasset veiens sikkerhetsnivå og menneskets tåleevne. Det skal være enkelt å handle riktig og vanskelig å gjøre feil.

Figur 1 under viser risikoområdene fra neglisjerbar og akseptert risiko nederst i grønn sone, ALARP-området i midten, til det øverste røde området som er uakseptabel risiko.



Figur 1 ALARP-prinsippet (Rausand & Utne, 2009)

Rausand og Utne (2009) forklarer ALARP-prinsippet basert på en målbar individuell risiko for en gitt operasjon. Dette deles opp i tre områder:

1. Et ikke-akseptert område hvor risikoen kun er akseptert under ekstraordinære omstendigheter. For å kunne starte opp (eller fortsette) drift her, må risikoreduserende tiltak iverksettes.
2. Området i midten kalles ALARP-området. Her beskrives risikoen som tolererbar hvis nytteverdien av virksomheten er betydelig. Forutsetningen er at det innføres risikoreduserende tiltak såfremt kostnadene ikke er uforholdsmessig stor i forhold til risikoreduksjonen som oppnås.
3. I det nederste området er risikoen lav og generelt akseptert. Her er det ikke lenger nødvendig å identifisere og analysere risikoreduserende tiltak.

Skillet mellom det ikke-akseptable området og ALARP-området kalles øvre toleransegrense, mens skillet mellom ALARP-området og det generelt aksepterte området kalles nedre toleransegrense (Rausand & Utne, 2009). Gjennom Tunnelsikkerhetsforskriften stilles det konkrete krav til utforming av tunnel og nødvendig sikkerhetsutstyr. Kravene iverksettes som et minimum for å sikre et minstenivå for sikkerhet i alle tunneler, og vil havne innenfor ALARP-området på Figur 1. Nullvisjonen brukes som utgangspunkt til akseptkriteriet i grønn sone.

2.3 Analysemetode for risiko

En risikoanalyse gjennomføres for å kunne ta bevisste beslutninger med hensyn til sikkerhet, og baseres på faglige vurderinger og erfaringer. Risikoanalysen skal belyse risikobildet ved å identifisere uønskede hendelser, årsaker til disse og mulige konsekvenser med tilhørende sannsynlighet. En av de viktigste oppgavene innen risikoanalyse er å påvise svakheter og farer i et spesifikt system. Etterhvert som teknologien utvikler seg kan kompliserte systemer medføre at hendelser og reaksjoner, som isolert sett vil være ufarlige, virker sammen og påvirker hverandre (Aven, Pålitelighets- og risikoanalyse, 2006).

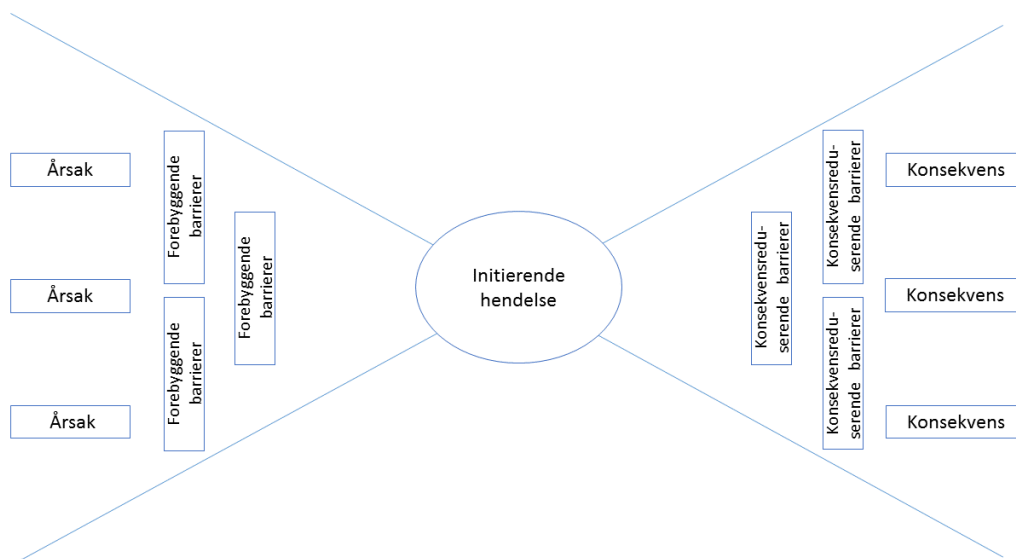
Sikkerhet er selve grunnsteinen i oppgaven og kan ha mange ulike betydninger avhengig av situasjoner begrepet brukes i. Det kan være sikkerhet mot skader og tap som følge av mer eller mindre tilfeldige hendelser som for eksempel feil på tekniske systemer. Det kan også være sikkerhet mot skader og tap fra bevisste og ondsinnede handlinger. Gjennom oppgaven vil sikkerhet omtales som evnen til å unngå skader og tap som følge av uønskede hendelser. Hvor høy eller lav sikkerheten er/vurderes å være (sikkerhetsnivået), påvirker hvor høy risikoen er/vurderes å være; høy risiko innebærer lav sikkerhet (Aven, Pålitelighets- og risikoanalyse, 2006).

Det er benyttet en metode i fem trinn for risikovurderingen. Metoden bygger på en HAZID-studie. Hazard Identification (HAZID) er en systematisk analyse av hvordan et system i seg selv eller avvik fra konstruksjonsbetingelsene for et system kan oppstå, og hvorvidt disse avvikene kan forårsake risikoforhold. En metodisk gjennomgang av analyseobjektet med personer som har inngående kunnskap, identifiserer de faremomenter og områder der risikoreduserende tiltak er aktuelt. Som resultat fremkommer risikogjennomgang av analyseobjekter på ulike nivåer i en gruppe med relevant kompetanse. Metoden utføres i fem trinn og på to nivåer, som vist i Figur 2 under.



Figur 2 Metode for risikoanalyse (Vegdirektoratet, 2007)

Første nivå er en overordnet gjennomgang av objektet for å identifisere risikofaktorer. Hensikten er å kartlegge risikonivå og risikobilde for tunnelen som grunnlag for valg av løsninger, og identifisere elementer som bidrar til risiko. Dette er knyttet opp mot sikkerhetsgodkjenning av tunnelen, Tunnelsikkerhetsforskriften og dens krav i forhold til oppgradering. En slik risikoanalyse skal belyse risikobildet, også kalt bow-tie. Måten dette utføres på avhenger av metoden som benyttes og hva resultatene skal brukes til, men hensikten er alltid den samme; å få en best mulig forståelse av risikobildet (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007). Figur 3 viser eksempel på et risikobilde, som kan vise seg å være komplisert i ulike sammenhenger med flere ulike faktorer som spiller sammen.



Figur 3 Eksempel på risikobilde (bow-tie) (Aven, Røed, & Wiencke, Risikoanalyse, 2010)

Venstre side av figuren illustrerer årsakene som leder opp til den uønskede hendelsen. De ulykkesforebyggende barrierene skal hindre den uønskede hendelsen å inntreffe. På høyre side er utviklingen eller konsekvensen av en hendelse, med tilhørende barrierer. De konsekvensreducerende barrierene på høyre side skal hindre den initierende hendelse i å oppstå. Hendelsesforløpet vil utvikle seg på ulike måter avhengig av flere faktorer som sikkerhetsutstyr, hvor i tunnelen ulykken skjer, værforhold, tid på døgnet etc. (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007). Noen av scenariene kan få alvorlige konsekvenser hvis de skulle inntreffe.

Hendelsestreakanalyse brukes til å synliggjøre mulige hendelsesforløp til en initierende hendelse. En slik analyse gjennomføres ved å stille en rekke spørsmål der svaret enten er "ja" eller "nei". Slike spørsmål kalles ofte grensspørsmål. De ulike hendelsesforløpene eller scenariene fremkommer ved de ulike kombinasjonene av "ja"-svar og "nei"-svar på grensspørsmålene. Spørsmålene blir stilt slik at det "ønskede" svaret er enten opp eller ned for alle grensspørsmålene (Aven, Røed, & Wiencke, Risikoanalyse, 2010).

En risikomatrix er en systematisk nivåinndeling som viser ulike konsekvensnivå, sannsynlighetsnivå og det risikonivå ulike kombinasjoner av de to første representerer. Dette er en forenklet måte å estimere og uttrykke risiko på. Tabell 1 viser et eksempel på hvordan en risikomatrix kan se ut.

Tabell 1 Eksempel på risikomatrixe (Vegdirektoratet, 2007)

Konsekvens Sannsynlighet	Lettere personskade	Alvorlig personskade	Personskade varig men	En eller flere drepte
Minst en gang pr år	Orange	Rød	Rød	Rød
En gang hvert 5. år	Gul	Orange	Rød	Rød
En gang hver 10. år	Grønn	Gul	Orange	Rød
Sjeldnere enn hvert 100. år	Grønn	Grønn	Gul	Orange

Konsekvenser er uttrykk på radene og sannsynligheten på kolonene nedover. Gjennom risikomatrixen vil de ulike risikoene kategoriseres ved hjelp av fargekoder:

- Rød: Tiltak nødvendig
- Orange: Tiltak skal vurderes
- Gul: Tiltak bør vurderes
- Grønn: Tiltak ikke nødvendig

Sannsynlighet betrakter fremtidige situasjoner med flere mulige utfall. I en gitt situasjon vil ett av disse mulige utfallene oppleves, uten at det på forhånd kan plukkes ut hvilke. Slike situasjoner kalles stokastiske, i motsetning til deterministiske situasjoner hvor utfallet er gitt på forhånd (Aven, Pålitelighets- og risikoanalyse, 2006). Sannsynlighet estimeres ved hjelp av erfaringsdata. I oppgaven brukes sannsynlighet til å uttrykke usikkerhet knyttet til hvor mange ulykker som vil inntreffe i løpet av et gitt tidsrom. Med ulykke menes en uønsket hendelse som medfører tap av liv eller personskade.

Konsekvensen viser til hvilke virkninger de uønskede hendelsene kan ha på systemet hendelsene oppstår i, på andre systemer og på mennesker. Dette kan gi økt belastning på andre komponenter i det tekniske systemet. Ved brann kan det forekomme trykkbølger, flammer, varme, splinter og utkast fra eksplosjonen som kan skade komponenter i nærheten. Fokuset i oppgaven har vært på konsekvensene som kan føre til tap av liv eller personskade.

Ved hjelp av matrixen vil de ulike risikoene fremkomme, og prioriteres med bakgrunn i kategori. Dersom det iverksettes tiltak vil risikoen i flere tilfeller kunne reduseres og konsekvensen bli lavere. Fremgangsmåten brukes i en forenklet risikoanalyse for Tromsøysundtunnelen mot slutten av oppgaven.

3. Metode

I dette kapittelet fremkommer arbeidsmetodene som er brukt for å underbygge diskusjonene og konklusjonene, samt rollen forfatteren av oppgaven har hatt gjennom samarbeidet med oppdragsgiver. Avslutningsvis nevnes tre eksempler på tidligere ulykkeshendelser som har ført til økt fokus på sikkerhet i norske veitunneler.

3.1 Rolle og funksjon

Forfatteren av oppgaven har bakgrunn fra bachelor i Sikkerhet og Miljø (ingeniør), og har fagbrev i serviceelektronikk. Gjennom masterprogrammet Technology and Safety in the High North var ønsket å se nærmere på temaet tunnelsikkerhet. Etter henvendelse til Statens vegvesen Tromsø ble det inngått et samarbeid om en oppgave som omhandlet tunneler og deres sikkerhetssystemer. Tromsøysundtunnelen ble et naturlig valg som case-studie da denne er under oppgradering i henhold til et allerede planlagt oppgraderingsprosjekt, samt nye krav gjennom tunnelsikkerhetsforskriften.

3.2 Datainnsamling

Datainnhenting er gjort ved å gjennomgå sentrale dokumenter og lovverk som Statens vegvesen er pålagt å følge ved bygging av ny tunnel, eller oppgradering av eksisterende. Disse dokumentene er forskrifter for planlegging, bygging, drift og vedlikehold av tunnelene, samt håndbøker og veiledere for risikoanalysemetodikk. Norges største brannhendelser i tunnel de siste årene er beskrevet, og ulykkesstatistikken er hentet fra Tromsøysundtunnelen.

Kvalitative metoder bygger på teorier om fortolkning og menneskelig erfaring, og omfatter ulike former for systematisk innsamling, bearbeiding og analyse av materialer på bakgrunn av samtaler, observasjoner eller tekst (De nasjonale Forskningsetiske komiteene, 2010). De kvantitative metodene forholder seg mer til kvantifiserbare størrelser som systematiseres ved hjelp av ulike former for statistisk metode. I oppgaven er det benyttet en kvalitativ metode, basert på noe kvantitative data som ulykkesstatistikk. I starten ble det brukt mye tid på innhenting av data gjennom rapporter, håndbøker og generell risikoteori. Det ble laget en innføring i utforming av tunneler, som er presentert gjennom en "tunnelskole" for å gi leseren et innblikk i hvor kompleks et tunnelsystem er og hvilke systemer som påvirker hverandre.

Det er gjennom møter med veileder og fagpersonell hos Statens vegvesen avdekket status på sikkerhetssystemene og evakuering ved en eventuell brann, både generelt i norske tunneler og i Tromsøysundtunnelen spesielt. Forfatteren av oppgaven har deltatt i flere risikomøter for å få innblikk i fremgangsmåten på risikomomenter som påvirker brukerne i tunnel, innhentet kompetanse innenfor SVV og tilknyttede ressurser, samt befart spesielt utsatte objekter med tanke på risiko (se Tabell 2 under). En mer detaljert oversikt over møtene med deltakere ligger som vedlegg 1. Det har vært en tidkrevende, men helt avgjørende prosess, for å få snakket med de riktige ressurspersonene og innhentet et godt nok grunnlag for diskusjonene senere i oppgaven.

Tabell 2 Oversikt over datainnsamling i form av øvelser og møter

Oversikt over datainnsamling i form av øvelser og møter		
Dato	Type og sted	Beskrivelse
8. oktober 2015	Befaring Ryatunnelen	Gjennomgang av sikkerhetssystemer.
21. desember 2015	Risikovurdering Olderdalen om tunnelene Skardal, Isfjell og Larsberg	Vurdering av risikomomenter og utfordringer for redningsinnsats i tunnel.
11. februar 2016	Tromsøysundtunnelen, Tromsø	Befaring for å se fremdriften i det ene tunnellopet som er under oppgradering.
1. mars 2016	Øvelse Breivikatunnelen (Tromsø)	Test av stenging av tunnel og brannventilasjon, samt test av røykgranater sammen med nødetatene.
3. mars 2016	Øvelse sentrumstangenten (Tromsø)	Test av stenging av tunnel og brannventilasjon, samt realistisk branntilløp med røykutvikling sammen med nødetatene.
4. april 2016	Møte og omvisning hos Veitrafikksentralen i Oslo	Arbeidsmetoder, rutiner og utfordringer ved de ulike Veitrafikksentralene.
5. april 2016	Befaring Oslofjordtunnelen	Sikkerhetsrutiner og utradisjonelle evakueringsløsninger. Samtaler med fagpersonell.

12. – 13. april 2016	Risikoanalyse av Hålogalandsveien i Harstad	Risikomomenter i tunnel og langs vei, utfordringer og tiltak for å redusere risikoen.
----------------------	---	---

For å mer innsikt i de ulike sikkerhetssystemene og informasjonsformidling fra hendelser og ut til trafikanter ble det brukt noen dager i Oslo med besøk på Veitrafikksentralen og befaring i den svært risikoutsatte Oslofjordtunnelen. Tunnelen er Norges sikreste en-løps undersjøiske tunnel hvor det er brukt mye ressurser for å bedre sikkerhetsnivået etter flere alvorlig hendelser. Dette gir et godt sammenligningsgrunnlag mot Tromsøysundtunnelen, som har to løp. Brannvernlederen har inngående erfaring med brannhendelser i tunnel og nye sikkerhetssystemer, og det ble også drøftet aktuelle problemstillinger knyttet til Tromsøysundtunnelen.

De ulike Veitrafikksentralene er viktige aktører i det aktive sikkerhetsarbeidet for tunneler i Norge. Det var derfor svært nyttig å få inngående kunnskap om deres arbeid og de problemstillingene de står overfor i det daglige arbeidet.

Øvelsene har vært et nyttig bidrag til forståelsen av hvordan stenging av tunnel, brannventilasjon, røykutvikling og ulike evakuerings- og sikkerhetsløsninger vil fungere i praksis. Informasjonen fra fagpersonell er hentet inn gjennom faglige samtaler (ikke intervjuer), øvelser, møter og befaringer. Dette har vært svært nyttig for å gi forfatteren av oppgaven en grundig forståelse av sikkerhetssystemer i tunnel og er brukt som en del av grunnlaget i resultater og diskusjon.

I selve analysen er Nasjonal veidatabank (NVDB) brukt som datagrunnlag for å innhente opplysninger om registrerte trafikkulykker med personskade i Tromsøysundtunnelen. Statistikken har direkte relevans for oppgaven da trafikkulykker har potensial til å utvikle seg til større branner med alvorlig røykutvikling. STRAKS er Statens vegvesen registrerings- og rapporteringssystem for trafikkulykker. Systemet inneholder data fra politiets "Rapport om vegtrafikkuhell" og er det sentrale grunnlaget for det systematiske trafiksikkerhetsarbeidet i etaten. Systemene og ulykkene beskrives ut fra et perspektiv på brannsikkerhet med tanke på evakuering og redning, samt preventivt sikkerhetsutstyr.

Videre omtales de tre største ulykkeshendelsene i Norge hvor kjøretøyer har stått i brann inne i tunnel.

3.3 Eksempler på tidligere ulykkeshendelser

Under omtales de tre siste store ulykkeshendelser fra norske veitunneler for å illustrere mulige forløp og konsekvenser av brann i tunnel. Hendelsesforløpet og konsekvensene blir beskrevet med eventuelle tiltak som ble innført i ettertid for å heve sikkerhetsnivået og forebygge lignende hendelser.

3.3.1 Oslofjordtunnelen

Oslofjordtunnelen er en av de norske tunnelene med flest branner og branntilløp fra 2008 til 2011. Tunnelen er 7306 meter lang med største stigningsgrad på 7 %. Av femten registrerte branner og tilløp, var tunge kjøretøy involvert i 10 av disse (Nævestad & Meyer, 2012).

Torsdag 23. Juni 2011 begynte det å brenne i et vogntog inne inne i tunnelen. Et polskregistrert vogntoget var lastet med returpapir og kjørte fra Hurum mot Drøbak (Tollefsen, 2016). I stigningen på vei opp mot Drøbak oppdaget sjåføren brannen, omtrent 1.7 kilometer fra tunnelåpningen på Drøbaksiden. Det befant seg i alt 34 personer fordelt på 21 kjøretøy i tunnelen da brannen startet. 25 personer kom seg ut av tunnelen på egenhånd, mens de resterende 9 personene ble reddet ut av redningspersonell. Til sammen ble 32 personer kjørt til sykehuset for behandling. Brannen oppstod ved at en av veivstengene i motoren løsnet fra veivakselen og slo hull i motorblokken. Det gikk hull på et dieselryr og en ledning kortsluttet ved siden av motoren. Etterhvert ble oljedamp og diesel antent av varme motordeler og gnister fra ledningen (SHT, 2015). I følge rapporten fra Statens Havarikommisjon for transport (SHT) var branneeffekten på opp mot 130 MW. Dette defineres som storbrann.



Figur 4 Sjåføren prøver å slukke brannen i Oslofjordtunnelen i 2011 (Visnes, 2015)

Hendelsen ble fanget opp av kameraene i tunnelen (se Figur 4) og Veitrafikksentralen fikk raskt stengt av tunnelen, iverksatt brannventilasjon slik at røyken ble styrt ut, samt varslet nødetatene (Ødegaard, 2016). Det ble også varslet om evakuering over radio til trafikantene i tunnelen. Sjåføren prøvde selv å slukke brannen, men måtte gi opp og evakuere. Brannventilasjonen ble etterhvert satt i standard ventileringsretning, slik at brannvesenet kunne angripe med frisk luft i ryggen. Dette førte til at 5,5 km av tunnelen ble fylt med tykk røyk på motsatt side av brannen og det oppstod problemer under evakueringen for trafikanter. Brannvesenet fra Hurumsiden fikk også problemer grunnet manglende sikt på "motstrømssiden" og herunder fare for å bli påkjørt av evakuerende kjøretøy.

Redningsmannskaper har i ettertid uttalt at det var rene tilfeldigheter som gjorde at hendelsen ikke førte til tap av menneskeliv. Gjennom undersøkelser i etterkant av brannen fremkom det at Oslofjordtunnelens sikkerhetsnivå ikke var tilstrekkelig vurdert i forhold til trafikkbildet i tunnelen, samt at den risikobaserte sikkerhetsstyringen ikke var tilfredsstillende (SHT, 2013).

Følgende sannsynlighetsreducerende tiltak ble installert i etterkant av brannen:

- Tunnelens innkjøringssoner skiltet ned til 40 km/t
- Nedsatt hastighet til 70 km/h gjennom hele tunnelen
- Digitale fartsskilt for bruk ved hendelser
- Forbikjøring forbudt for tunge kjøretøy på vei opp i stigning
- Automatisk trafikkkontroll (ATK) i begge retninger
- Fartsdumper på hver siden av tunnelen
- Skiltet og merket i veibanen "Low gear"
- Etablert rumlefelt i tunnelen

3.3.2 Gudvangatunnelen

Gudvangatunnelen er Norges nest lengste veitunnel og ligger på E16 i Gudvanga, Sogn og Fjordane. Dette er en ettløpstunnel med 6 meter kjørebanebredde, med en ÅDT på 2016 kjøretøy, hvor 25 % av disse er tyngre kjøretøy. Stigningen er på 3,5 % fra Gudvangen mot Flåm. Av sikkerhetstiltak er det mobildekning, radiosamband og redningskanaler, samt 18 havarinisjer, 42 brannslukkingsapparater, 20 nødtelefoner og 92 vifter installer i tunnelen. Veitrafikksentralen har også mulighet til å kommunisere med bilistene via FM-båndet (DSB, 2014).

5. august 2013 oppsto det en brann i en polskregistrert lastebil som tok fyr 2-3 kilometer inn fra Undredal-siden, i den 11.4 kilometer lange tunnelen. Det ble iverksatt en stor redningsaksjon og 70 mennesker ble sendt til sykehusene i Lærdal, Førde, Bergen og Voss. 24 av disse var kinesiske passasjerer i en turistbuss i tunnelen. Tunnelen ble stengt i 6 uker (Jakobsen, 2015). I følge en presentasjon av SHT, fikk brannvesenet melding om brannen klokken 12:02, og klokken 12:06 ble ventilasjonsretningen mot Gudvangen bekreftet. Da brannvesenet ankom stedet 12:30, var alle trafikanter som befant seg mellom vogntoget og utgangen, 2,8 kilometer i retning Flåm, evakuert. I retning Gudvangen, på nedsiden av lastebilen, befant det seg 67 trafikanter som ble fanget. Røyken beveget seg med en hastighet på 2,5 m/s (SHT, 2015). I følge Statens vegvesen sto den opprinnelige ventilasjonsretningen styrt mot Flåm, men brannsjefen snudde den i tråd med beredskapsplanen da han var av den oppfatning at brannen var nærmere Gudvangasiden. Redningspersonell kunne da gå inn fra Flåmsiden av tunnelen, med det resultat at de fleste trafikantene i tunnelen ble fanget i røyken i opptil 2 timer (DSB, 2014). Den polske vogntogsjåføren ble siktet for å ha kjørt et kjøretøy som ikke var i forsvarlig stand, men saken mot han ble senere henlagt.

Det oppsto nok en brann 11. august 2015 i samme tunnel. En svensk turistbuss tok fyr 500 meter inne i tunnelen fra Flåm siden. Fem personer ble sendt til sykehuset, hvorav 4 av dem med alvorlige røykskader. I alt 37 personer befant seg inne i tunnelen da brannen startet, 32 av disse var utenlandske turister i bussen. Det var blant annet to vogntog, en buss til og en bil med campingvogn samtidig inne i tunnelen. Det ble slått full katastrofealarm på sykehuset i Lærdal og Voss sykehus ble satt i beredskap. Tre luftambulanser ble sendt til stedet, et helikopter som fraktet brannmannskap, samt et Sea King redningshelikopter i beredskap. Brannen ble slukket kl. 1530, rundt to timer etter at brannen brøt ut (Valvik, Staveland, Olsen, & Lauritsen, 2015). Gudvangatunnelen fikk store skader etter brannen og ble stengt 20 dager for reparasjon. Figur 5 under viser den utbrente bussen.



Figur 5 Den utbrente bussen etter brannen i Gudvangatunnelen, 11. august 2015 (Øyvind Gustavsen, 2015)

Etter ulykken i 2013 ble det iverksatt en rekke tiltak for å begrense skadeomfanget og bedre evakuering (Valvik, Staveland, Olsen, & Lauritsen, 2015):

- Fartsgrensen ble redusert fra 80 til 70 km/t
- Veggene ble malt hvite for bedre refleksjon
- Belysningen i inngangssonene ble forsterket
- Det ble lagt ny fiberkabel for kommunikasjonssystemene
- Reetablering av nødnett med full dekning i hele tunnelen
- Profilerte kant- og midtlinjer
- Nødstasjonene ble oppgradert med to brannslukkere
- Det ble montert fjernstyrte bomber utenfor portalene
- 14 videokamera ble montert slik at de dekket havarilommer og snunisjene

Flere av disse tiltakene fungerte da brannen i 2015 oppsto. Det røde lyset blinket og bommene gikk ned umiddelbart etter at vegtrafikkentralen fikk melding om brannen, skiltene i tunnelen ble aktivert, og både vifter og nødnett fungerte godt (Bjørnstad & Jakobsen, 2015).

3.3.3 Skatestraumtunnelen

Skatestraumtunnelen er en undersjøisk veitunnel på fylkesvei 616 i Bremanger kommune. Tunnelen går under Skatestraumen i Sogn og Fjordane, er 1890 meter lang, går 91 meter under havet og har 10 % stigning på det bratteste.

15. juli 2015 oppstod det en kraftig brann i tunnelen. Hengeren til en tankbil slet seg løs fra draget, rullet tilbake i en bakke og rett i fjellveggen. Drivstoffhengeren inneholdt 16 500 liter og eksploderte, før det brøt ut en voldsom brann. Tilhengeren traff tunnelveggen 475 meter etter oppkjøringen fra bunnen av tunnelen og dette forårsaket hull i tanken. Det rant bensin ut, som etterhvert ble antent (Mogen & Farooq, 2015). 13 personer reddet seg ut av tunnelen, og seks personer ble kjørt til Førde sykehus etter å ha inhalert røyk. Underveis brant det hull i alle tankkrommene på tilhengeren, som førte til at store mengder bensin rant ned i bunnen av tunnelen og gjennom avløpssystemet. Som et resultat av dette spredde brannen seg over en strekning på ca. 475 meter. Dette er den største brannen som noen gang har oppstått i en norsk veitunnel (Teknisk Ukeblad, 2015). Figur 6 viser den kraftige røykutviklingen fra brannen ut på ene siden.



Figur 6 Kraftig røyk velter ut av Skatestraumtunnelen 15. juli 2015 (Ingvild Teige Stiegler, 2015)

Røykutviklingen var enorm og brannen varte i flere timer. Som følge av eksplosjonen og høy varmeutvikling begynte det å lekke svært mye vann inn, og vannivået steg raskt. Redningspersonell så seg nødt til å trekke ut alt mannskap når tunnelen ble fylt med vann fordi man var bekymret for at den kunne kollapse (Mogen & Farooq, 2015). Nærmere undersøkelser gjennomført av SHT viser at materialstyrken til dragstengene på tilhengerdraget var sterkt redusert på grunn av innvendig korrosjon (Statens Havarikommisjon for Transport, 2015).

Når tunnelen gjennomåpnet etter et halvt år var følgende tiltak implementert:

- Tykkelsen på sprøytebetongen som ligger utenpå PE-skummet ble økt fra 6 centimeter til et 8 centimeter tykt lag.
- Det ble montert brannsperre mellom hver 250 meter og sprøytet med PE-skum.
- Det ble montert flere nødstasjoner med telefon og evakueringslys, samt fjernstyrte bomber på hver side av tunnelen.
- Nytt lysanlegg i halve tunnelen.

(Teknisk Ukeblad, 2015)

Dette er en av landets bratteste tunneler, og selv om det i dette tilfellet ikke var stigningsgraden som utløste brannen, er sannsynligheten for en alvorlig brann med fatale konsekvenser viktig å ta i betraktning for videre sikkerhetsutrustning.

3.3.4 Tiltak etter ulykkene

Dette er de tre siste store ulykkene med brann i tunnel i Norge. To oppsto i undersjøiske tunneler med stigningsgrad på over 7 %, mens Gudvangatunnelen har 3,5 % på det meste. Bratt veikurvatur med tungtrafikk gjennom, øker risikoen for branntilfeller. Under er tiltakene som ble besluttet innført oppsummert:

- Nedsatt hastighet
- Lysere overflater
- Bedre belysning
- Oppgraderte nødstasjoner
- Bedre kommunikasjon for nødetatene
- Kameraovervåkning

Tiltakene ble installert etter hendelsene for å redusere risikoen for at flere ulykker oppstår, samt virke konsekvensreducerende ved eventuelle fremtidige ulykker.

4. Tunnel

Dette kapittelet innleder med litt informasjon om forfatterens samarbeidspartner og Veitrafikksentralen som begge er viktige aktører for å ivareta sikkerheten. Videre beskrives bygningsstrukturen og de utfordringer som ligger til grunn for vurdering av sikkerheten i tunnel. Dette gir leseren en forståelse for tunnelers konstruksjon og plassering i de ulike tunnelklassene. En slik grunnleggende innføring må være tilstede for å forstå sammenhengen til de forskjellige systemene.

4.1 Samarbeidspartner

Statens vegvesen region nord lokalisert i Tromsø, er samarbeidspartner i denne oppgaven. SVV er en statlig etat som planlegger, bygger, drifter og vedlikeholder riks- og fylkesveier i Norge. Organisasjonen består av Vegdirektoratet og fem regioner, og har 72 trafikkstasjoner og 5 veitrafikksentraler fordelt rundt i landet (Statens vegvesen, 2016). Drift og vedlikehold er et av de viktigste fagområdene med stor betydning for framkommelighet og trafikksikkerhet på vei, bro og tunnel. SVV har ansvaret for, og drifter, ca. 1100 veitunneler i Norge. Av disse ligger 500 tunneler på riksvegnettet, hvorav 255 er lengre enn 500 meter og 47 lengre enn 3 kilometer (Statens vegvesen, 2016). De er klassifisert som spesielle brannobjekter, og det er derfor helt avgjørende av tunnelene bygges og vedlikeholdes etter gjeldende krav og forskrifter.

4.2 Veitrafikksentralen

Som en viktig aktør i trafikksikkerheten overvåker og styrer Veitrafikksentralen veier, broer og tunneler. Norge er inndelt i fem regioner: Nord, Midt, Vest, Sør og Øst, med en Veitrafikksentral i hver region. De er lokalisert i Mosjøen, Trondheim, Bergen, Porsgrunn og Oslo. Herfra formidles veimeldinger ut til trafikantene over internett, mobiltelefon, tekst-tv, radio og elektroniske skilt. Veitrafikksentralens hovedmål er å:

Bidra til å nå Statens vegvesen sine overordnede mål gjennom kontinuerlig overvåkning, fjernstyring av utstyr, varsling og formidling av informasjon om status og hendelser på veinettet, i veitrafikken og om veiens nærmeste omgivelser.

(Ødegaard, 2016)

De tar imot og betjener 700 000 telefoner fra trafikanter i året. Stikkordet er sikkerhet og framkommelighet, og fra sentralen overvåkes veinettet av operatører 24 timer i døgnet, 365 dager i året. Operatørene var tidligere mer ute langs veien, men med tiden er dette behovet endret, og i dag

styres det meste fra de fem sentralene. Etter hvert har trafikkmengden økt og betydeligere flere AID-kameraer tatt i bruk, slik at operatørene har mer enn nok med å bearbeide innkommende informasjon.

Veitrafikksentralen Øst ligger i Oslo og har ca. 2000 kameraer i sitt distrikt. Herfra overvåkes 53 tunneler, som dekkes av omtrent 80 % av den totale mengde med kameraer. De ligger lokalisert på toppen av Europas nest største tunnel, Operatunnelen, målt i antall kjøretøyer i døgnet (ÅDT: 90 000) (Ødegaard, 2016). Alt dette overvåkes ved hjelp av 10 operatører fordelt på to faggrupper; tunnelstyring og trafikkinformasjon. Operatørene bruker skjermene til å kvittere ut eller prioritere hendelser som fanges opp av kameraer, og blåse opp de som trenger videre oppmerksomhet på en 12x6 meter stor skjerm foran i lokalet. Figur 7 viser operatørplassene og oversiktsskjermen ved Veitrafikksentralen i Oslo.



Figur 7 Veitrafikksentralen Oslo.

Her kan operatørene lettere følge med på hva som fanges opp av AID og fortløpende vurdere tiltak som nedsatt hastighet, omdirigering til annet felt eller i verste fall stenging av tunnel om nødvendig.

4.3 Tunnelskole

Ved bygging av nye veitunneler følges strenge krav og regler. Håndbok N500 Vegtunneler fra Statens vegvesen ligger til grunn for utformingen, og skal sørge for at sikkerheten i norske tunneler tilfredsstiller kravene i Tunnelsikkerhetsforskriften, Brannvernloven med forskrifter, Byggteknisk forskrift TEK 10, forskrift om elektriske anlegg, samt interne pålegg i Statens vegvesen. Gjennom sikkerhetsforskriften dekkes kravene for alle tunneler over 500 meter på riksvegnettet, enten de er i prosjekteringsfasen, under bygging eller tatt i bruk. Kravene kan også gjøres gjeldende for fylkesveitunneler dersom de respektive fylkeskommunene beslutter det. I noen tilfeller vil de også gjelde tunneler under 500 meter, dette spesifiseres da (Vegdirektoratet, 2007).

4.3.1 Utforming av tunneler

Tunneler langs veinettet i Norge er en del av et større veianlegg. Tunnelprosjekter inngår i veinettet og kan deles inn i flere sekvenser. Kjøreopplevelsen fra førerretet består av bevegelse og rom som oppleves i en kontinuerlig rekke sekvenser. Dagens tunneler prosjekteres og utformes slik at kjøreturen blir en sammenhengende og positiv opplevelse (Vegdirektoratet, 2014).

Dagsonen omfatter hele området som blir berørt ved etablering av påhugg, som forskjæring i jord/berg, vegetasjon, o.l. Den omfatter også det første området innenfor portalen hvor ekstra kraftig belysning sørger for en jevnere overgang fra "vei i dagen" til begrenset dagslys i tunnel. Det samme er gjeldende på vei ut av tunnel hvor belysning gradvis øker og bilistene opplever en mer smidig overgang ut i dagslys igjen (Vegdirektoratet, 2014). Ved mørke årstider i nord eller om nettene i sør, er belysningen i dagsonen tonet ned for å gjøre overgangen mindre merkbar.

Foran en tunnel formidles informasjon til trafikantene om tunnelens lengde og lyttestasjoner. Det er viktig å unngå visuelt kaos i disse områdene slik at mengden skilt begrenses eller står i god avstand fra portalen (Vegdirektoratet, 2014). Overhengende skilt bør unngås foran portaler, med unntak av høydemarkering.

Det er verdt å bemerke seg at vei i tunnel vil skille seg fra "vei i dagen" ved blant annet

- Liten eller ingen sideaktivitet
- Andre forhold vinterstid
- Jevne lysforhold gjennom døgnet og året, bortsett fra overgang inn og ut av tunnelen
- Utfordrende å bedømme stigning og fall

- Utfordrende å bedømme avstanden til andre kjøretøy
- Tunneler fungerer som lukkede rom/systemer
- Forhold som vedrører sikkerhet, evakuering, redning etc.

Dermed er det svært viktig å velge de riktige konstruksjons- og utstyrløsninger i planleggingsfasen med tanke på drift, vedlikehold og levetidskostnader. Det må foreligge en standard utstyrløsning for tunneler av samme type og trafikkmengde, for tunneler på samme veistrekning.

Gjennom Statens vegvesen sin håndbok N500 øker kravene til standard med økende trafikkmengde og tunnellengde, og tunnelene er derfor delt inn i tunnelklasser som setter rammer for geometri og utrusting. Veiens horisontale og vertikale profil og tverrsnitts-geometri i og utenfor tunnelen, utformes spesielt med tanke på sikkerhet da disse faktorene har stor innvirkning på sannsynligheten for at ulykker skjer og alvorlighetsgraden på disse. Endeavslutning på utstøping skal utformes slik at sikkerhet ved påkjørsel ivaretas (Vegdirektoratet, 2013). Samlet lengde på bytunneler og motorveitunneler bør begrenses til maksimum 4 kilometer. Slike krav vurderes spesielt i hvert enkelt tilfelle ut fra stedlige forhold, samt nytte/kostnad for tiltakene. En dagsone på 200 meter eller mer vil være en effektiv sperre for spredning av røyk og ekstreme temperaturer i tunnelen hvis det oppstår brann.

Avstanden fra tunnelåpningen til starten på innsnevringen skal være minst den lengde et kjøretøy tilbakelegger på 10 sekunder når det kjører i høyeste tillatte fart. Hvis dette ikke er mulig å gjennomføre skal ekstra sikkerhetstiltak dokumenteres gjennom en risikoanalyse (Vegdirektoratet, 2014). Tunnelen bør ikke begynne i en vertikalkurve og som et absolutt minimum skal kravene som stilles til horisontalkurvatur på veibane, ut fra friksjon og overhøyde for fri vei, også tilfredsstilles i tunnel. I en normal tunnelprofil vil tunnelveggen utgjøre et sikthinder, og krav til sikt vil normalt bli dimensjonerende for horisontalkurveradius i tunneler. Tunneler skal ikke bygges med mer enn 5 % stigning, med unntak av undervannstunneler hvor stigningen ikke skal overskride kravene gitt i Tabell 3 under.

Tabell 3 Maksimal stigning for vei i undersjøiske tunneler (Vegdirektoratet, 2014)

ÅDT (20)	Toveis trafikk		Ensrettet trafikk	
	0 - 1 500	> 1 500	< 15 000	> 1 500
Maks stigning	8 %	7 %	7 %	6 %

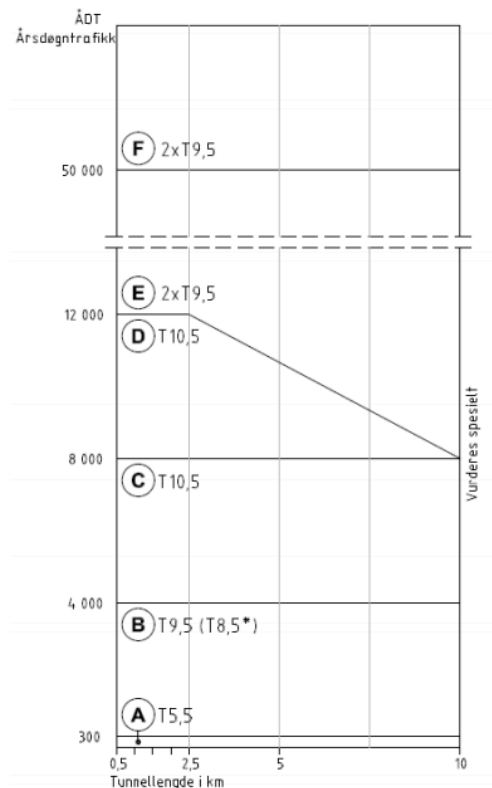
Årsdøgnetrafikken fra tabellen over viser tallene for ensrettet trafikk i begge tunnellop samlet. Trafikkmengde angis som årsdøgnetrafikk (ÅDT), som er den totale trafikkmengde pr. år dividert med 365, som sum trafikk i begge retninger. I bynære områder med typiske morgen- og ettermiddagsrush,

og tungtrafikkandelen i timen med maksimalt trafikk er mindre enn 7 %, kan ÅDT verdiene i tabellen økes med 25%. Videre angir håndbok N500 at det i undersjøiske tunneler, av lokal karakter og med små trafikkmengder, kan bygges vei med stigning opp til 10 %. I slike tilfeller skal hver enkelt tunnel godkjennes av Vegdirektoratet (Vegdirektoratet, 2014).

Antall kjørefelt i hver retning inne i tunnelen skal ikke reduseres. Et forbikjøringsfelt som påbegynnes inne i tunnelen skal avsluttes utenfor. Kravene til forbikjøring i dagen er gitt i håndbok N100, men forbikjøringer i tunnel er unntatt fra disse kravene. Det kan likevel være aktuelt å legge til rette for forbikjøring i tunnel, men det må da sørges for at sikten er tilstrekkelig eller at det anlegges ekstra kjørefelt. Behovet for forbikjøringsfelt i stigning vurderes på grunnlag av kapasitetsberegning.

4.3.2 Tunnelklasser

Alle tunnelene deles inn i tunnelklasser basert på trafikkmengde og tunnellengde, se Figur 8 under. Tunnelklassene ligger til grunn for å bestemme tunnelprofil, antall tunnellop, behov for havarinisjer, snunisjer, gangbare tverrforbindelser, antall nødutganger og sikkerhetsutrustning i tunnelen.



Figur 8 Tunnelklasser (Vegdirektoratet, 2014)

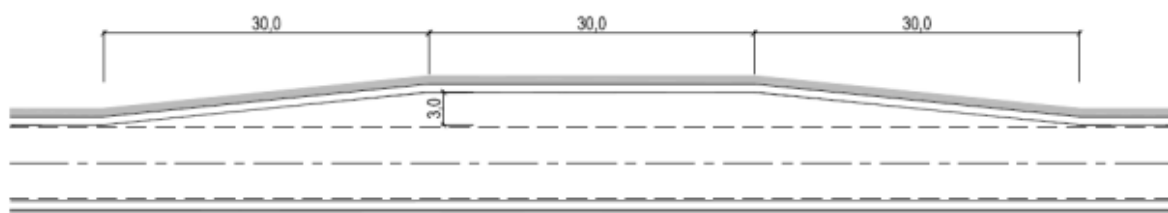
* Tunnelklasse B: Tunnelprofil T8,5 kan benyttes ved $\text{ÅDT} \leq 1\,500$, forutsatt at sikkerheten er ivaretatt (Vegdirektoratet, 2014)

Tunnelklasse velges ut fra den trafikkmengde som kan forventes over en tidsperiode på 20 år, ÅDT (20), etter at tunnelen er åpnet for trafikk. Ved varierende trafikkmengde gjennom året eller stor usikkerhet knyttet til antall kjøretøy, blir tunnelklasse valgt ut fra en spesiell vurdering basert på en risikoanalyse. Tunnelprofilene betegnes etter total bredde i kjørebane. Kravet til fri høyde i tunneler er 4.6 meter, med unntak av tunneler for gang- og sykkeltrafikk. Dette kravet gjelder vinkelrett på kjørebanen, målt ved kantstein. Tunnelklasse C og D skal ha et sperreområde med bredde 1 meter mellom kjørefeltene. Tunnelene skal bygges slik at det er tilrettelagt for inspeksjon og kontroll av bergforholdene og utført sikring bak frittstående vann- og frostsikringskonstruksjoner som monteres i tunnelens normalprofil. Det skal også være rom for skilt og tekniske installasjoner, med minimum 4.8 meters høyde for overhengende utstyr over kjørebanen. (Vegdirektoratet, 2014)

Gang- og sykkelsti skal føres i en egen tunnel, alternativt i samme tunnel adskilt med rekkverk fra biltrafikk, eller trasé i dagen. Ved tunneler kortere enn 500 meter og gang- og sykkelvei uten rekkverk mot kjørebanen, må Vegdirektoratet godkjenne dette spesielt. Gang- og sykkeltrafikk i tunneler lengre enn 4 kilometer skal også godkjennes av Vegdirektoratet, og det stilles samtidig spesielle krav til belysning og ventilasjon. Gang- og sykkelvei skilt fra kjørebanen med rekkverk skal ha fri høyde på minimum 3.0 meter og fri bredde på minimum 3.0 meter mellom rekkverk og tunnelvegg (Vegdirektoratet, 2014). I de tilfeller hvor det anlegges gang- og sykkelvei i egen tunnel skal tunnelprofil T4 brukes.

Vegskulder beskriver den delen av veiarealet som ligger utenfor kantlinjen. Den opphøyde delen av skulderen skal utføres med kantstein og asfalt eller betongdekke, med minimum 5 % fall mot kjørebanen. Kantsteinen skal være lav og ikke-avvisende, og plasseres 0.25 meter fra kjørebanekant (Vegdirektoratet, 2014).

En havarinisje skal gjøre det mulig å parkere utenfor kjørebanen ved nødstop, og skal utformes som vist i Figur 9 under (målene er oppgitt i meter).



Figur 9 Utforming av havarinisje (Statens vegvesen, 2014)

Plasseringen av slike nisjer skal tilpasses de lokale omstendighetene som bergforhold og geometri. Tekniske rom og pumpestasjon kan med fordel plasseres i havarinisjene (Vegdirektoratet, 2014). Figur 10 under viser et eksempel på et teknisk rom plassert innenfor en havarinisje i den undersjøiske Ryatunnelen utenfor Tromsø. Dette er en del av et pumperom, som benyttes for å pumpe ut sjøvann hvis forhåndsdefinert vannivå overskrides.



Figur 10 Pumperom i Ryatunnelen (Aas-Pettersen, 2015)

Snunisjer anlegges i tunneler i klasse B, C og D og over en viss lengde, slik at større kjøretøy kan snu ved plutselige hendelser eller andre behov. Havarinisjer fungerer som snunisjer for personbiler (Vegdirektoratet, 2014).

Vannsikring utføres ved avskjerming av vannet som føres ned til grøft/drenslag, og dreneres vekk fra sålen. For å kunne utnytte den varmegivende effekten som berggrunnen gir endettes alle vann- og frostsikringskonstruksjoner. Dette hindre vannlekkasje og luftstrømning med frostinntrengning bak konstruksjonene. Det brukes i dag sprøytebetong som vannavviser med en minimum tykkelse på 8 cm under påføring (Vegdirektoratet, 2006). For brannsikring brukes polypropylenfiber.

De nevnte krav ovenfor tilsier hvordan tunneler skal utføres og vedlikeholdes. Videre i dette kapittelet skal det sees på sikkerhetsutrustningen i tunneler.

4.3.3 Sikkerhetsutrustning

Tunneler skal utstyres med ulike former for sikkerhetsutstyr avhengig av hvilken tunnelklasse de kategoriseres i. Sikkerhetstiltakene under beskriver forebyggende og skadebegrensende tiltak med tanke på brannsikkerhet. Gjennom Brann og eksplosjonsvernloven betegnes tunneler som et særskilt brannobjekt og anses å utgjøre en ekstraordinær risiko.

Brannbeskyttelse

Følgende krav til brannbeskyttelse for betong og sprøytebetong er gitt for en dimensjonerende brann, se tabell under. Kravene er helt avgjørende for at viftekapasiteten og tunnelens mekaniske ventilasjonsanlegg skal kunne utføre optimal utlufting ved en brann.

Tabell 4 Krav til brannbeskyttelse (Vegdirektoratet, 2006)

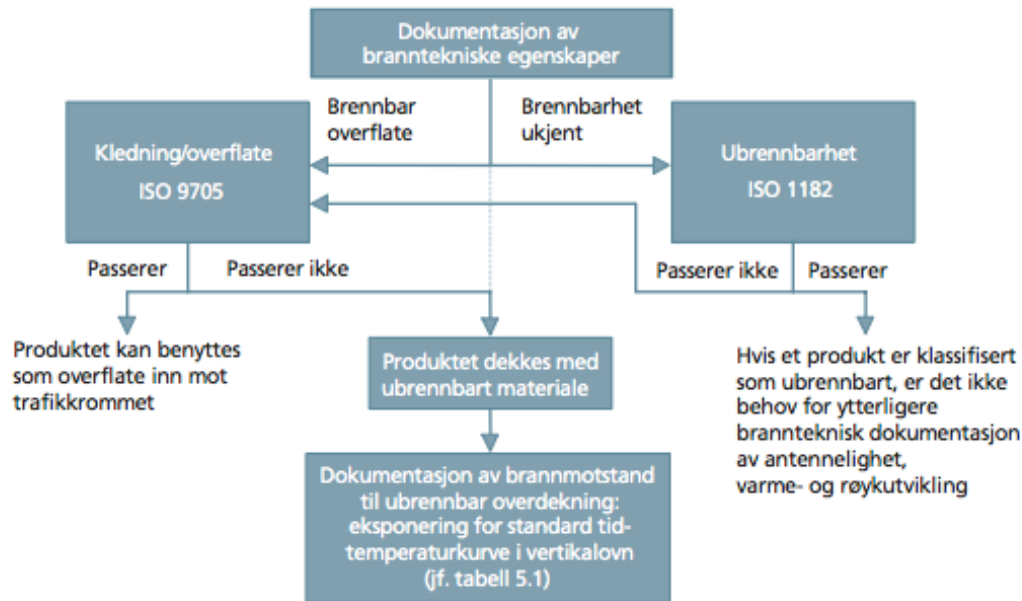
Tunnelklasse	ÅDT (opptil)	Dimensjonerende brann Brannventilasjon, Mega Watt (MW)	Brannbeskyttelse av isolasjon	
			Eksponeringskurve	Tid i minutt
A	300	20	ISO 834	60
B	4000	20	ISO 834	60
C	8000	50	HC	60
D	12000	100	HC	60
E	15000	50	HC	60
F		100	HC	60

Tallene i tabellen er basert på antall personer som kan bli eksponert ved en brann i en tunnel, samt sannsynligheten for at en brann oppstår. De elementære kriteriene som ligger til grunn er ÅDT, tunnellengde og muligheter for evakuering.

Statens vegvesen (2014) stiller følgende funksjonskrav:

- Konstruksjonen skal ikke bidra aktivt i en bilbrann, ikke spre brann, samt at en brann ikke skal vedvare etter at bilbrannen har opphørt.
- Konstruksjonen skal ikke bidra til vesentlig høyere røykutvikling eller gifte gasser.

Figur 11 viser fremgangsmåten for å sikre at de generelle funksjonskravene tilfredsstilles. Nye produkter som er oppe til evaluering i forhold til branntekniske egenskaper skal testes i henhold til følgende beskrivelser og prosedyrer (Vegdirektoratet, 2006):



Figur 11 Fremgangsmåte for testing av funksjonskrav (Statens vegvesen, 2006)

Flytskjemaet brukes for å sikre at materialer og utstyr innehar branntekniske egenskaper som er innenfor standardene. ISO 9705 "Firetests – Full-scale room test for surface products" gjelder for kledning/overflate og fanger opp om produktet kan benyttes inn mot trafikkkrommet, hvis ikke skal det dekkes med ubrennbart materiale og testes. Ved overflatebehandling kan maling og lignende brukes, og påføres i den tykkelse og på det underlaget produktet skal dokumenteres for. Tabell 5 viser akseptkriteriene for de enkelte tunnelklasser ved testing i henhold til ISO 9705:

Tabell 5 Akseptkriterier for tunnelklasser ved testing (Vegdirektoratet, 2006)

Kriterier for resultater fra brannprøving	Tunnelklasser					
	A	B	C	D	E	F
Tid til overtenning (minutter)	20	20	20	20	20	20
Gjennomsnittlig maksimal varmeavgivelse over en 30 sekunders periode (kW)	500	500	300	300	300	300
Gjennomsnittlig varmeavgivelse (Fra produktet) (kW)	100	100	50	50	50	50
Gjennomsnittlig maksimal røykproduksjon over en 60 sekunders periode (m ² /s)	2.3 (8.3)*	2.3 (8.3)*	2.3	2.3	2.3	2.3
Gjennomsnittlig røykproduksjon (m ² /s)	1.4	1.4	0.7	0.7	0.7	0.7

* For tunnelklasse A og B tillattes maksimal røykproduksjonsrate på 8.3 m²/s forutsatt at tilstrekkelig brannventilasjon er installert.

ISO 1182 referer til om produktet er klassifisert som ubrennbart som tilsier at det ikke er behov for ytterligere brannteknisk dokumentasjon av antenningelighet, varme- og røykutvikling.

Ventilasjon

Ventilasjon er en svært viktig del av sikkerheten i tunnelen, både når det gjelder sikt ved normal trafikkflyt og ved hendelser hvor tilluft er avgjørende under evakuering. Det finnes to typer ventilasjon i en tunnel: naturlig og mekanisk. Den naturlige ventilasjonen er den trekken som oppstår på grunn av vindforhold, helning og trykkforskjell. Mekanisk ventilasjon skapes ved hjelp av vifter som monteres i taket. Ventilasjon brukes primært for å ventilere ut gasser som dannes av kjøretøy slik at sikten, komforten og sikkerheten i tunnelen bedres. Det fremkommer gjennom forskrifter i Håndbok N500 at det skal monteres ventilasjonsanlegg i tunneler som er lengre enn 1000 meter når ÅDT overstiger 1000 kjøretøy per døgn. Ventilasjonsanlegget skal dimensjoneres for beregnet forurensningsnivå 10 år etter at tunnelen er åpnet.

Ved langslufting øker forurensningsgraden i tunnelens lengderetning. Ved dimensjonering av det nødvendige friskluftsbehovet skal det tas hensyn til bakgrunnskonsentrasjonen ved tunnelmunningen som skyldes utslipp fra transport, industri og nærliggende tunnelportaler (Vegdirektoratet, 2014). Bakgrunnskonsentrasjonen av NO₂ måles kontinuerlig i de største norske byene. Tabell 6 viser det tillatte luftkvalitetsnivået i tunneler for gående og syklende.

Tabell 6 Dimensjonerende luftkvalitetsnivå i tunneler som er tillatt for gående og syklende (Vegdirektoratet, 2014)

Lengde (km)	CO (ppm)	NO (ppm)
0 - 4	25	2

Den nødvendige lufthastigheten oppnås ved bruk av impulsventilatorer.

Monteringsavstanden mellom disse må være minst 60 meter for å oppnå en jevn og stabil luftstrøm mellom hver vifte eller hver viftegruppe. Ventilatorene bør monteres minst 30 meter fra starten av havarinisjer og andre utvidelser i tunnelprofilen (Vegdirektoratet, 2014). I noen tilfeller kan kraftig motvind føre til luftpropp i tunnelåpningen, med konsekvens at ventilasjonen må kjøres på et høyere nivå for å opprettholde nødvendig vindhastighet i tunnelen. Figur 12 under viser en test med kaldrøyk (røykgranater) og full brannventilasjon i Breivikatunnelen i Tromsø.



Figur 12 Test av brannventilasjon med røyk i Breivikatunnelen

Ved valg av impulsventilatorer og motoreffekt, skal det i stor grad vektlegges levetidskostnader som omfatter 20 års energikostnader, overførings- og effektavgifter, tilsyn og vedlikehold av ventilasjonsanlegget. Maksimalt lydnivå fra hver ventilator skal ikke overstige 85 dB i 3 meter avstand og 45° vinkel med ventilatorens lengdeakse (Vegdirektoratet, 2014).

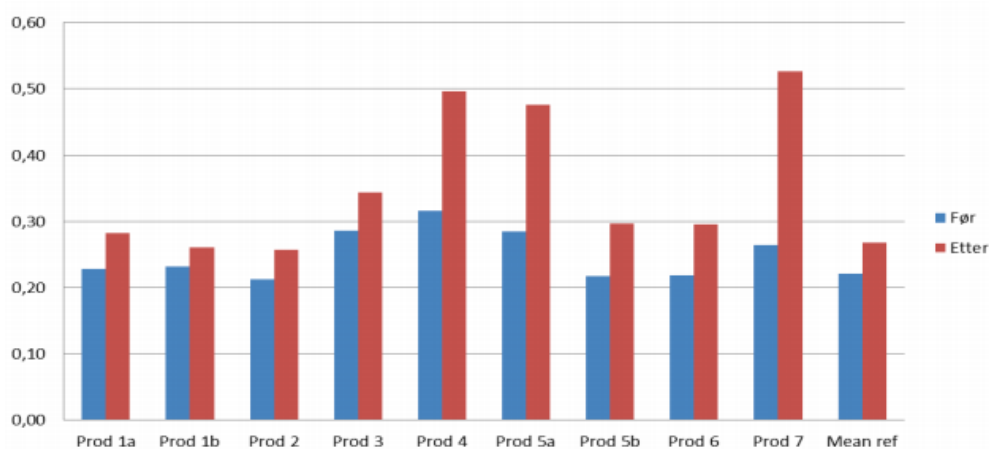
Belysning og strøm

Belysning er en viktig del av sikkerheten. Strøm er derfor avgjørende for å opprettholde sikkerhetsnivået. Hvis det skulle oppstå en hendelse hvor strømmen faller ut, skal det fortsatt være lys i tunnelen. Batteripakker som leverer nødstrøm (UPS – Uninterruptible Power Supply) skal forsyne de mest elementære funksjonene for å sikre at nødutstyr fungerer og at trafikanter kommer seg ut. Statens vegvesen har fastslått at følgende utstyr skal tilknyttes nødstrømsanlegg:

- Overvåkning, styring
- Rødt stoppblinksignal
- Sikkerhetsbelysning
- Ledelys for tunnel
- Nødtelefon
- Serviceskilt
- Nødutgangskilt
- Radio- og kringkastingsanlegg

Ventilasjonsanlegget vil i noen tilfeller også kobles inn på nødstrømsforsyningen. For tunnelklassene D, E og F vurderes det i hvert enkelt tilfelle om annet sikkerhetsutstyr også skal ha nødstrøm. Nødstrømsforsyningen skal gi minimum 1 timers driftstid ved den dimensjonerende belastningen. Nødstrømsforsyningen til nødnett for radiosamband har krav til minimum 4 timers driftstid. I tunneler i klasse E og F, samt tunneler med egen rømningstunnel skal tverrforbindelser ha nødstrømsforsyning fra begge løp (Vegdirektoratet, 2014).

Rene tunneloverflater spiller en viktig rolle for belysningen i tunnelen. Gjennom Wanvik sin rapport (2013) om tunnelbelysning fremkommer følgende statistikk før og etter vask av Askimporten tunnel:



Figur 13 Refleksjon av lys før og etter vask i Askimporten tunnel (Wanvik, 2013)

Figur 13 over viser 7 ulike målinger på lysrefleksjon i Askimporten tunnel, med prosentvis stigning. Følgende resultater er registrert:

- Opptil 45 % mer reflektert lys før vask
- Opptil 100 % mer reflektert lys etter vask

Statistikken viser at overflatebehandlede elementer reflekterer mer lys enn ubehandlede. Dette vil si at periodevis vedlikehold er helt avgjørende for optimale lysforhold.

Nødutstyr

Jf. Direktoratet for byggkvalitet TEK 10 (2010), § 11-10 skal installasjoner som er forutsatt å ha en funksjon under brann, være prosjektert og utført slik at deres funksjon opprettholdes i nødvendig tid. Dette omfatter også nødvendig tilførsel av vann, strøm eller signaler som er nødvendig for å opprettholde installasjonens funksjon.

Fjernstyrte bomber skal fysisk stenge tunnelen og kunne betjenes manuelt på stedet (Vegdirektoratet, 2014). Dette skjer ved at det åpnes et brann- eller nødtelefonskap inne i tunnelen - stoppblinksignal kommer på og de fjernstyrte bommene går ned. Størrelsen på bommen skal være så lang at den sperrer for inngående trafikk, men samtidig gjør det mulig å slippe trafikk ut. Inne i tunnelen skal det installeres nødkiosker eller nødskap som inneholder nødtelefon og to brannslukkere. Nødkioskene skal være godt merket, og avstanden mellom dem skal ikke overstige 150 meter. En mikrobryter aktiveres ved åpning og signalet fra nødskapene vil iverksette brannventilasjon i tunnelen for å sikre trafikantene mulighet til å evakuere ved en hendelse, samt at redningstjenesten får mulighet til å nå frem til brannstedet. Veitrafikksentralen vil varsle nødetatene ved manuell eller automatisk varsling fra tunnelen.

Det skal installeres utstyr for videreformidling av nødkommunikasjon og kringkasting i alle tunneler lengre enn 500 meter. Det er tunneleier sitt ansvar å påse at dette er tilstede og til enhver tid fungerende. Det skal også kunne håndtere nyere systemer som DAB og lignende. "Innsnakk" funksjonen styres fra Veitrafikksentralen eller nødstyreskap for å gi beskjeder til trafikanter inne i tunnelen ved spesielle hendelser. Disse beskjedene formidles over Norsk Rikskringkastings kanal P1 som er den offentlige beredskapskanalen.

Nettoperatører har selv ansvaret for å planlegge, etablere og drifte sitt eget utstyr i tunnelene. Eksempelvis skal Telenor selv betale anleggsbidrag og leie for utstyrs plass til tunneleier.

Ved sikkerhetsmessig oppgradering av eksisterende tunneler skal det følges samme krav som er gjeldende for sikkerhetsutrusting for nye tunneler. De tunneler som tidligere ikke har hatt nødstasjoner kan unntas dette med at de monteres med en avstand på 250 meter mellom hver.

Automatisk trafikkontroll (ATK) ble for første gang introdusert i 1988 på ulykkesbelastede veistrekninger hvor farten var høy. Etter at nullvisjonen ble introdusert på slutten av 1990-tallet ble fokuset på å redusere ulykker generelt større. Tiltak som gjennomsnittsmåling av hastighet (SATK) ble tatt i bruk i 2009. ATK-boksene ble koblet sammen slik at det ble mulig å måle den gjennomsnittlige hastigheten mellom to fotobokser ved hjelp av strekningens lengde og det målte tidsforbruket. Erfaringsmessig kan fartsnivået i undersjøiske tunneler være høyt og med det betydelige katastrofepotensialet ulykker i tunneler har, er tiltak mot hastighet nødvendig (Veidirektoratet, 2013). Grunnet HMS-hensyn med tanke på luftkvalitet og begrenset aktivitet på tidspunkt hvor det kjøres hardt, vil politikontroller være vanskelig i tunneler. Derfor vil SATK være spesielt egnet som sikkerhetstiltak.

Rømningsveier

En nødutgang skal gjøre det mulig å forlate tunnelen og evakuere til et trygt sted i tilfelle det oppstår en brann. De gjør det også mulig for redningstjenestene å få adgang til tunnelen. Nødutganger i tunneler bygges enten som tverrforbindelser mellom tunnellopp, eller direkte utgang fra tunnelen til det fri. I tunneler med to parallelle løp legges det til rette for evakuering og rømning via gangbare tverrforbindelser mellom tunnellopene. Tverrforbindelsene kan være kjørbare, også for tyngre kjøretøy og plasseres med en avstand på maksimum 250 meter. Tilstrekkelig evakueringskapasitet sikres spesielt gjennom disse (Vegdirektoratet, 2014).

Videre sier Statens Vegvesen (2014) at i tunnelklasse D, og eventuelt C, som bygges med nødutganger fra tunnelen til det fri eller rømningstunnel, med gangbare tverrforbindelser til hovedløpet, skal avstanden mellom utgangene ikke overstige 500 meter. Samtidig skal det bygges nødutgang fra ramper med lengde over 50 meter i tunnelklasse D, E og F. Gangbare tverrforbindelser bygges som regel med tunnelprofil T4, nødutganger til det fri med tunnelprofil T4, og rømningstunnel med tunnelprofil T5.5. Nødutganger bør sikres mot vann og is.

Statens vegvesen og TEK 10 stiller følgende krav til utforming av automatiserte dører og nødutganger:

- Rømningsvei skal på oversiktlig og lettfattelig måte føre til sikkerhet sted. Den skal ha tilstrekkelig bredde og høyde og være utført som egen branncelle tilrettelagt for rask og effektiv rømning.
- Helningsgraden på nødutgangen skal ikke være brattere enn maksimalt 5 % (1:20)
- Nødutgangen skal ha fast dekke.
- Atkomst til nødutgangen fra tunnelen skal være trinnfri. Dørene skal ha bredde på minst 1.2 meter, som gjør det mulig for rullestolbrukere.
- Det bør være nedsenket kantstein ved nødutganger i tunnel, utformet med 20 mm. vis og helling 1:10 opp mot dør til nødutgang / tverrforbindelse.
- Dør til rømningsvei skal utføres og utstyres slik at den sikrer rask evakuering og slik at det ikke oppstår fare for oppstuvning. Dør til nødutgang til det fri, og til rømningstunnel skal slå ut i rømningsretningen. Dør i tverrforbindelse (tunnelklasse E og F) bør slå inn fra trafikkrommet.
- Materialer og produkter skal ha egenskaper som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det skal legges vekt på mulighet for antennelse, hastigheten av varmeavgivelse, røykproduksjon, utvikling av brennende dråper og tid til overtenning.

- Vegg mellom hovedtunnel og nødutgang skal ha brannmotstand minimum REI 120-M, ubrennbare materialer.
- Tverrforbindelser skal utføres som brannsluse med brannmotstand minimum EI 60 mot begge tunnellopp.

Jf. TEK 10 og Veiledning til femte ledd stilles det krav til at følgende ytelser i rømningsvei er oppfylt:

Automatisk skyvedør, rotasjonsgrind, dør med dørautomatikk eller dør med annet elektromagnetisk åpne- og lukkesystem som ikke har brann- eller røykskillende funksjon, for eksempel dør til det fri, kan benyttes som dør i rømningsvei dersom døren har sikker funksjon ved bortfall av strøm og

- a) byggverket har brannalarmanlegg og døren ved alarm eller strømbrudd åpnes automatisk til den bredde som er nødvendig, eller*
- b) døren manuelt kan føres til åpen stilling.*

(Direktoratet for byggkvalitet, 2010)

Statens vegvesen skal ivareta universell utforming i alle ledd når det planlegges, bygges, driftes og vedlikeholdes tunneler. Dette er innarbeidet i nye og reviderte normaler og håndbøker (Statens vegvesen, 2015). Forskriftene krever at rømningsveier og atkomst til disse skal være lette å bruke og tilrettelagt for sikker rømning.

Ledelys eller nødlys skal gjøre det mulig å foreta en sikker og kontrollert rømning til nærmeste nødutgang. Nødskilt skal vise avstand og retning mot veitunnelmunningene. Ledelys skal ha egen strømforsyning og tilfredsstille kravene (Standard Norge, 2013). Innbyrdes maksimum avstanden er 25 meter, med unntak for utbedring av eksisterende tunneler hvor maksimum innbyrdes avstand er 33 meter. Lysene skal plasseres i maksimum 1 meter høyde over kjørebanelen på samme side. Hvis det er nødutganger i tunnelen skal ledelysene plasseres på denne siden. Den minste opprettholdte lysstyrke fra hver av lysene fra alle retninger skal være $0.1 \text{ cd} \times \text{lysenes innbyrdes avstand}$. Med innbyrdes avstand over 25 meter skal lysstyrken være minst 2.5 cd i alle retninger over helle anlegges levetid (Standard Norge, 2013).

Varsling i tunnel gjøres vanligvis over radio i Norge. I Tyskland, England, Nederland og Australia er det derimot vanlig med høyttalere installert inne i tunnelen som varsler bilister om hendelsesforløp og evakueringsprosedyrer. Per i dag finnes det få lignende løsninger her til lands, men systemer som videreformidler beskjeder ved hendelser til trafikanter utenfor bilene testes ut (Garathun, 2015).

4.4 Grunnleggende krav og forskrifter

Som beskrevet under "tunnelskole" foreligger det strenge krav til utforming og drift av veitunnel. Under gis en kort innføring i de viktigste styrende krav og forskriftene som er gjeldende for helse, miljø og sikkerhet i tunnel:

- Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (Tunnelsikkerhetsforskriften)
- Brann- og eksplosjonsvernloven
- Lover som omhandler elektriske anlegg og elektrisk utstyr
- Plan og bygningsloven
- Forurensningsloven
- Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven)
- Kulturminneloven
- Naturmangfoldloven

Dette er overordnede forskrifter som ligger til grunn for all arbeid i og rundt tunneler i Norge. Statens vegvesen har i tillegg utarbeidet sine egne håndbøker i to kategorier: Den første består av normaler, forskrifter og retningslinjer som setter minimumskrav, lik eller høyere det som stilles i de overordnede forskriftene nevnt over. Den andre kategorien består av veiledninger.

Europakommisjonene la i 2002 frem et forslag til å etablere et direktiv for å øke tunnelsikkerheten i norske veitunneler. Dette ble fastsatt i 2007 i Norsk lov, og Tunnelsikkerhetsdirektivet har som formål

Å sikre laveste tillatte sikkerhetsnivå for trafikanter i tunneler gjennom krav til å forebygge kritiske hendelser som kan sette menneskeliv, miljøet og tunnelanlegg i fare, samt sørge for vern ved eventuelle ulykker.

(Buvik, Amundsen, & Fransplass, 2012)

Oppgradering av eksisterende tunneler skulle vært utført innen 30. mars 2014, men det er innvilget ny frist til 30. April 2019, jf. Tunnelsikkerhetsforskriften § 14. Tunnelene skal etter denne overgangsperioden være oppgradert med sikkerhetsutstyr i samsvar med kravene gitt i Tunnelsikkerhetsforskriften og håndbok N500 Vegtunneler. Tunneler som på grunn av trafikkøkning kommer i ny og høyere klasse, skal oppgraderes i henhold til den nye klassen innenfor infrastruktur og sikkerhetsutstyr (DSB, 2011). Til forskjell fra det Europeiske Tunnelsikkerhetsdirektivet som kun gjelder for tunneler på TERN-veinettet, er den norske Tunnelsikkerhetsforskriften gjort gjeldende for alle

riksveitunneler over 500 meter. Forskriften gjelder for tunneler som er i bruk, under bygging eller på prosjekteringsstadiet (Lovdata, 2007).

Det er særlig tre håndbøker som i stor grad har vært relevant for oppgaven:

- Håndbok 163: Vann- og frostsikring i tunneler (2006)
- Håndbok 269: Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler (2007)
- Håndbok N500: Vegtunneler (2014)
- Håndbok V721: Risikovurdering av vegtrafikken (2014)

Videre har Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), i samarbeid med Statens vegvesen utarbeidet "Retningslinjer for saksbehandling og ivaretagelse av brann- og elsikkerhet i vegtunneler" (DSB og Veidirektoratet, 2011).

Ut fra forskriftene skal det totale sikkerhetsnivået være dynamisk og settes på bakgrunn av infrastruktur, bruk, trafikanter og kjøretøy. Statens vegvesen (Håndbok N500) har tatt følgende parameter som svært viktig i utarbeidelse av sikkerhetsnivået:

- Tunnellengde
- Antall løp
- Antall kjørefelt
- Tverrsnittsgeometri
- Vertikal og horisontal profil
- Konstruksjonstype
- Enveis- eller toveistrafikk
- Trafikkmengde 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
- Fartsaspekter

Overnevnte faktorer spiller en viktig rolle, i seg selv eller sammen, for det totale risikonivået. Kravene for de forskjellige tunnelklassene er oppsummert i Tabell 7 under.

Tabell 7 Tiltak for å sikre minimum sikkerhetsnivå i tunneler (Vegdirektoratet, 2014)

● Krav ○ Vurderes	TUNNELKLASSER						Merknader
	A	B	C	D	E	F	
Sikkerhetstiltak							
Havarinisjer		●	●	●	●	●	
Snunisjer		●	●	●			
Gangbare tverrforbindelser					●	●	Hver 250 m.
Nødutganger				●			Krav om enten nødutganger til det fri eller egen rømmingstunnel med tverrforbindelser for tunnelklasse D (antall kjøretøy pr. Kjørefelt > 4000), og for tunneler lengre enn 10 km i tunnelklasse C. Avstand hver 500 m.
Sikkerhetsutrustning							
Strømforsyning, belysning og ventilasjon							
Nødstrømsanlegg	●	●	●	●	●	●	Belysning ved strømutfall.
Ledelys for tunnel	●	●	●	●	●	●	Ca. 62.5 m avstand
Nødutgangsskilt, skilt som viser retning og avstand til nødutgang			●	●	●	●	Krav for tunneler med nødutganger og tverrforbindelser
Avstandsmarkering i tunnel	●	●	●	●	●	●	Krav for tunneler lengre enn 3 km. Skiltet plasseres for hver 1000 m.
Nødstasjon	●	●	●	●	●	●	Inneholder nødtelefon og to brannslukkere. Hver 125 m. I spesielle tilfeller min. hver 250 m ved oppgradering. Nødstasjon installeres i tillegg utenfor hver tunnelåpning.
Slokkevann	●	●	●	●	●	●	
Rødt stoppblinksignal	○	●	●	●	●	●	Tunnelklasse A: krav for tunneler > 1 km
Fjernstyrte bomber for stengning		○	○	●	●	●	
Variable skilt		○	○	○	○	○	
Kjørefeltsignaler					○	○	
ITV-overvåkning			○	○	○	○	Krav i tunneler > 3 km og > 2000 kjøretøyer per kjørefelt.
Radio- og kringkastingsanlegg	●	●	●	●	●	●	
Mobiltelefon *	○	○	○	○	○	○	
Høydehinder (avviser)	●	●	●	●	●	●	

* Ikke sikkerhetsutstyr

4.5 Case-beskrivelse: Tromsøysundtunnelen

Tromsøysundtunnelen er en undersjøisk tunnel som ble åpnet i 1994, og er en del av Europavei 8 i Tromsø kommune. Tunnelen forbinder Tromsøya med fastlandet fra Breivika til Tomasjord (se Figur 14 under).



Figur 14 Tromsøysundtunnelen forbinder Tromsøya og fastlandet sammen (Statens vegvesen, 2015)

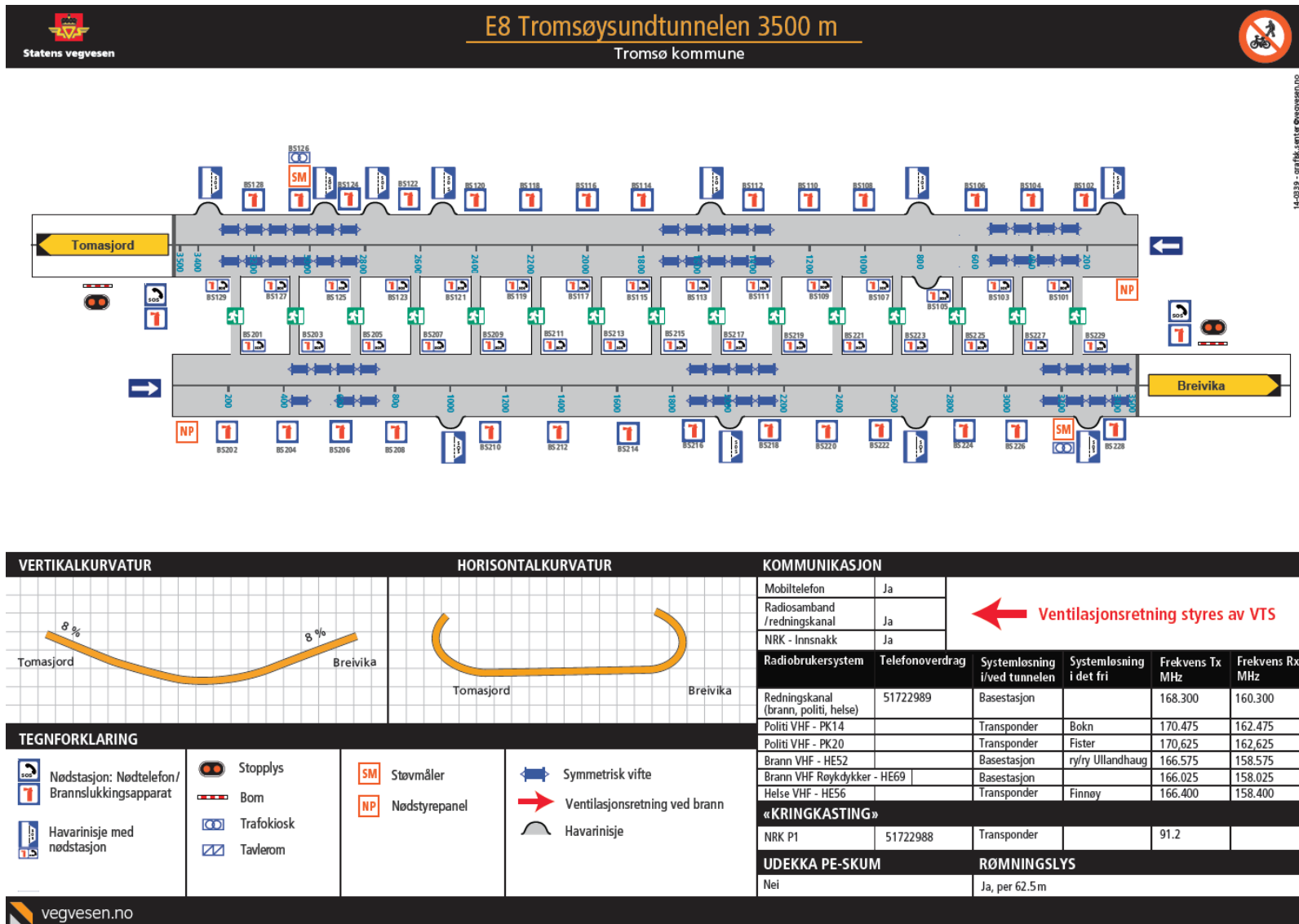
Tunnelen strekker seg 102 meter under havet og med største stigningsgrad på 8.2 % . Den har to løp, T1 på 3386 meter og T2 på 3500 meter. 15 tverrslag forbinder løpene sammen og fungerer som rømningsveier. Gående og syklende har ikke lov å ferdes gjennom tunnelen. Tabell 8 under viser de tekniske spesifikasjonene for begge løpene, T1 og T2.

Tabell 8 Tromsøysundtunnelen (Larsen & Salangli, 2014)

Tromsøysundtunnelen T1 og T2	
Lengde	T1: 3372 m T2: 3484 m
Antall løp	2
Tverrsnitt	T8
Tunnelklasse	D
Nødutganger/Tverrforbindelser	15 stk. ca. hver 250 m
Høydebegrensning	4.7
ÅDT	9731
Fartsgrense	60 og 80
Antall nødstasjoner	30 (15 stk. i hvert løp, støvtette skap, hver 500 m)
Antall brannapparater	58 (29 stk. i hvert løp, hver 250 m)
CO ₂ -måler	6
NO-måler	6
Siktmåler	2
Vindmåler	4
Havarinisjer	7 stk. i T1, 4 stk. i T2 (hver 500 m)
Snunisjer	Ingen
Antall ITV	Ingen
Antall AID	Ingen
Bommer	2
Antall rød vekselblink	4
Kjørefeltsignaler	Ingen
Dimensjonerende brannventilasjon	Ja
Ubeskytta PE-skum	Nei
Slokkevann	0
UPS (kapasitet)	Ja (1 time)
Oljeutskiller	2
Pumper	6 stk. (4 x 55kW og 2 mindre)

Tunnelen ble valgt som studie på grunn av betydelig stigningsgrad, undersjøisk, høy årsdøgntrafikk, hastigheter opp mot 80 km/t og flere registrerte ulykker. Tromsøysundtunnelen er, som alle andre tunneler i Norge, basert på selvbergingsprinsippet. Alle nødutgangene er skiltet med "nødutgang" og viser retning og avstand til nærmeste utgang. Det er 15 manuelle porter i tverrslagene som kan åpnes mot parallelt tunnelløp, og er beregnet for evakuering av personer og kjøretøy. Disse er også store nok til at brannbiler kan passere.

Figur 15 under viser brannplanen for Tromsøysundtunnelen for begge løp.



Figur 15 Skisse/Brannplan av Tromsøysundtunnelen (Larsen & Salangli, 2014)

Brannplanen brukes aktivt av nødetatene, særlig brannvesen, ved ulykker. Her fremkommer lengde, kurvatur, stigningsgrad, plassering av tverrslag og nødkiosker, ventilasjonsvifter m.m. Alt dette er nyttig informasjon ved hendelser i tunnelen hvor nødetatene rykker ut.

Gjennom hele tunnelen ligger det drensledning og overvannsledning for å drenere vekk overflate- og sjøvann som trekker inn i tunnelen og kan resultere i glatt veibane. Tunnelen har 3 pumpestasjoner, hvor den ene helt i bunnen av tunnelen er tilknyttet hovedpumpestasjon og reservemagasin for vann. To mindre pumpestasjoner er installert henholdsvis 130 og 330 meter fra tunnelportalene for å fjerne vannet.

Ved alle 3 feltene i Breivika og de 2 feltene på Tomasjord er det montert vippebommer. Disse styres fra VTS, fra branntablå ved tunnelinnslagene og fra Tromsø Brann og Redning. Hvis sistnevnte gjennomføres må kommando "steng" oppheves fra VTS, som er eneste instans som kan åpne tunnelen igjen. Brannvakta har også muligheten til å styre brannventilasjonen. Ved brudd i strømforsyningen vil nødstrømsanlegget forsyne bommene med strøm. Høyt CO/NO-nivå vil ikke føre til at bommene stenges (Salangli & Haugland, Beredskapsplan, 2014). Rødt blinkende lys er installert på egen stolpe ved siden av hver bom på utsiden.

Tromsøysundtunnelen strømforsynes ved 22 kV tilført fra Tomasjord. I forbindelse med fordeling K1F (Tomasjord) er det montert nødstrømsaggregat som drifter tunnelen i nødstilfeller. Aggregatet vil starte ved registrert feil på 22 kV. Aggregatet går på diesel og strømforsyner følgende utstyr avbruddsfritt med minimum 1 times driftstid:

- Overvåkning, styring
- Rødt stoppblinksignal
- Sikkerhetsbelysning
- Evakueringslys
- Nødtelefon
- Serviceskilt
- Nødutgangskilt
- Kommunikasjons- og kringkastingsanlegg

Brannventilasjonen i tunnelen startes automatisk fra VTS når en brannslukker blir tatt ut av skapet eller når nødtelefon blir brukt. Tunnelen vil da stenge, skilt blir snudd, bomber går ned, stopplys kommer

på og rømningslys aktiveres. Brannventilasjonen kan styres manuelt fra branntablå i Hansjordnesbukta eller med manuell melder i tavlerom.

Ved melding om brann i T1 inn til VTS, vil alle ventilatorer i T1 starte og blåse i kjøreretningen. Samtidig vil alle ventilatorer i T2 starte og blåse mot kjøreretningen, dette for å hindre at røyken trekkes inn i det andre løpet som fungerer som rømningsvei. På samme måte ved melding om brann i T2 vil ventilatorer her blåse i kjøreretningen, mens ventilatorer i T1 blåser mot kjøreretningen (Salangli & Haugland, Beredskapsplan, 2014).

- *Brannventilasjon T1:*
Ventilasjonsretning fra Breivika mot Tomasjord (med trafikken). Impulsventilatorer mellom ventilasjonssjakt og portal på Tomasjord skal snu ventilasjonsretningen og ventilere ut av tunnelen. Sjaktventilatorer stoppes. I tillegg skal to vifter i hver viftegruppe i T2 starte og ventilere ut Tomasjord for å hindre at røyken snur og går inn i T2.
- *Brannventilasjon T2:*
Ventilasjonsretning fra Tomasjord mot Breivika (med trafikken). Impulsventilatorer mellom ventilasjonssjakt og portal i Breivika skal snu ventilasjonsretningen og ventilere ut av tunnelen. Sjaktventilatorer stoppes. I tillegg skal to vifter i hver viftegruppe i T1 starte å ventilere ut Breivika for å hindre at røyken snur og går inn i T1.
- *Branntablå er plassert i kjøreretningen ved innkjøring i T1 i Breivika og ved innkjøring i T2 på Tomasjord. Nøkkel til tablåene er plassert i nøkkelsafe ved siden av tablåene.*

(Salangli & Haugland, Beredskapsplan, 2014)

Det er montert rømningslys 1 meter over bankett i hele tunnelen og med avstand på 75 meter i mellom. Ved eventuell svikt i strømtilførselen kobles aggregat inn automatisk, eventuelt er det 1 time batteribackup. Det er montert 30 stk. nødlys i nødstasjonene.

Før oppgraderingen startet er det ikke noen form for videoovervåkning i T1 eller T2, men fotobokser med gjennomsnittsmåling av hastighet (ATK). Tunnelen er utstyrt med radio/redningskanaler med "innsnakk"-muligheter for å kunne varsle trafikanten. Med radiodekning i tunnelen kan politi og vegvesen bryte inn i alle FM-kanaler og gi fortløpende beskjeder i sanntid. Meldingene gis fra et vanlig telefonapparat ved bruk av et hemmelig telefonnummer. Det er også installert utstyr for GSM-samband i tunnelen (Salangli & Haugland, Beredskapsplan, 2014).

Gjennom beredskapsplanen er mangel på brannvann begrunnet på følgende måte:

Det er lagt en 63 mm vannledning fra Tomasjord og ned til en mindre pumpestasjon 130 meter fra tunnelåpning (PS1), samt fra Breivika og ned til laveste punkt. Det er kobling for brannslange nede i pumpesyken. Vannet er ikke ment som brannvann, da det er for dårlig kapasitet på ledningene, så døren inn til pumpestasjonen er derfor låst. Det regnes derfor som at det ikke er tilgang til brannvann i tunnelen.

(Nævestad & Meyer, 2012).

Brannvesenet i Tromsø disponerer tankbil på 15 m³. I tillegg har hver brannbil med seg ca. 3 m³ vann. Nødetatene er stasjonert bare noen få kilometer fra tunnelen. Det er gjennom beredskapsplanen estimert med følgende forventede utrykningstid under ordinære omstendigheter:

- Politi: ca. 5 min
- Brannvesen: ca. 5 min
- Ambulanse: ca. 5 min

4.5.1 Oppgradering

4 riksveier i Troms skal oppgraderes til et høyere sikkerhetsnivå for å tilfredsstille kravene i Tunnelsikkerhetsforskriften. Tromsøysundtunnelen er den tunnelen med størst trafikk, og blir dermed prioritert først. Målet med oppgraderingen er å forbedre fremkommeligheten og øke sikkerheten for trafikantene og nødetatene (Blix, 2016). 1. oktober 2015 ble T1 løpet stengt og oppgraderingsarbeidet startet. Det skal etter planen ferdigstilles i 2016. Da vil oppgraderingen av T2 starte, som vil ta omtrent ett år. Tromsøysundtunnelen er planlagt ferdig i 2017. Trafikkavvikling i oppgraderingsperioden foregår gjennom T2 første periode, og etterhvert over i nye T1. Trafikken dirigeres med vekslende kjøreretning knyttet til rushtrafikken.

Fra kl. 22.00 – 12.00 er kjøreretningen fra Tomasjord til Breivika.

Fra kl. 12.00 – 22.00 er kjøreretningen fra Breivika til Tomasjord.

Kjøreretningen er godt merket med lyssignal og skilting, både ved tunnelen og i god tid før, blant annet ved kryss før Tromsøbrua. Dette for å unngå at trafikanter forviller seg inn i tunnelen og mot kjøreretningen. Grunnen til at ett av tunnellopene ikke kan ha trafikk i begge retninger gjennom oppgraderingsperioden er at veibanen er for smal til at store kjøretøy kan møtes, samt at utrykningskjøretøy ikke kan passere. Figur 16 under viser hvordan lyssignal, skilt og bom brukes til trafikkavviklingen under oppgraderingen.



Figur 16 Lyssignal og bom for omkjøring under oppgraderingen i Tromsøysundtunnelen (Statens vegvesen, 2015)

Gjennom oppgraderingen graves hele veibanen opp for ny kabler til ny elkraft, styrings- og overvåkningsutstyr. Utover dette gjøres følgende konkrete tiltak for å heve sikkerheten i tunnelen:

- Utskifting av gamle elektroinstallasjoner, samt skifte av utstyr som ikke lenger har god nok ytelse eller for dårlig driftsstabilitet
- Gamle EX-kabler skiftes ut og nye legges i rør under veibanen
- Alt av ubeskyttet vann- og frostsikring (PE-skum) tildekkes
- Tekniske rom bygges ut, med separate batterirom
- Sikring av havarinisjer med støtputer
- Kalking/maling av vegger og tak for bedre lysreflektering
- Ny og bedre belysning over kjørebane, dagsonen og i tverrslag
- Overvåkning med automatisk hendelsesdetektering (AID/ITV)
- Nye nødkiosker
- Flere brannslukkere
- Nye, branntette porter i tverrslag
- Ny ventilasjon
- Dynamiske kjørefeltsignal
- Installasjon av DAB og nødnett

Tiltakene skal bidra til at tunnelens sikkerhetsnivå tilfredsstiller kravene gitt i Tabell 7 for tunnelklasse D. Ekstraordinære tiltak som iverksettes er hvitmaling av vegger, AID overvåkning og ytterligere sikring av havarinisjer med kraftige støtputer. Den totale kostnadsrammen på prosjektet er 265 millioner kroner.

5. Resultater og diskusjon

Dette kapittelet presenterer resultatene av oppgaven som er grunnlaget for å svare på utfordringene relatert til problemstillingen. De nødvendige sikkerhetssystemene drøftes og det er laget en risikoanalyse for å undersøke brannsikkerhetsnivået i Tromsøysundtunnelen etter oppgradering.

Som tidligere nevnt er veitunneler et kompleks system med mange faktorer som påvirker sikkerheten for trafikanter. Et sikkerhetssystem i veitunneler bygges opp rundt to sentrale emner:

- De forebyggende sikkerhetstiltakene
- Redningssystem og skadebegrensende tiltak.

I det forebyggende sikkerhetsarbeidet vil geometrisk utforming og teknisk utrustning av tunnelen være avgjørende for det sikkerhetsnivået man ønsker å oppnå. Dette ble nærmere beskrevet under "Tunnelskole". For å ivareta dette nivået er man avhengig av et strukturert og systematisk drifts- og vedlikeholdsarbeid. Det er derfor viktig å planlegge tunneler på en slik måte at det er gjennomførbart på et praktisk og optimalt plan.

5.1 Styrende forskrifter

De forebyggende sikkerhetstiltakene ivaretas gjennom forskrifter og krav. I første forskningsspørsmål skulle det redegjøres for aktuelle forskrifter og krav som ligger til grunn ved tunneloppgradering til ny sikkerhetsstandard i Tromsøysundtunnelen, og dette diskuteres nærmere under.

Under "grunnleggende forskrifter" i tunnelkapittelet ble det gitt en innføring i de aktuelle forskriftene som gjelder ved for tunneloppgradering. Renoveringen, som flere av tunnelene må gjennom for å oppfylle kravene, skulle som nevnt vært utført innen 30. mars 2014, men fristen er utvidet til 2019. Det stilles særskilte krav til infrastruktur og tunneldrift, herunder både organisatorisk og tekniske krav som gjelder både for eksisterende og nye tunneler. Antall løp, ventilasjon, nødutganger, havarilommer og stigningsgrad har spesifikke krav jf. rapporten "Etatsprogrammet Moderne vegtunneler". I tillegg må utstyr som belysning, brannslukkere, tilgang til slukke vann, videoovervåking og kommunikasjonssystemer monteres på riktig måte i tunnelen for optimal funksjon. Det er særlig fire håndbøker som har vært mest relevant opp mot tunnelsikkerhet og utfordringer ved brannhendelser i Tromsøysundtunnelen. Disse er nærmere drøftet under.

Håndbok 163 - Vann og frostsikring i tunneler inneholder funksjonskrav og dimensjoneringsregler for vann og frostsikring i veitunnel. Sikring mot vann og is i veibanen er et viktig forebyggende sikkerhetstiltak for å unngå større ulykker inne i tunnelen. I undersjøiske tunneler vil det til enhver tid være et mindre tilløp av vann, særlig sjøvann, som trenger gjennom fjellet. Uten konstruksjonskrav for avskjerming vil lekkasjene gi fuktig klima og glatt veibane, som påvirker kjøreforholdene. Håndboken stiller også krav til dimensjonering for brann. Dette innebærer sprøyting av betong for å hindre røykspredning, dimensjonering av brannventilasjon, samt den branntekniske dokumentasjonen og testingen.

Håndbok 269 - Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler sørger for at sikkerheten tilfredsstiller kravene i Tunnelsikkerhetsforskriften, Brannvernloven med forskrifter og interne pålegg i Statens vegvesen. Håndboken skal bidra til å oppnå et minimum sikkerhetsnivå i veitunnel på riksveinettet for alle trafikanter, samt sikre arbeidere som oppholder seg inne i tunnelen. For å få til dette må de kritiske hendelsene som setter menneskeliv, miljøet og tunnelanlegget i fare, forebygges. Dette gjøres gjennom en rekke krav til sikkerhetstiltak, organisering og definering av roller og ansvar i denne håndboken.

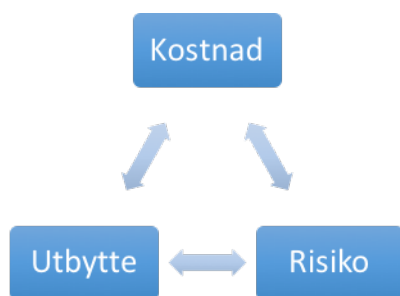
Håndbok N500 - Vegtunneler tar for seg alle forhold ved hele prosjektfasen ved utforming av tunnel, samt drift og vedlikehold i ettertid. Normalen gjelder for nye tunneler, men skal også legges til grunn ved oppgradering av utstyr i Tromsøysundtunnelen. Håndboken er avstemt i forhold til tunnelsikkerhetsforskriften. Den omfatter alle forhold ved gjennomføringer av tunnelprosjekt, fra tidlig i prosjektfasen til tunnelen står ferdig, samt drift og vedlikehold.

Håndbok V721 – Risikovurdering av vegtrafikken beskriver fremgangsmåter for Statens vegvesen sitt arbeid med risikovurderinger. Håndboken sammenfatter dagens kunnskap og erfaring med risikovurderinger i veitrafikken. Risikovurderinger relatert til tunnelsikkerhet kan være utfordrende og krever fagkompetanse, men ved hjelp av disse retningslinjene kan forhold som påvirker trafiksikkerheten være med i arbeidet med kartlegging av risiko på en mer oversiktlig måte.

Den totale sikkerheten og gjennomføring av vedlikehold i tunnel er nært tilknyttet til hverandre. Det må legges opp til systematisk arbeid over tid, og de valgene som gjøres for gjennomføring av sikkerhets- eller vedlikeholdstiltak vil i stor grad påvirke hverandre. Drift og vedlikehold skal utføres av inspeksjonsenhet, og tidsrommet mellom to inspeksjoner av en tunnel som er åpen for trafikk, skal ikke overstige seks år. Dersom Vegdirektoratet som forvalter tunnelen, på grunnlag av inspeksjonsenhetens rapport, fastslår at en tunnel ikke er i samsvar med gjeldene bestemmelser skal

regionveikontoret og sikkerhetskontrolløren underrettes om at det må iverksettes tiltak for å styrke tunnelsikkerheten (Vegdirektoratet, 2007). Dette er i henhold til ALARP-modellen i Figur 1, hvor ytterligere tiltak bør implementeres hvis det lar seg gjennomføre innenfor en gitt kostnadsramme. Dersom disse utbedringstiltakene medfører vesentlig endring i tunnelens konstruksjon eller bruk, skal det for tunnelen, straks disse tiltakene er utbedret, gis ny brukstillatelse. I tunnelvedlikehold inngår ofte komplekse tekniske installasjoner som stiller store krav til systematisk arbeid. Disse kravene influerer også på selve sikkerheten i tunnelen. Systematisk vedlikehold er selve nøkkelen på ivaretagelse av et godt sikkerhetsnivå, samt gode vedlikeholdsstrategier som sikrer at alt teknisk utstyr er funksjonsdyktig i en normalsituasjon. Avvik skal fanges opp ved hjelp av rutiner og iverksette nødvendige tiltak. Slik unngås det at utstyr som er funksjonsudyktig kan bli en utløsende faktor for en større og mer alvorlig hendelse.

Bygging av tunnel medfører et langsiktig ansvar for vedlikehold, der undersjøiske tunneler har et sammensatt miljø med sjøvann som sliter mer på det tekniske utstyret med mye støv og fuktig klima. Tilgangen og funksjonen til systemene som skal ivareta sikkerheten må være utformet best mulig med tanke på kostnader, miljø og sikkerhet. Godt vedlikehold er i senere tid innført som et kvalitetsstempel for leverandørene og gir kontroll på kostnader, samt bedre kvalitet, fleksibilitet og driftssikkerhet. Vedlikehold må planlegges godt, og med forebyggende vedlikehold i fokus vil levetiden forlenges betraktelig på sikkerhetsutstyret. Figur 17 viser et eksempel på en modell for en vedlikeholdsprosess.



Figur 17 Vedlikeholdsprosess for utstyr i tunnel (Markeset & Kumar, 2001)

Figuren over viser sammenhengen mellom kostnad, risiko og utbytte når det utføres vedlikehold (Markeset & Kumar, 2001). Kostnadene ved stenging av Tromsøysundtunnelen nå under oppgraderingen, må sees i forhold til risikoen og utbytte med å holde tunnelen åpen for trafikanter i det daglige. Det må være en kombinasjon av alle de tekniske utførelsene, administrative føringene gjennom forskrifter og planleggingen for å sikre optimal funksjon på sikkerhetssystemene. Kort oppsummert må valg av løsninger og teknisk utstyr være gjort på bakgrunn av levetidskostnader, hvor også drifts- og vedlikeholdskostnader er vurdert.

Gjennom tunnelsikkerhetsforskriften fremkommer ansvarsområdet til forvaltningsmyndighet, tunnelforvalter og sikkerhetskontrollør, hvilken dokumentasjon som skal foreligge for tunnelen, samt alle sikkerhetstiltakene. Samtidig legges det føringer gjennom tunnelsikkerhetsdirektivet for at eksisterende tunneler skal følges opp etter sikkerhetsforskriften. Føringerne gjelder i utgangspunktet for tunneler med kjørelengde over 500 meter på TERN, men direktivet oppfordrer til å innføre samme sikkerhetskrav til tunneler under 500 meter. Flere tunneler har for lav årsdøgntrafikk og kan dermed ikke kategoriseres som en spesielt risikoutsatt tunnel på landsbasis, men vil til spesielle tidspunkt på døgnet være utsatt for stor trafikkmengde. Dette kan være tunneler tilknyttet for eksempel fergeleier. Etter ankomst vil fergekøen strekke seg gjennom tunnelen og skape kø, tross lav ÅDT. Dette resulterer i økt risiko, og er en viktig problemstilling i mange tunneler på veinettet i Norge. Samtidig vil det også ta lengre tid før nødetaer kommer frem ved hendelser, enn i områder som ligger nærmere by. Grunnet høy ÅDT i Tromsøysundtunnelen er den kategorisert i tunnelklasse D som setter kravene til nødvendig utstyr, samt utstyr som bør vurderes ytterligere. Her er flere konkrete tiltak installert utover hva som kreves for å heve sikkerheten. Disse drøftes nærmere under risikoanalysen.

Jf. Tabell 7 - Tiltak for å sikre minimum sikkerhetsnivå i tunneler, blir eksisterende sikkerhetsutstyr gjennom tunnelsikkerhetsforskriften ansett å tilfredsstille kravene så lenge det fortsatt har ytelse i henhold til spesifikasjonene som angitt i tidligere versjon av håndbok 021 på monteringsstidspunktet. Dersom utstyret skal skiftes ut på grunn av forfall, gjelder kravene i dagens håndbok N500. I praktisk betyr dette at ventilasjon og belysning vil bli utbedret til dagens krav om ytelse i takt med rehabilitering/utskiftning. For de strukturelle kravene i forskriftene som medfører tekniske løsninger vil følgende fra tunnelsikkerhetsforskriften være gjeldende:

Dersom enkelte av de konstruksjonsmessige kravene som er fastsatt bare kan oppfylles ved tekniske løsninger som enten ikke kan gjennomføres eller bare kan gjennomføres til en uforholdsmessig høy kostnad, kan Vegdirektoratet godkjenne at det treffes alternative risikoreduserende tiltak, forutsatt at de alternative tiltakene vil føre til likeverdig eller forbedret vern. Virkningene av slike alternative tiltak påvises ved en risikoanalyse.

Dette vil si at det skal legges vekt på alternative tiltak dersom disse kan gi minst like godt vern som det strukturelle tiltaket. Kun unntaksvis kan det konkluderes med strukturelle tiltak, og det vil normalt være strengere krav til sikkerhetsutrustning og avbøtende løsninger i form av trafikkregulerende tiltak (nedsatt fartsgrense, ATK, m.m.), driftstiltak og ekstra beredskapstiltak.

Som en del av beredskapsplanen skal det foreligge en analyse som fastslår om det er nødvendig med ytterligere tiltak for å oppnå sikkerhetsnivået som kreves i håndbok N500. Gjennom TS 2007:11 "Veileder for risikoanalyser av vegtunneler" beskrives det når, hvor og hvordan en risikoanalyse kan gjennomføres for en veitunnel. Som tidligere nevnt finnes det egne håndbøker som omhandler utforming og forvaltning (Hb. N500 og Hb. 269), det er derimot metodikken for tunneler som er aktuell gjennom TS 2007:11. Analysen skal omhandle mulige scenarier med trafikkulykker, branner og andre uønskede hendelser - med andre ord alle forhold som vil ha innvirkning på sikkerheten til trafikantene og som kan oppstå i løpet av brukstiden til tunnelen. Type hendelse og størrelsesorden skal tydelig fremkomme (Vegdirektoratet, 2014). Ved hjelp av analysen skal eventuelle avvik fra sikkerhetskravene identifiseres, det skal vurderes risiko tilknyttet dette og foreslås eventuelle risikoreducerende tiltak som må gjennomføres. Det skal også fremkomme alternative løsninger hvis det oppstår situasjoner som fører til stenging av tunnel, som beskriver trafikkavviklingen og eventuelle omkjøringsalternativer.

Avslutningsvis vil forskrifter og krav være essensielt for å ivareta sikkerhetsutstyr fra det planlegges i prosjektfasen, til det installeres og etter hvert kommer i bruk i Tromsøysundtunnelen. Gode vedlikeholdsrutiner bidrar til at det tekniske utstyret til enhver tid fungerer og leverer tilbakemeldinger på hva som skjer inne i tunnelen. Gjennom oppgraderingen vil tunnelen få en ny og bedre sikkerhetsstandard.

De faktorer som påvirker sikkerheten for trafikanter i tunnel diskuteres nærmere under neste kapittel.

5.2 Risikofaktorer i tunnel

Ved ferdsel gjennom tunnel vil trafikantene oppleve ulike faktorer som påvirker sikkerheten. Noen vil være lik kjøring "i dagen", mens flere vil være spesielt rettet mot kjøring i tunnel. Det andre forskningsspørsmålet skal avdekke hvilke faktorer som påvirker sikkerheten for trafikanter i Tromsøysundtunnelen. De ulike tiltakene er delt opp i underkapittel og diskuteres fortløpende.

5.2.1 Sikt

Ren luft er avgjørende når det gjelder sikt og hvis det skulle bli behov for å forlate kjøretøyet for evakuering. Ventilasjon brukes aktivt for å hindre at støv, forurensning og fuktig luft fører til trafikkfarlige situasjoner. Å sikre god luftkvalitet i en tunnel vil alltid være utfordrende. Den naturlige ventilasjonen gjennom tunnelen vil være tilstede til enhver tid, men for å kunne kontrollere både retning og hastighet er det montert kraftige vifter i taket. Disse har varierende kapasitet og justeres ved behov for utlufting eller slås av under for eksempel målinger. Luftkvaliteten overvåkes med måleutstyr for CO og NO, og regulerer effekten på ventilasjonsanlegget på bakgrunn av resultatene. Det er vanskelig å måle dugg og eksoskonsentrasjonens påvirkning på sikten i tunnelen, men stort sett gir ventilasjon basert på dimensjonerende krav til luftkvalitet (CO, NO) også tilfredsstillende sikt (Forsmo, 2016). Om forurensningsnivåene blir for høy, vil tunnelen stenges for trafikk.

Farten gjennom tunnellopene T1 og T2 er høy og årsdøgntrafikken er som tidligere nevnt på nesten 10 000 biler i døgnet. Det er derfor ikke mulighet for gående og syklende å ferdes i tunnelen. Det stilles spesielle krav til luftkvalitet for gående og syklende i tunnel, som nevnt i Tabell 6 for dimensjonerende luftkvalitet. Ventilasjonen er ikke programmert for å opprettholde disse verdiene i tunnelen, og det vil derfor utgjøre fare ved sykling.

Tidligere ble det brukt salt for å bedre luftkvaliteten ved å binde støvet. Men nå viser undersøkelser at salting i tunneler går utover trafiksikkerheten og frarådes dermed. Saltet binder vann og kan gjøre veiene glatte. Det er derfor viktig at tunnelen vaskes og spyles grundig som en del av vedlikeholdet for å begrense støvet og bedre sikten.

Brannventilasjon er en del av ventilasjonsanlegget og kan kjøres ved behov eller ved uforutsette hendelser som brann i tunnelen. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 5 under konsekvensreducerende tiltak.

5.2.2 Kjøreforhold

Både i undervannstunneler og vanlige tunneler vil det dreneres vann gjennom berg og fjell, og ned i tunnelprofilen. Vannet, særlig sjøvann som er gjeldende for undersjøiske tunneler, fører til at veibanen blir svært glatt. Ved lave temperaturer dannes det issvuller som vil påvirke veigrepet og kan være en bakenforliggende årsak til ulykker. Den undersjøiske lbestadtunnelen i Troms fylke er dessverre et godt eksempel på glatt veibane som følge av sjøvann, kommenterer brannvernleder for tunneler i Midtre Hålogaland. Her er det store utfordringer med våt veibane, både for trafikanter og syklister. Tunnelen skal utbedres gjennom den nye sikkerhetsforskriften slik at problemet forsvinner.

Vannsikringen skjer normalt ved avskjerming av vannet som føres videre ned til grøft eller drenslag, og vekk fra sålen. For å utnytte bergets varmegivende effekt endettes alle vann- og frostsikringskonstruksjoner for å hindre vannlekkasje og luftstrømning mot frostinntrengning bak konstruksjonene (Vegdirektoratet, 2006). Det benyttes membraner med sveiste skjøter for å hindre avrenning i veibanen. Ved glatt veibane merkes dette godt på utsiden av portalen, slik at trafikanter skal avpasse farten etter forholdene. Glatt veibane vil også oppstå på vinteren i portal eller i nær tilknytning til tunnelåpning ved skifte fra snødekke til bar asfalt. Snøen smelter av varme dekk og legger seg som vann i veibanen, vannet fryser ved kaldt vær og danner is. Det må dermed rettes ekstra oppmerksomhet mot inn- og utgangssoner i tunneler på vinterstid for å unngå nettopp denne problemstillingen.

Ved fare for dyr i tunnelen må det iverksettes tiltak som ferist og gjerder rundt for å unngå dyr i tunnelen. Det er påvist tilfeller i tunneler ute i distriktet som er plaget med at dyr urinerer inne i tunnelen. Dette fryser og lager en hinne av is.

5.2.3 Belysning

Lysforholdene har stor betydning for oppførsel og sikkerhet. Ofte stiger hastighetsnivået under gode lysforhold, mens kjøretøy i mørkere tunneler holder større avstand. Samtidig må fokuset være rettet mot sikkerhet og komfort, og for å ivareta dette på lengre strekninger kreves det god sikt ved høyere hastighet.

Dagsonen innenfor portalen gjør overgangen fra lyst til mørkt på vei inn i tunnelen og fra mørkt til lyst ut av tunnelen, mindre. Dette bidrar til en mykere overgang for trafikanter. I den lyse årstiden er

belysningen i dagsonen sterk, mens det i den mørke årstiden er noe tonet ned. Dette sikkerhetstiltaket bidrar til å øke oppmerksomheten til trafikantene med mer realistiske lysforhold.

Det er tidligere nevnt hvor viktig det er å vaske tunnelen for å forbedre luftkvaliteten, og dermed sikten. Vasken av overflaten og lysarmaturene er like viktig for å øke lysforholdene inne i tunnelen, jf. Figur 13. Resultatene viser at det er opp mot 55 % økning i lysrefleksjon etter vask. Hyppigere vask gir mer lys og bedre trafikksikkerhet, er energibesparende og gir bedre synsforhold (Wanvik, 2013). Dette viser hvor viktig det er med rene overflater for å oppnå godt lys.

5.2.4 Stigning

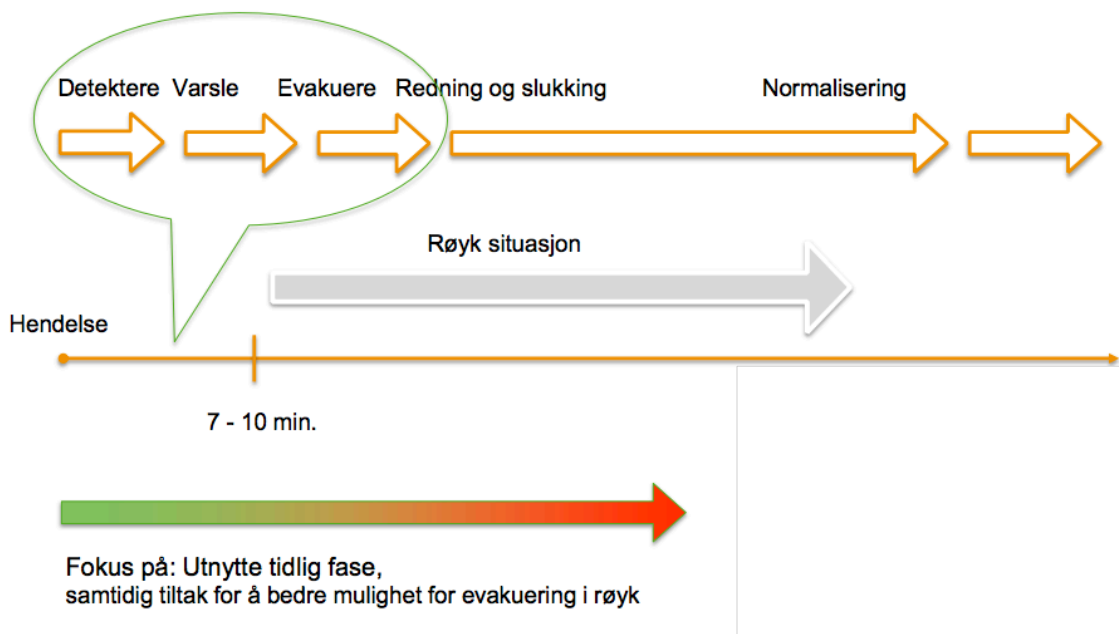
Undersjøiske tunneler skiller seg fra andre tunneler ved større stigningsgrad. De går dypt og veien må legges i sløyfer for ikke å overstige tillatt stigningsgrad gitt i Tabell 3 med grunnlag i trafikkretning og ÅDT. Dette fører til større hastighetsforskjeller mellom lette og tyngre kjøretøy, da tyngre kjøretøy må kjøre i lavere hastighet og roligere nedover. Tilsvarende vil vekten hindre større kjøretøy å kjøre i like høy hastighet som personbiler oppover i undersjøiske tunneler (Nævestad & Meyer, 2012).

Risikoen for ulykker med eventuell brann øker også på større kjøretøy, både fordi bremses/motorbrems kan gå varme på vei ned i tunneler og at motoren (for eksempel turboen) går i stykker på grunn av hard belastning på vei oppover. Sistnevnte årsak er anført i Søndre Follo Brannvesens granskningsrapport fra 2011 etter brannen i Oslofjordtunnelen 23. juni 2011. Tyngre kjøretøy er overrepresentert i veitunnelulykker, og av de 11 tunnelbrannene i Oslofjordtunnelen fra 2008 til 2011 var tyngre kjøretøy involvert i åtte av disse. Årsaken til brannen var i 2/3 av tilfellene varmgang i bremses og i de resterende tilfellene varmgang i motor eller motorhavari (Nævestad & Meyer, 2012). Særlig utenlandske trailere er utsatt for brann da de ofte er toakslede, eldre enn norske og med lavere motoreffekt. Belastningen på kjøretøyet vil derfor øke når de ferdes tungt lastet i kupert terreng her i Norge. Skandinaviske trailere er mer tilpasset topografien i de nordiske landene ved at de har tre aksler og kraftigere motor (Nævestad & Meyer, 2012). Sammen med erfaringen skandinaviske sjåførere har opparbeidet seg vil dette redusere sjansen for overbelastning i kupert terreng.

Med opp mot 8,2 % stigning i Tromsøysundtunnelen vil faren for brann i tyngre kjøretøy være en relevant problemstilling. En viktig del av sikkerheten vil derfor være opp til trafikanten selv når det skjer hendelser. Reaksjonstid, adferd, og fremgangsmåte for varsling og evakuering vil være avgjørende. Dette diskuteres nærmere under.

5.2.5 Adferd, varsling og evakuering

De foregående forhold må være tilstede og optimale for å unngå at hendelser skal forekomme. Hvis ulykken først er ute, vil fokuset være å reagere på riktig måte for å redusere konsekvensene i størst mulig grad. Figur 18 illustrerer tidsforløpet fra en hendelse oppstår til trafikanter har evakuert ut:



Figur 18 Handling ved hendelse i tunnel (Olufsen, 2016)

Den viktigste fase i forbindelse med brannhendelser i tunnel er de første 15 – 25 minuttene (Norsk veiteknisk forbund, 2004). I disse minuttene er det i mange tunneler, særlig ute i distriktene, umulig å forvente at helse, brann eller politi vil komme til stedet. Selvberging blir derfor den grunnleggende filosofi.

Reaksjonstiden vil være helt avgjørende for å begrense konsekvensen i størst mulig grad. Det er derfor viktig at alle som befinner seg inne i tunnelen når det oppstår brann, oppfatter situasjonen raskt og rømmer i sikkerhet snarest mulig. I evakueringsfasen er trafikanten i en stresset situasjon og agerer ofte deretter. Denne prosessen krever at trafikantene gjør en innsats utover normalen, for å redde sitt eget og andres liv. De tre ulike fasene er beskrevet godt av Norsk veiteknisk forbund (2004):

1. **Deteksjonsfasen**

Tiden det tar å bli oppmerksom på at en unormal hendelse har oppstått. I branntilfeller er dette tiden det tar fra en brann oppstår til man har oppfattet og forstått hva situasjonen innebærer.

2. Alarmfasen

Tiden det tar å vurdere hvilken respons som er mest hensiktsmessig ut ifra den gitte situasjonen.

3. Tiltaksfasen

Tiden det tar å iverksette aktuelle tiltak, inkl. selve evakueringen.

Den totale evakueringstiden vil være summen av tiden i disse tre fasene, og er avhengig av både brannstørrelse og røykutvikling (Norsk veiteknisk forbund, 2004). De to første fasene vil spille en viktig rolle for skadepotensialet. Detektering, varsling og evakuering er derfor helt avgjørende faktorer for å begrense omfanget av en hendelse.

Trafikanter adferd er viktig for sikkerheten til seg selv og andre trafikanter. Særlig ved hendelser som fører til røykutvikling er det viktig å forholde seg til anbefalt fremgangsmåte fra Kriseinfo (2012) som forklart under:

Generelt:

- *Kjør aldri inn i tunnel som er stengt ved røde lys eller bom.*
- *Bruk nødtelefoner for varsling, ikke mobiltelefon. Veitrafikkentralen (VTS) får da direkte melding om hvilken tunnel det gjelder og hvor du befinner deg. De kan stenge tunnelen og hindre ytterligere trafikk inn.*
- *Bruk brannslukkingsapparat i tunnelen ved brann. I det øyeblikket apparatet fjernes utløses brannalarmen hos VTS, brannventilasjon aktiveres og tunnelen stenges.*

For ettløpstunnel (trafikk i begge retninger):

- *Om mulig kjør ut av tunnelen. Hvis nødvendig snu og kjør tilbake svært varsomt.*
- *Varsle møtende trafikk.*
- *Varsle VTS om situasjonen fra nødtelefon.*
- *Vurder risikoen med å snu, forlat evt. bilen på siden av veien med nødblind på, og evakuer ut langs siden. Skilt viser retning og avstand til nærmeste utgang.*

Toløpstunnel (trafikk i samme retning):

- *Ikke snu, dette medfører fare!*
- *Varsle via nødtelefon.*

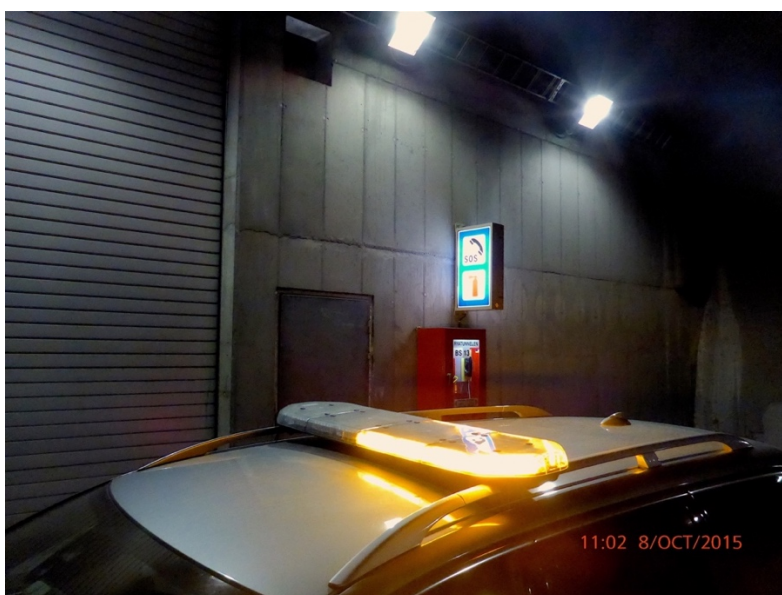
- *Forlat bilen på siden av veien ned nødblink på, og evakuer ut gjennom nærmeste tverrslag/nødutgang. Skilt viser retning og avstand til nærmeste utgang. Vær forsiktig når du går inn i det andre løpet.*

Dette er konkrete handlingsmåter for trafikanter ved brannhendelser. En bevisstgjøring rundt disse enkle tiltakene vil bidra til å sette trafikanters tankegang rundt adferd i tunnel på dagsorden.

De installerte nødkioskene i Tromsøysundtunnelen skal stille sikkerhetsutstyr til disposisjon for trafikanter og være godt synlig. Når nødtelefon eller brannslukkere benyttes, varsles Veitrafikksentralen umiddelbart. Bommene som stenger tunnelen går ned og stoppblinksignal skrur på for å markere stengt tunnel. Det er viktig å bemerke seg at nødkioskene ikke beskytter mot røyk eller brann, så det vil ikke være mulig å oppholde seg trygt i disse ved røykutvikling.

Mange bilister vil føle det tryggere å benytte seg av egen mobiltelefon uten å gå ut av bilen. Problemet er at det vil gå lengre tid før tunnelen stenges og flere bilister kan bli innblandet. Samtidig er det utfordrende å formidle nøyaktig posisjon hvor ulykken har skjedd. Ved bruk av nærmeste nødtelefon får operatørene på Veitrafikksentralen opp hvilken tunnel det gjelder og posisjon på nødtelefon. De iverksetter tiltak ved for eksempel aktivering av brannventilasjon og varsling av nødetatene. De kan også gi nærmere beskrivelse av hendelsen til nødetatene slik at redningsinnsatsen effektiviseres.

Figur 19 under viser nødskap med merking i Ryatunnelen utenfor Tromsø. Bildet ble tatt under befaring på de tekniske rommene høsten 2015.



Figur 19 Nødskap med merking og lysbruk i Ryatunnelen, Tromsø (Aas-Pettersen, 2015)

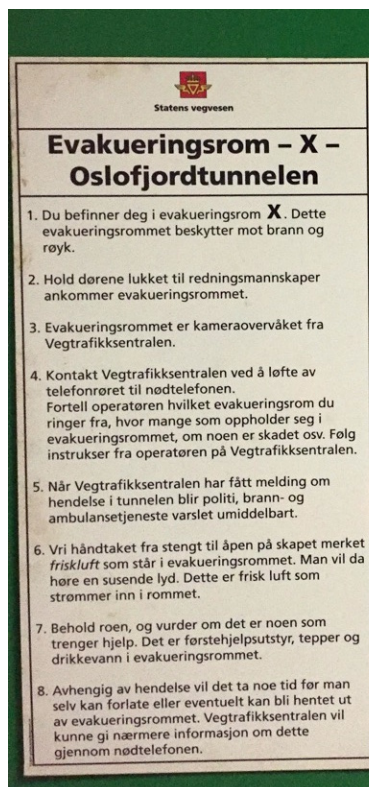
Etter hvert som deknningen bygges ut er bruk av DAB radio til formidling av nødmeldinger mer relevant enn på FM-båndet. DAB-meldingene kan bryte inn på alle radiokanaler og trafikantene er derfor ikke avhengig av å lytte til en spesiell frekvens. Gjennom oppgraderingen i Tromsøysundtunnelen vil det som tidligere beskrevet installeres DAB. Dette gjør at varslingen blir lettere å formidle til alle trafikanter inne i tunnelen. Ved hjelp av tidlig varsling og riktig adferd vil tiden i de første tre fasene i Figur 18 reduseres og trafikanter får bedre tid til evakuering.

Ved brann vil personer ofte forflytte seg vekk fra hendelsen i samme retning som de kom inn. I Norge er det selvredningsprinsippet som gjelder ved evakuering fra tunnel. Trafikanter skal selv ta seg ut, enten til fots eller ved hjelp av eget kjøretøy. I tunneler med toveistrafikk brukes som tidligere nevnt havarinisjer og snunisjer til bruk i nødsituasjoner. I tunneler med bare et løp vil det i de fleste tilfeller være bare to veier ut. I Tromsøysundtunnelen med to løp vil korteste rømningsvei være gjennom en av de 15 tverrslagene og inn i det andre løpet. Dette fører til at de aller fleste forflytter seg relativt raskt over i en sikker sone.

Evakueringsrom er benyttet som ekstra sikkerhetstiltak i Oslofjordtunnelen for å få tunnelen sikkerhetsgodkjent etter storbrannen i 2011, hvor 7 personer søkte tilflukt i rom inne i tunnelen (Tollefsen, 2016). Med ett løp og begrensede rømningsalternativer ble beste løsning å få installert 25 evakueringsrom. Rommene har egen lufttilførsel i 3 timer og kan ta opptil 50 personer. De er utstyrt med førstehjelpsutstyr, rent vann på flasker, kameraovervåkning og nødtelefoner med direkte kontakt med veitrafikksentralen som i samme øyeblikk får opp eksakt hvilket rom det gjelder. Figur 20 under til venstre, viser ett av evakueringsrommene i Oslofjordtunnelen. Figur 21 til høyre viser oppslaget for bruk av rommet under nødstilfeller.



Figur 20 Evakueringsrom Oslofjordtunnelen



Figur 21 Beskrivelse for evakueringsrom i Oslofjordtunnelen

Evakueringsrommene er et av flere ekstraordinære sikkerhetstiltak som er benyttet i den risikoutsatte Oslofjordtunnelen på grunn av høy trafikkmengde, undersjøisk tunnel og flere alvorlig brannhendelser. I Tromsøysundtunnelen som har to løp og gode rømningsmuligheter hver 230 meter gjennom tverrslagene, vil slike rom være unødvendig.

Veidirektoratets rapport om streknings-ATK i tunnel (2013) slår fast at dette tiltaket virker fartsreducerende i tunneler. Gjennomsnittshastigheten synker, og de høye hastighetene reduseres nesten til null. Minst 90 % holder fartsgrensen etter at SATK er tatt i bruk, og den fartsreducerende effekten er størst der fartsnivået er høyt før tiltaket ble implementert.

Generelt kan der poengteres at hvis trafikanter følger disse enkle tiltakene om riktig handling ved hendelser, vil mye av innsatsen fra nødetatene konsentreres rundt skadebegrensning istedenfor redning.

5.2.6 Beredskap

For enhver tunnel over 500 meter under bygging, i bruk eller ved større oppgraderinger skal det foreligge en beredskapsplan. Denne planen skal utarbeides i prosjekteringsfasen i samarbeid med de lokale redningsetatene. En beredskapsplan er i prinsippet en avtale mellom tunnelens eier og redningsetatene om ansvarsfordeling og innsats hvis det skulle oppstå en uønsket hendelse i tunnelen. Den skal også inneholde informasjon om teknisk beredskap og andre lokale utfordringer. Den tekniske beredskapen innebærer at tunnelforvalteren har vurdert korrektive tiltak for alle hendelser som kan skje med det tekniske utstyret (Vegdirektoratet, 2014). Beredskapsplanen skal ivareta rutinene ved en uønsket hendelse og tydelig klargjøre ansvarsfordelingen mellom de ulike etatene som resulterer i et mer effektivt redningsarbeid hvis ulykken først er ute.

Gjennom systematisk bruk av de forebyggende sikkerhetstiltakene basert på risikoanalyser, er det mulig å definere sikkerhetsnivå og redusere risikoen for at en uønsket hendelse inntreffer. Beredskapsplaner og redningsplaner er fundamentale forutsetninger i det skadebegrensende sikkerhetsarbeidet. Det arrangeres øvelser med nødetatene i Tromsøysundtunnelen for å teste personell og utstyr som er tilknyttet redningssystemet. Dette er god trening og brannvernleder for tunnelen har ansvaret for å følge opp at øvelsene gjennomføres. Samtidig er det viktig at utstyret i tunnelen fungerer optimalt, så det bør foreligge en plan for systematisk vedlikehold av tilgjengelig sikkerhetsutstyr. For å oppnå et slikt sikkerhetsnivå kreves det at de forutsetninger som ligger til grunn for de forebyggende og skadebegrensende tiltakene overholdes (Norsk veiteknisk forbund, 2004). De som trafikkerer tunnelen må overholde de kjøretekniske kravene, samt at kjøretøy som frakter farlig gods forskrifter seg om at dette er forsvarlig lastet og sikret.

5.3 Risikoanalyse av Tromsøysundtunnelen

Tromsøysundtunnelen brukes som utgangspunkt for risikoanalysen for å sammenligne sikkerhetssystemene før oppgradering, med nivået når oppgraderingen er slutført. Gjennom analysen blir sikkerhetsutfordringer og konsekvensreduserende tiltak ved brann diskutert, og eventuelle andre sikkerhetstiltak argumentert for.

For alle veitunneler lengre enn 500 meter på riksveinettet foreligger det krav om at det skal gjennomføres en risikoanalyse. Formålet med det etablerte sikkerhetsdirektivet er som nevnt tidligere å oppnå et minimum sikkerhetsnivå for trafikanter ved å forebygge kritiske hendelser som kan sette menneskeliv, miljø og tunnelinstallasjoner i fare. Det skal også gi vern ved eventuelle ulykker. Gjennom Håndbok N500 stilles det krav til flere sikkerhetsparametre som skal vurderes særskilt for tunnel. Dersom tunnelen har særtrekk når det gjelder disse parameterne, skal det utarbeides en risikoanalyse for å fastslå om det er nødvendig med ytterligere sikkerhetstiltak og/eller tilleggsutstyr for å sikre et høyt nok sikkerhetsnivå i tunnelen (Schultz, Risikoanalyse Hålogalandsveien, 2016).

Vurdering av sikkerhet i veitunneler, forebyggende og/eller skadereduserende tiltak, skal være basert på risikoanalyser. En forenklet risikoanalyse med fokus på brannsikkerheten i Tromsøysundtunnelen gjennomføres for å vurdere den sikkerhetsmessige effekten av oppgraderingen. Den baseres på vurderinger og erfaringer fra forfatter av oppgaven i samråd med kompetent personell hos SVV. Analysen er kvalitativ, men bygger på noe kvantitative data for å fremheve sannsynlighet for at slike brannhendelser oppstår i tunnelen. Fremgangsmåten brukes av Statens vegvesen i dag, og følger prinsippet fra Figur 2 i teorikapitlet om fremgangsmåte på fem trinn.

5.3.1 Risikobilde

Analysen i denne oppgaven tar for seg forhold som påvirker sikkerheten i tunnel, og vil gå nærmere inn på sikkerhetssystemer og utstyr for bruk under selvberging ved brann. I tunnelen er det varierende trafikkmengde, med både lette og tunge biler. Selv om døgntrafikken ikke er spesiell høy på landsbasis, er det ved visse tidspunkt på døgnet høy trafikkmengde på samme tidspunkt inne i tunnelen. Mye av rushtrafikken hver morgen og kveld går gjennom tunnelen. Som beskrevet tidligere i kapitlet er dette en toløpstunnel, med trafikk i en og samme retningen gjennom hvert av løpene.

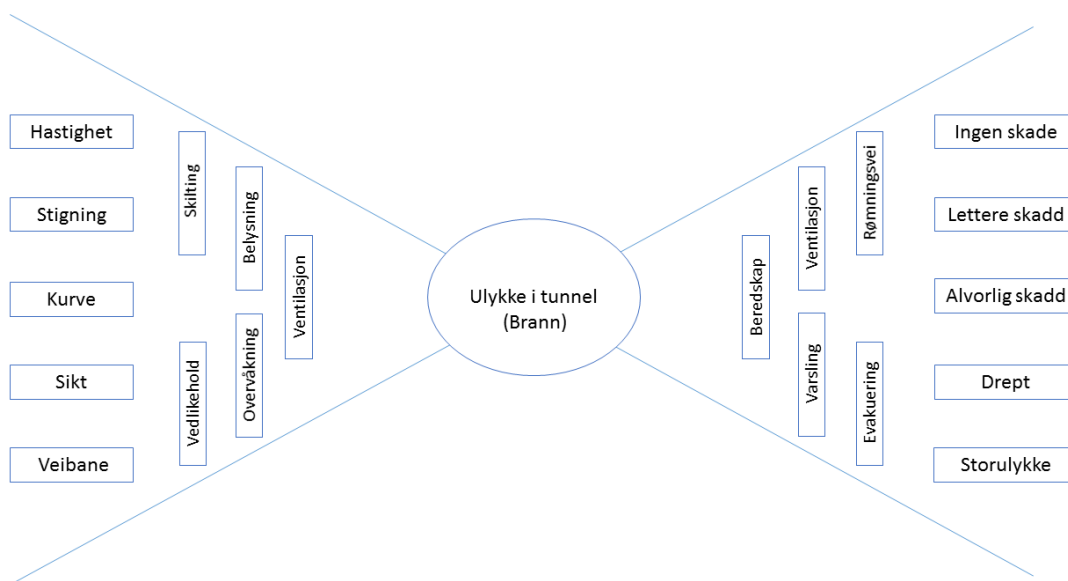
Gjennom arbeidet med analysen er Håndbok N500 "Vegtunneler" og Håndbok N269 "Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler" brukt som grunnlag for beslutninger. En kvalitativ risikoanalyse innebærer å forenkle og beskrive risikobilde til håndterbare størrelser, blant annet ved å velge ut de mest kritiske brannscenariene for brannsikkerheten som bør undersøkes nærmere. Den kvalitative analysen gjennomføres med fokus på å kartlegge problemer, uten å bruke beregninger.

Det er ikke satt eksakte vurderingskriterier for risiko i tunnelprosjekter i Statens vegvesen.

Det bestemmes løsninger på bakgrunn av flere forhold som standarder og normaler, Statens vegvesens 0-visjon og fagkunnskap på hvilke løsninger som er de beste for å fungere optimalt i det miljøet de er tiltenkt (Schultz, Risikoanalyse Hålogalandsveien, 2016). Statens vegvesens 0-visjon stiller krav til et sikkert veisystem. Det skal føre frem til sikker adferd, løsningene skal være logiske og lettleste for trafikanter og redusere sannsynligheten for feilhandlinger. Veimiljøet skal være informativt og ukomplisert, og ha fokus på sikker fart gjennom utforming og fartsgrenser (Schultz, Risikoanalyse Hålogalandsveien, 2016).

Risikoanalysen skal belyse risikobildet. Måten dette utføres på avhenger av metoden som benyttes og hva resultatene skal brukes til, men hensikten er alltid den samme; å få en best mulig forståelse av risikobildet (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007). Figur 22 viser et eksempel på risikobildet for å identifisere uønskede hendelser som kan føre til brann i tunnelen, årsaker til disse og mulige konsekvenser med tilhørende sannsynlighet.

Venstre side av figuren illustrerer årsaksbilde som leder opp til den uønskede hendelsen. Et slikt årsaksbilde kan være komplisert med flere faktorer som spiller sammen. Den høyre siden viser utviklingen av en hendelse. En hendelse kan utvikle seg på mange forskjellige måter, avhengig av sikkerhetsutstyr, hvor i tunnelen den skjer, værforhold, tid på døgnet etc. (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007).



Figur 22 Eksempel på risikobilde for brannsikkerhet i Tromsøysundtunnelen

Den initierende hendelsen er ulykke i tunnel med brann. På venstre side er årsaker til hendelsen illustrert. Dette er forhold som enten er avhengig av føreren av kjøretøyet eller bygningstekniske forhold. De ulykkesforebyggende barrierene som skal hindre den uønskede hendelsen å inntreffe er avhengig av vedlikehold, overvåkning og god informasjon til bilistene. På høyre side er de skadereduserende barrierene som skal begrense skadeomfanget hvis ulykken skjer. Dette er sikkerhetssystemene som skal ivareta varsling, evakuering og redning for i størst mulig grad å hindre alvorlige konsekvenser.

Før en risikoanalyse gjennomføres skal det foreligge en tunnelsikkerhetsberegning (TUSI) for tunnelen. Her fastlegges omfanget av en uønsket hendelse som personskadeulykker, branntilløp, kjøretøystopp etc. (Wiencke, Midtgaard, & Engebretsen, 2007). TUSI for Tromsøysundtunnelen ble utarbeidet i 2009, og den komplette beregningen ligger som vedlegg 1 til denne oppgaven. Siden analysen ble utarbeidet har trafikkmengden økt, men dette utgjør ikke de store forskjellene i disse resultatene. Det er også lagt til grunn en gjennomsnittshastighet på 60 km/t i hvert løp. Dette er noe lavere enn faktisk hastighet per i dag, som varierer fra 60 til 80 km/t. Det som bør bemerkes er at TUSI er laget for hvert tunnellop, og som dermed gir en lavere risiko enn om det hadde vært utarbeidet en felles for begge løp. Tabell 9 viser frekvens på branntilløp som fremkommer av TUSI:

Tabell 9 Frekvens på branntilløp (Østensen, 2009)

Branntilløp	Tunnelløp T1:	Tunnelløp T2:
Lette kjøretøy:	0,090 hendelser per år	0,094 hendelser per år
	11,1 år mellom hver hendelse	10,6 år mellom hver hendelse
Tunge kjøretøy:	0,019 hendelser per år	0,020 hendelse per år
	53 år mellom hver hendelse	49,7 år mellom hver hendelse
Totalt:	0,109 hendelser per år	0,114 hendelser per år
	9,2 år mellom hver hendelse	8,8 år mellom hver hendelse

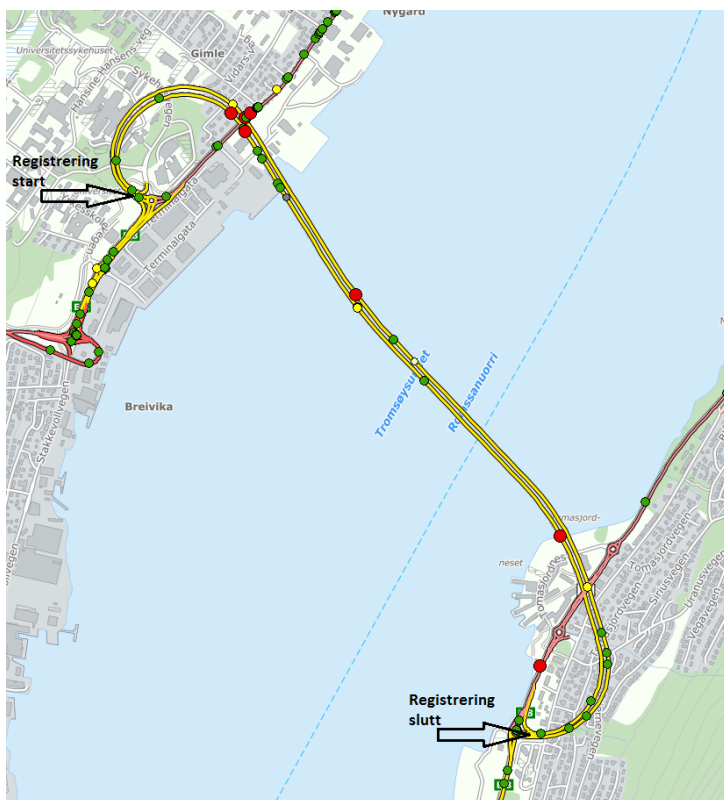
Dataene viser at branntilløp er tilnærmet likt i begge løpene. Sannsynligheten for at det oppstår brann i lette kjøretøy er betydelig høyere enn i tunge kjøretøy, basert på trafikkteiling. På tross av at det beregnes forholdsvis lang tid mellom hver hendelse og liten sannsynlighet, er konsekvensene store når det først skjer et branntilløp eller en brann inne i tunnelen.

STRAKS er Statens vegvesen registrerings- og rapporteringssystem for trafikkulykker, og ligger til grunn for statistikken brukt i analysen. Systemet inneholder data fra politiets "Rapport om veitrafikkuhell" og er det sentrale grunnlaget for det systematiske trafikksikkerhetsarbeidet i etaten (Schultz, Risikoanalyse Hålogalandsveien, 2016).

STRAKS opererer med følgende skadegradsdefinisjoner:

- Drept: En person som dør med en gang eller innen 30 dager som et resultat av en veitrafikkulykke.
- Meget alvorlig skadd: Personer med skader som en tid truer pasientens liv eller som fører til varig mén.
- Alvorlig skadd: Personer med større, men ikke livstruende skader.
- Lettere skadd: Personer med mindre brudd, skrammer osv. som ikke trenger innleggelse på sykehus.

Det er valgt å slå sammen "Meget alvorlig skadd" og "Alvorlig skadd" i denne analysen for å få en mer ryddig fremstilling i tabell og matrise. Det gjøres oppmerksom på at ulykker registrert i STRAKS er oppført med den alvorligste skadegrad for ulykken. Eksempel på dette er at det kan være en drept og flere andre med lavere skadegrad i en ulykke, men det vil allikevel fremkomme som skadegrad "Drept" (Schultz, Risikoanalyse Hålogalandsveien, 2016). Figur 23 under viser ulykkene i Tromsøysundtunnelen med registrert personskade i tidsrommet 1996 til 2015. Ulykkene er registrert med fargekoder hvor grønn viser lettere skadd, gul viser alvorlig skadd og dødsulykker er markert med rød farge.



Figur 23 Ulykkeshendelser Tromsøysundtunnelen (tidsrom 1996-2015)

Fra de registrerte ulykkene i bildet over, er ulykkesstatistikken satt inn i Tabell 10 som vist under. Her er hver ulykke nummerert i rekkefølge fra start på tunneløpene i Breivika og til utkjøring på Tomasjord. Tabellen tar for seg året ulykken skjedde i, hvor mange kjøretøy som var involvert, skadeomfanget rangert i farger, og antall skadde i hver ulykke.

Tabell 10 Ulykkesstatistikk Tromsøysundtunnelen

NUMMER	ÅR	TYPE ULYKKE	Antall kjøretøy	SKADEOMFANG	ANTALL SKADD
1	1996	Høyresving foran kjørende i samme retning	2	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
2	2004	Enslig kjøretøy kjørte utfor på venstre side i høyrekurve	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
3	1999	Enslig kjøretøy kjørte utfor veien på høyre side i høyrekurve	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
4	2001	Enslig kjøretøy kjørte utfor på venstre side i venstrekurve	1	ALVORLIG SKADD	1 alvorlig skadet 1 lettere skadet
5	2007	Enslig kjøretøy kjørte utfor på venstres side på rett veistrekning	1	DREPT	1 drept
6	2005	Enslig kjøretøy kjøre utfor på venstre side i høyrekurve	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
7	2011	Enslig kjøretøy kjørte utfor på venstre side i høyrekurve	1	DREPT	1 drept 1 alvorlig skadet
8	2012	Enslig kjøretøy kjørte utfor på høyre side i høyrekurve	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
9	2008	Enslig kjøretøy veltet i veibanen	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
10	2005	Påkjøring bakfra	2	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
11	2005	Påkjøring bakfra	4	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
12	2010	Enslig kjøretøy kjørte utfor på venstre side i høyrekurve	1	DREPT	1 drept
13	2012	Enslig kjøretøy kjørte utfor på høyre side på rett veistrekning	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
14	2012	Enslig kjøretøy kjørte utfor på høyre siden på rett veistrekning	1	ALVORLIG SKADD	1 alvorlig skadet
15	2001	Enslig kjøretøy kjørte utfor på venstre side på rett veistrekning	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
16	2008	Skifte av felt til venstre	2	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
17	2011	Påkjøring bakfra	2	DREPT	1 drept

18	2000	Uhell med uklart forløp hvor enslig kjøretøy kjørte utfor veien	1	LETTERE SKADD	2 lettere skadet
19	2004	Enslig kjøretøy kjørte utfor på venstre side i venstrekurve	1	LETTERE SKADD	2 lettere skadet
20	2009	Uhell med uklart forløp / uhell som ikke faller inn under noen bestemt kategori	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
21	1999	Påkjøring bakfra	2	LETTERE SKADD	2 lettere skadet
22	2013	Enslig kjøretøy kjørte utfor på høyre side i venstrekurve	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
23	2001	Enslig kjøretøy kjørte utfor på høyre side i venstrekurve	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet
24	2015	Enslig kjøretøy kjørte utfor på venstre side på rett veistrekning	1	LETTERE SKADD	1 lettere skadet

Slik det fremkommer av tabellen over ser vi at det er 3 personer som har mistet livet i utforkjøring og 1 person har omkommet ved påkjøring bakfra. Noen ulykker har ført til alvorlig skadde, mens de fleste har kommet lettere skadd ut av hendelsene. Ingen av hendelsene med registrert personskade har utviklet seg til branntilløp eller brann. Dette viser at sannsynligheten for at brann oppstår i tunnelen er liten, derimot er konsekvensene store den dagen det eventuelt skulle oppstå en situasjon med en ulykke som utvikler seg til en brann. Det er så langt ikke registrert noen ulykkeshendelser med personskader i tunnelen i 2016.

Beslutningskriteriene ligger til grunn for å vurdere om risikonivået ligger innenfor rammen av hva som er teknisk og økonomisk mulig å oppnå for å redusere eller kompensere for antall drepte eller hardt skadde for tunnelen. Følgende kriterier ligger til grunn for disse vurderingene

- Endring i risiko
- Nytte mot kostnad

5.3.2 Identifisering av sikkerhetsutfordringer

Med sikkerhetsutfordringer menes de forhold ved tunnelen som kan gi risiko for de uønskede hendelser som kan medføre konsekvenser for trafikanter. Det foreligger risikoanalyser og sjekklisterbaserte risikovurderinger av Tromsøysundtunnelen før oppgraderingen, men flere av disse utfordringene blir borte nå som det installeres nye systemer. Forfatteren av oppgaven har vurdert de

ulike hendelsene som kan oppstå i tunnel med grunnlag i diskusjoner med fagpersonell både innenfor SVV og utenforstående, se tabell under. Der det er funnet spesielle risikoforhold er dette merket av i tabellen.

Tabell 11 Uønskede hendelser som kan medføre økende risiko i tunnel

UØNSKEDE HENDELSER SOM KAN MEDFØRE ØKENDE RISIKO I TUNNEL					
NUMMER	ELEMENT	Hendelse	Variant	RISIKO	
1	Tunnel	Møteulykke	Lette kjøretøy	Kan skje	
2			Lett mot tungt kjøretøy	Kan skje	
3			Tunge kjøretøy	Kan skje	
4		Påkjørsel bakfra	Lette kjøretøy	Kan skje	
5			Lett kjøretøy påkjørt av tunge kjøretøy	Kan skje	
6		Utforkjøring	Vegg, bankett, havarilomme.	Kan skje	
7		Feltskifteulykke	Lette og tunge kjøretøy	Kan skje	
		Kollisjon	Sammenstøt mot stein/is	Ikke mulig	
8		Portal	Påkjørsel bakfra	Lette og tunge kjøretøy	Kan skje
9		Brann	Liten brann (5 MW)	Lette kjøretøy	Kan skje
10	Stor brann (>20 MW)		Tunge kjøretøy	Kan skje	
11	Lekkasjer	Påkjørsel portal	Lette og tunge kjøretøy	Kan skje	
12		Farlig gods	Tunge kjøretøy	Kan skje	
16		Vann i veien	Lette og tunge kjøretøy	Kan skje	

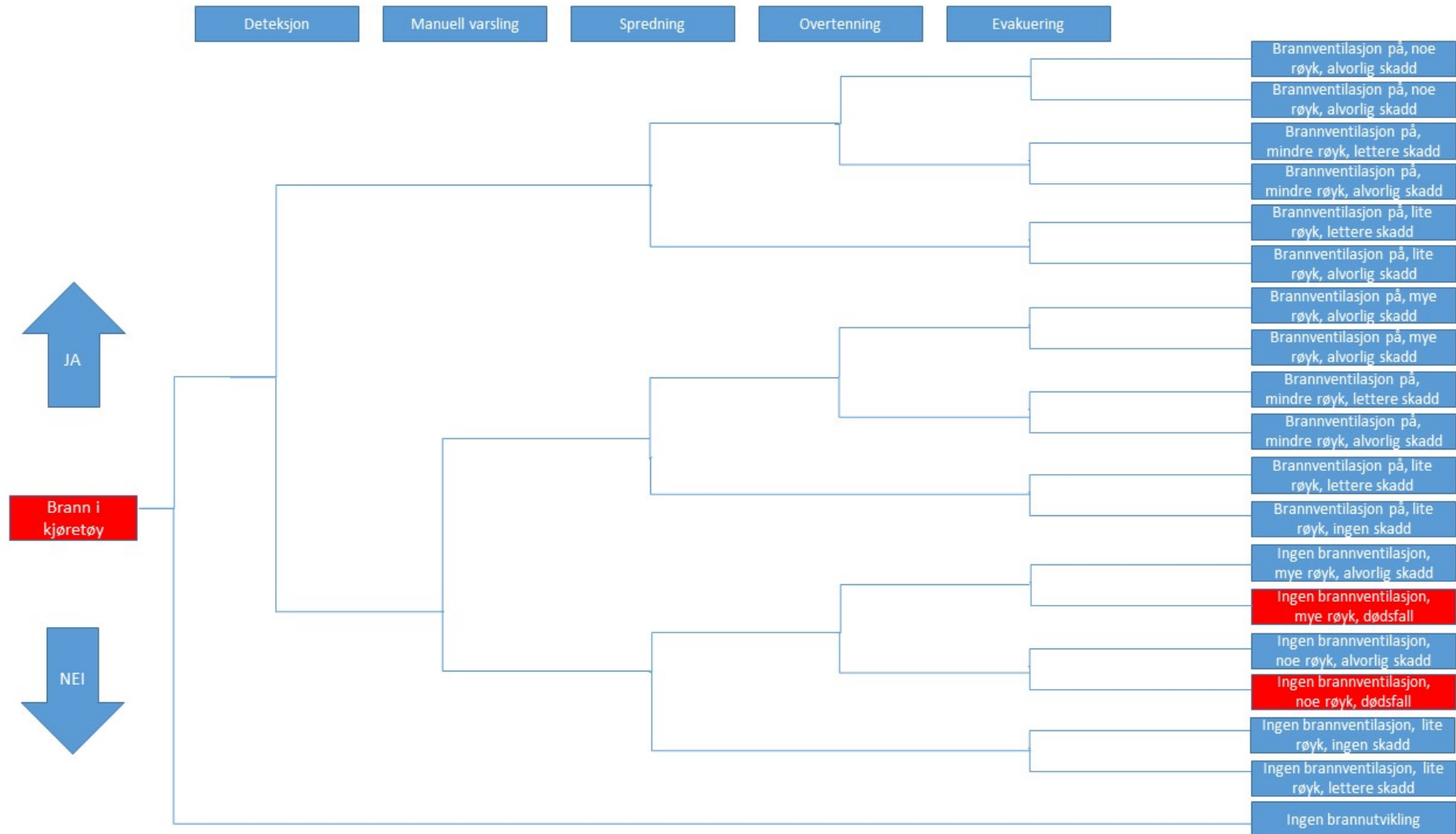
Tabell 11 over viser uønskede hendelser som kan medføre risiko knyttet til området inne i Tromsøysundtunnelen. Områdene merket med grønt utgjør ikke noen stor risiko. Da kollisjon mot stein og is, samt vann i veien kan skje men ikke er vurdert som de store risikomomentene, er de markert med grønt. Påkjørsel bakfra, utforkjøringer og feltskifteulykker er alle registrert i statistikken fra tunnel, og er definert i gult området som kan gi risiko. Slike ulykker kan også utvikle seg til branntilløp eller fullt utviklet brann. Lekkasjer kan være årsak til ulykker eller komme som en konsekvens av ulykker, dette gir risiko. De definerte farene i rødt område er liten eller større brann, i lette eller tunge kjøretøy. Dette scenarioet utgjør stor risiko og er merket i rødt området. Da tunnelen har to separate løp, men trafikk i samme retning i hvert løp, er risikoen for møteulykker lav. Det har derimot vært flere tilfeller hvor biler har kjørt inn i feil tunnellop, både tidligere og under oppgraderingen, slik at sannsynligheten er tilstede. En front mot front-kollisjon i slike hastigheter inne i tunnellop vil kunne føre til alvorlig konsekvenser. Møteulykker er derfor markert som rødt.

Ved slike hendelser vil tidligere nevnte forhold som påvirker sikkerheten ytterligere spille en sentral rolle for evakuering. Disse forholdene blir videre i analysen vurdert i risikomatrise for å sammenligne sikkerhetsnivået før og etter oppgraderingen.

Flere ulike faktorer vil kunne medvirke til at en uønsket hendelse oppstår:

- Uoppmerksomhet hos fører
- Fører som sovner av bak rattet
- For høy fart etter forholdene
- Villet handling hos fører (selvdrap)
- Feil på eller i veien eller omgivelsene (barrieremangler)

Det er satt opp et forenklet hendelsestre (kvalitativt) for å gi et eksempel av et mulig scenario i tunnelen. Dette gir en visuell fremstilling av den valgte hendelsen "brann i kjøretøy" (se Figur 24 på neste side) som er definert i rødt området ovenfor, og hvordan den vil utarte seg. Denne hendelsen er valgt da vinklingen i analysen ser spesielt mot sikkerhetssystemer og brannreducerende tiltak.



Figur 24 Hendelsestre ved brann i Tromsøysundtunnelen

Hendelsestreet i figur 24 over viser de potensielle hendelsene ved brann i Tromsøysundtunnelen, med initierende hendelse "brann i kjøretøy". Treet er bygd opp ved at utviklingen i brannen og de ulike barrierene setter alvorlighetsgraden og gir konsekvensene i de ulike hendelsene. De to markerte røde rutene representerer de mest alvorlige hendelsene uten at evakuering iverksettes. Ved overtenning i kjøretøyet og spredning videre til andre kjøretøy, vil det genereres mye røyk i tunnellopet. Ventilasjonen vil ikke starte uten deteksjon eller varsling, og dette fører til at personer blir fanget inne i røyken med dødsfall som verste scenario.

Brannutviklingen for en slik tunnelbrann vil normalt gå gjennom følgende faser: antenning, vekst, overtenning, fullt utviklet og reduksjon. Antenning vil kunne skje som følge av kollisjon, varmgang i motor eller lekkasje av brennbare væsker som antennes. Overgangen fra vekstfase til fullt utviklet brann kalles overtenning, og defineres ved at alle brennbare overflater i et rom bidrar i forbrenningen (Lux brannteknologi, 2004). Slik overtenning vil ikke skje i tunnel, men det tenkes da at alt brennbart materiale på brannstedet deltar i brannen. I fasen hvor brannen er fullt utviklet er brannintensiteten på sitt aller høyeste og brannen styres da av tilgangen på oksygen. Når brannventilasjon er aktivert tilføres det oksygen. Både for å ventilere røyk ut, men hovedsakelig for å tilføre frisk luft til eventuelle trafikanter som måtte befinne seg i røyken. Til slutt vil brannen gå over i en reduksjonsfase når brenselmengden avtar.

Konsekvensene av en slik type brann kan være alvorlig for personer som havner nedstrøms, ettersom brannens røykproduksjon etter hvert blir så intens og giftig grunnet høyt CO innhold, at personer ikke vil kunne overleve over lengre tid. Røykproduksjonen vil i tillegg være så kraftig at noe av røyken vil drive mot ventilasjonsretningen (Tollefsen, 2016). I tunnelen hvor ventilasjonen ligger rundt 3 m/s og helningen på det brattest er 8,2 %, vil røyken drive med ventilasjonsretningen i kjøreretning. Etter hvert som brannen utvikler seg vil røyken også presses nedover mot bunnen av tunnelen.

Normalt er det lagt inn flere barrierer som skal fange opp hendelser på et tidlig tidspunkt, og iverksette tiltak etter dette. Disse barrierene eller sikkerhetssystemene er nevnt tidligere men vil bli diskutert spesielt for Tromsøysundtunnelen med tanke på konsekvensreducerende tiltak ved branntilløp eller brann. De konsekvensreducerende barrierene blir sammenlignet før og etter oppgraderingen for å undersøke om tiltakene har bidratt til å heve sikkerhetsnivået i tunnelen.

5.3.3 Risikoreduserende tiltak

Både de forebyggende- og konsekvensreduserende barrierene som vist i risikobildet på Figur 22, er med på å redusere risikoen i tunnelen. For å vurdere hendelsene «9 - liten brann» og «10 - stor brann» fra Tabell 11, er de vurdert som risiko før (F) og risiko etter (E) i risikomatrisen under. Kun brannhendelsene er tatt med da analysen som tidligere nevnt omhandler den uønskede hendelsen «brann i kjøretøy». Tabell 12 under viser risikomatrisen med hendelsene vurdert.

Tabell 12 Risikomatrise liv og helse for brann i Tromsøysundtunnelen

Risiko ved hendelser med forventet endringer etter tiltak				
Konsekvens Sannsynlighet	Lettere personskade	Alvorlig personskade	Personskade varig men	En eller flere drepte
Minst en gang pr år				
En gang hvert 5. år				
En gang hver 10. år	9E, 10E	9F, 10F		
Sjeldnere enn hvert 100. år				

Tiltak nødvendig	Tiltak skal vurderes	Tiltak bør vurderes	Tiltak ikke nødvendig
------------------	----------------------	---------------------	-----------------------

Slik risikomatrisen over illustrerer lå risikoen for brann med «Alvorlig personskade» i gul kategori før oppgraderingen. Med de risikoreduserende tiltakene diskutert over, vil sannsynligheten for at en brann oppstår fremdeles være lik, en gang hver 10 år. Konsekvensene er derimot redusert, og endret over til grønn kategori med verste konsekvens «Lettere personskade». Dette viser at tiltakene vil løfte sikkerhetsnivået i Tromsøysundtunnelen sammenlignet med hva som var før oppgraderingen. Tiltaksplanen for oppgraderingen av Tromsøysundtunnelen ligger som vedlegg 4. til oppgaven for å vise hvordan tiltakene brukes i større risikoanalyser av tunnel hos SVV. Her fremkommer også flere av risikofaktorene som er drøftet i denne analysen.

De viktigste tiltakene som har ført til økt brannsikkerhetsnivå i Tromsøysundtunnelen diskuteres nærmere under.

Brannventilasjon

Den vanligste reaksjonen for personer som opplever brann er at de undervurderer størrelsen og den potensielle faren som en brann representerer. Dette er særlig gjeldene i startfasen av en brann da det er lite flammer og røyk. Noen vil oppfatte evakueringstiden som lenger enn den egentlig er og blir først oppmerksom på faren via andres reaksjoner. De som derimot befinner seg litt lenger unna brannstedet kan oppfatte alvorlighetsgraden i situasjonen tidligere fordi brannrøyken fyller større deler av tunnelrommet når den avkjøles. I noen tilfeller vil også belysningen i tunnelen gjøre det vanskelig å vurdere avstander til røyk og dermed redusere oppfattelseevnen (Norsk veiteknisk forbund, 2004). Figur 25 under viser de nye ventilasjonsviftene som er installert i tunnelen. Figur 26 til høyre viser tunnelrommet med viftene under oppgraderingen. Viftene brukes som standard ventilasjon i det daglige, og øker kapasiteten ved brannventilering.



Figur 25 Ny brannventilasjon i Tromsøysundtunnelen (Hansen, 2016)



Figur 26 Brannventilasjon i T1, Tromsøysundtunnelen (Hansen, 2016)

Brannventilasjonen i tunnelen skal sørge for at friskluft tilføres den farlige sonen der varme, giftige gasser og oksygenmangel truer liv og helse. Ved en brannhendelse vil ventilasjonen settes til en forhåndsdefinert styrke som skal gi ca. 3,5 m/s trekkhastighet gjennom løpene (Forsmo, 2016). Dette skal gjøre det mulig å puste lengst mulig i tunnellopet og dermed forlenge den tilgjengelige tiden for evakuering. Brannrøyken spres ved "skorsteinseffekten" og tunnelrommet fylles raskt med røyk. Når brannen vil røyken være såpass varm at den sprer seg langs tunneltaket. Etter hvert som avstanden øker fra flammene vil røyken avkjøles og synke ned mot veien som fører til at sikten blir svært begrenset for personer som oppholder seg her. Brannventilasjonen sørger for at røyken tynnes ut og temperaturen senkes i størst mulig grad slikt at tiden trafikantene har til å evakuere ut forlenges.

Ventilasjonsretningen står som standard i kjøreretningen i hvert løp i henhold til beredskapsplanen. Ved hendelser aktiveres brannventilasjon og redningsetatene rykker inn til stedet i samme retning som kjøreretningen, med frisk luft i ryggen. De har også muligheten til å overstyre ventilasjon på utsiden av hvert tunnellopp. Vegtrafikksentralen kan overstyre ventilasjonen etter forholdene inne i tunnelen, for eksempel ved anrop fra nødtelefoner eller ved bruk av AID-overvåkning. Det er svært sjelden det besluttes at ventilasjon skal snus, da viftene er asymmetriske og har best effekt i den ene retningen. Det vil ta opp mot en time å få snudd ventilasjonsretningen i Tromsøysundtunnelen. Ved hendelser som fører til kraftig røykutvikling nær inngangen i ventilasjonsretningen, bør det vurderes å snu retningen for å ventilere ut røyken korteste vei.

Det er svært viktig at ved brann i det ene løpet inne i tunnelen, må ventilasjonen reverseres i løpet hvor det ikke brenner, slik at det ikke trekkes røyk inn i det andre løpet. Ventilasjonen trekker da i samme retning i begge løp en periode til situasjonen er under kontroll.

Rømningsveier

Gjennom sikkerhetsforskriften stilles det krav til at det i toløpstunneler skal for hver 1500 meter, der løpene ligger på samme nivå, finnes tverrforbindelser for evakuering og som egner seg til bruk for redningstjenestene. Det stilles ikke krav til at disse skal være kjørbare. Tidlig i prosjektfasen til Tromsøysundtunnelen ble det besluttet å konstruere 15 tverrslag som ekstra sikkerhetstiltak. Disse er i bruk i dag, og er ytterligere oppgradert for å tilfredsstille nye krav til rømningsveier. Alle er kjørbare, også for brannbiler. Bilde i Figur 27 er tatt under en øvelse i tunnelen og viser en av de eldre brannbilene til Tromsø Brann og Redning på vei inn i ett av tverrslagene.



Figur 27 Øvelse Tromsøysundtunnelen. Brannbilen på vei gjennom tverrslag (Schultz, Rådgiver SVV Tromsø, 2016)

I tverrslagene brukes det branntette porter for kjøring gjennom, og rømningsdør i hver port slik at personer kan evakuere ut uten å åpne hele porten. Tverrslagene fører til at trafikanter har gode rømningsmuligheter for hver 230 meter, som er godt innenfor forskriftene. Ved å innføre slike tiltak tidlig i prosjektfasen, blir kostnadene lavere og det kan lettere forsvares økonomisk sett. Redningsarbeidet vil kunne gjennomføres på en mer effektiv måte ved at brann, politi og ambulanse lettere vil komme tett på skadestedet gjennom det andre løpet. Risikoen blir også lavere for redningsmannskapene.

Etter SVV's håndbok skal lover og forskrifter følges så langt som mulig, også når det gjelder dørkonstruksjoner. Gjeldende krav til rømningsdører er en maksimal åpningskraft på 30N. Svært ofte vil rømningsdører som også har branntekniske krav måtte ha påmontert dørlukker (pga krav til selvlukking), og med slik anretning på døren kommer man ofte over 30N åpningskraft. For å oppfylle gjeldende krav må dermed automatiske døråpnere monteres, disse ivaretar både lukking og assistert/automatisk åpning. Rømningsdørene mellom løpene i Tromsøysundtunnelen er ikke utstyrt med automatiske døråpnere, det bør dermed dokumenteres hvorvidt dørene fyller gjeldende krav eller må underlegges krav til dørautomatikk. Bakgrunnen er at det kan stilles spørsmålstegn ved om mennesker i en rømnings situasjon faktisk vil klare å åpne dørene, slik forfatteren ser det.

Erfaring fra tidligere branner viser at personer har en tendens til å evakuere ut samme vei som de kom inn. Selv om det brukes varsling over høyttalere, oppleves det i slike situasjoner økt mentalt belastning som fører til at villighet og evne til å ta imot ny informasjon avtar markant. Ofte velges kjente veier for å komme seg i sikkerhet. Ved mye røyk i tunnelen vil hovedbelysningen miste mye av sin effekt, da

røyken legger seg tett oppe i tunneltaket. Derfor monteres det ledelys/rømningslys på tunnelveggen ca. 1 meter over veibanen, som skal sikre tilfredsstillende sikt for rømning. LED-belysning blir som tidligere nevnt mer og mer brukt som nødbelysning i tunnel for å bedre merkingen av nødutgangene. Figur 28 under viser hvordan ny LED-belysning over nødutgangen i tverrslagene inne i Tromsøysundtunnelen, installeres.



Figur 28 Nødbelysning i rømningsvei i Tromsøysundtunnelen (Robustas, 2016)

Dette retter fokuset mot rømningsveiene, også når sikten er redusert. Det er lettere å orientere seg om hvor nødutgangen er lokalisert og vises bedre på avstand. I Oslofjordtunnelen er det installert et dynamisk nød- og ledesystem med LED-lys som følger hele tunnellopet langs ene siden, omtrent 50 cm over bakken. Lyser slås på når brannventilasjon aktiveres og viser ved hjelp av lyspiler retningen til nærmeste rømningsvei. Se Figur 29 under.



Figur 29 Eksempel på dynamisk LED-belysning i Oslofjordtunnelen

LED-lyset er den lille listen under pilene på bildet. Diodene i LED-listen er dynamisk og de små pilene kan endres retning på alt etter retningen man ønsker å evakuere personer. De store pilene på figuren er også LED-lys og aktiveres samtidig med brannventilasjonen. Det installeres nye nødlys med kortere avstand i Tromsøysundtunnelen, men i tykk røyk vil det fremdeles være vanskelig å følge disse. En løsning med LED-lys ville fungert utmerket også i Tromsøysundtunnelen for å oppnå bedre merking av rømningsveier, og øke muligheten for selvredning. Brannvernleder for Oslostunnelene poengterer at nytteeffekten av en slik løsning er stor både for trafikanter, og nødetater ved utrykning under dårlig siktforhold. LED-listen kan følges kontinuerlig og vises godt i røykfylte miljø.

Under oppgraderingen er det installert dekning for DAB, samt det nye nødnettet til redningsetatene. VTS vil nå lettere kunne formidle meldinger til trafikanter over radio. For kommunikasjon mellom nødetatene måtte det tidligere settes opp bilder som "gateway" for å opprette forbindelser. Med det nye nødnettet kan de kommunisere problemfritt seg imellom inne i tunnelen, samt med personell utenfor tunnelen og inn til sentralene.

I kombinasjon med ledelys bør det være muligheter for å fortløpende formidle informasjon til personer som befinner seg i en røykfylt tunnel. Ved å installere høyttalere gjennom hele tunnellopet vil VTS og nødetatene kunne formidle beskjeder for å sikre enn mer effektiv evakuering. Per i dag brukes høyttalersystemer blant annet i oljeindustrien, særlig offshore, hvor formidling av informasjon i nødstilfeller må skje hurtig og i mange tilfeller under utfordrende værforhold. Formidling av lyd i tunnellop med mye støy, vil kunne sammenlignes med forhold som oppleves offshore. Volumet må ekstremt høyt opp for å overdøve de andre lydene inne i tunnelen. Når brannvifter står på for fullt har de et volum opp mot 90 desibel (Tollefsen, 2016). Et slikt høyttaleranlegg må derfor opp i over 100

desibel for å ha effekt. Gjenklingslyd i tunnel er et problem, og det bør benyttes retningsorienterte horn som ikke skyter lyd inn i sideveggene. Det er installert og testet ut et slikt system i Nordbytunnelen i Akershus, med gode resultater. Informasjonen som formidles må være kortfattet, konkret og presis slik at trafikantene oppfatter at situasjonen farlig, uten at det utløser panikk. De må fortløpende handle i samsvar med klare beskjeder gjennom høyttalere slik som bygninger og transportnæringen forøvrig har brukt i årevis. Ved installasjon av en slik løsning i Tromsøysundtunnelen vil opplysning om rømningsveier gjennom tverrslagene ved brann eller ulykker kunne effektiviseres og forbedre sikkerheten ytterligere.

Automatisk hendelsesdetektering / VTS

Som et ledd i risikoreducerende tiltak er video- og hendelsesdeteksjon (AID) installert i tunnelen. Veitrafikksentralen i Mosjøen vil ved hjelp av AID kontinuerlig overvåke trafikkbildet og det tekniske tunnelstyringssystemet, og kan styre bomber, variable fartsgrenser, kjørefeltsignaler, ventilasjon og lys med visuell kontakt. Ved hendelser vil Veitrafikksentralen i Mosjøen fange dette opp enten fra

- Nødtelefoner i tunnelen
- Melding fra nødetater/bilberging/andre etater
- Melding fra de tekniske systemene installert i tunnelen som
 - Brannapparat fjernet
 - For høyt CO nivå i tunnelen
 - Kameraovervåkning med automatisk hendelsesdetektering

De kan da hindre stenge tunnelen med porter og lyssignal for å hindre at flere kjøretøy involveres i brannen. Videre kan de

- Sende trippelvarsling til nødetatene
- Overføre bilder til andre sentraler
- Anbefale angrepsvei
- Innsnakk i tunnelen
- Trafikkinformasjon ut til trafikantene
- Varsle entreprenør/vaktil
- Status
- Etablere omkjøring (fremkommelighet)
- Varsling av egen etat

- Varsling av havarikommisjonen for transport
(Ødegaard, 2016)

Etter hvert som systemene fornyes og nytt utstyr installeres i bilene, vil direktebilder fra tunnelen kunne distribueres til 110-, 112 og 113 sentralene, og videre ut til utrykningskjøretøyene. Slik vil redningsmannskapene kunne følge utviklingen i tunnelen på vei til skadestedet. Dette vil utgjøre en stor fordel, særlig for brannvesenet som kan planlegge rednings- og slokkearbeidet. Tromsø Brann og Redning melder at et slikt system vil kunne bidra til en mer effektivisert rednings- og slokkeinnsats med en gang nødetatene ankommer skadestedet.

Gjennom oppgradering blir også veggene kalket/hvitmalt for å oppnå bedre lysrefleksjon inne i tunnelen. Prosjektansvarlig for Tromsøysundtunnelen kommenterer at dette reduserer følelsen flere trafikanter har med ubehag og vegring for å kjøre inn i tunnel. Bedre belysning gir bedre oversikt og reduserer risikoen. Som tidligere nevnt under teori skal veien ha beskyttende barrierer som tilgir en feilhandling. Støtputer monteres i alle havarinisjene. Dette er en helt ny type puter som for første gang monteres i en norsk veitunnel. De er testet ut med gode resultater, og vil føre til at skadene begrenses betraktelig ved utforkjøringer og villet handling (selvdrap) (Wildenchild, 2016).

Som tidligere nevnt skal også fartsnivået være tilpasset veiens sikkerhetsnivå og menneskets tåleevne. Etter flere alvorlige ulykker og høye hastigheter ble det i 2012 installert SATK i tunnelen. Dette førte til at farten ble redusert med inntil 10 % (Schultz, Rådgiver SVV Tromsø, 2016). Redusert hastighet gir mindre risiko for ulykker.

Bredden i veibanen blir beholdt lik som tidligere, men innfrir kravene. Bedre oppmerking i veibanen tydeliggjør feltskifter. Siden tunnelen har trafikk i samme retning i hvert løp, vil ikke «rumlefelt» som midtlinje ha noen annen risikoreducerende effekt enn at bilistene varsles ved filbytte. Derimot vil rumlefelt som markering av kantlinje ha effekt for å gi trafikanter et signal om at kjøretøyet tangerer linjen og er på vei ut av kjørebanelen. Det vil da oppstå en tydelig vibrering i kjøretøyet som vekker oppmerksomheten til føreren slik at han eller henne vil få muligheten til å korrigere kjøretøyets plassering før en trafikkulykke inntreffer. Som tidligere nevnt er varmgang i bremsen en av de vanligste årsakene til brann i tyngre kjøretøy. Markering med «LOW GIR» kan brukes for å gjøre disse førerne bevisst på bruken av bremsen i nedoverbakke.

Informasjonsformidling og adferd

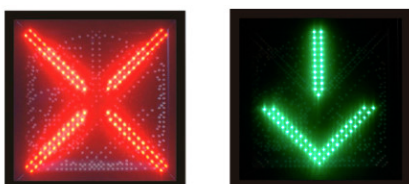
Hvis man ser bort fra de tekniske systemene som skal være ivaretatt i en tunnel er det interessant å stille seg spørsmålet om trafikanter er innforstått med hvordan deres adferd påvirker sikkerheten for seg selv og andre ved en hendelse i tunnel. Fra 1. januar 2016 ble tunnelkjøring lagt inn som en obligatorisk del av kjøreopplæringen i Norge.

Sikkerhet handler ikke bare om utstyr, systemer og prosedyrer - men også om mennesker og deres adferd i en krisesituasjon. Oppmerksomheten må rettes mot informasjonsformidlingen ut til trafikanten som ferdes gjennom Tromsøysundtunnelen, og deres opplæring. Dette må gjøres ved å øke bevisstheten om riktig fremgangsmåte ved hendelser og oppnå en kjøreadferd som begrenser risikoen for at en brann oppstår. Etter samtaler med nødetatene og fagpersonell fremkommer følgende om trafikanters adferd:

- Rødt lyst ved inngangen eller inne i tunnelen ignoreres
- Trafikanter/bilister svinger forbi bommer som er nede foran tunnelportal

Dette er eksempler på at trafikanter ikke respekter lys og skilting, og dermed setter seg selv og andre i fare ved å kjøre inn når tunnelen er stengt. En kartlegging på hvordan trafikanter oppfatter de forskjellige informasjonsskiltene, hvilke kunnskap de innehar fra tidligere opplæring og den enkeltes oppførsel bak rattet, vil føre til at tiltak kan iverksettes på bakgrunn av behov i den enkelte tunnel. Trafikanter bør være forberedte og oppmerksom på konsekvensene ved brann og røykutvikling inne i tunnelen. De må oppfatte alvoret tidlig i situasjonen, ikke bruke tid på egne eiendeler og forlate kjøretøyet i en så tidlig fase som mulig.

Etter oppgraderingen vil Tromsøysundtunnelen ha kjørefeltsignal som viser grønn pil for rett retning og rød pil for feil kjøreretning. Se Figur 30 under.



Figur 30 Dynamisk kjørefeltsignal (Euroskilt, 2016)

Skiltene er dynamiske og kan endres fra VTS ved behov. Dette fører til at eventuelle trafikanter som kjøre inn i feil løp vil fortløpende få varsling om dette gjennom rødt-kryss-signal, samtidig som at AID fanger dette opp. Tunnelen kan da stenges. Når oppgraderingen av T2 starter vil kjørefeltsignalene allerede benyttes i det ferdigstilte løpet T1. Denne skiltingen er med å redusere risikoen for møteulykker ved feilkjøring i tunnelen.

En oppsummering av analysen viser at Tromsøysundtunnelen gjennom flere nye tiltak i oppgraderingen reduserer risikoen for brann, og eventuelle konsekvenser hvis ulykken først er ute. Ytterligere tiltak som foreslås er ikke påkrevd gjennom forskrifter, men vil føre til at tunnelen blir om mulig enda sikrere for trafikanter.

6. Avslutning

Formålet med avslutningskapittelet er å presentere konklusjonen og forslag til videre arbeid.

6.1 Konklusjon

Forskrifter og krav legger føringer for hvordan Tromsøysundtunnelen, og andre tunneler i Norge, skal utformes med tanke på sikkerhet. Forebyggende systemer som ivaretar forhold som sikt, kjøreforhold, belysning og fart er viktig for å hindre ulykker som medfører brann eller branntilløp inne i tunnelen. Om ulykken først er ute skal de konsekvensreducerende systemene som ventilasjon, varsling og rømningsveier hjelpe trafikanter i sikkerhet.

Gjennom oppgraderingen i Tromsøysundtunnelen er det installert sikkerhetssystemer som ivaretar overvåkning, mer effektiv brannventilasjon og bedre løsninger i rømningsveiene. Dette er med på å redusere sjansen for at ulykker oppstår, samt begrense konsekvensene ved brann. Det fremkommer gjennom analysen at de nye tiltakene gir en trygg tunnel for bilister i fremtiden. God informasjon og evakueringshjelpemidler som LED-ledelys i håndlister og formidling av informasjon gjennom høyttalere vil øke muligheten for selvredning og kan vurderes som ytterligere tiltak. Rømningsdørene mellom løpene i Tromsøysundtunnelen er ikke utstyrt med automatiske døråpnere og det bør dermed dokumenteres hvorvidt dørene fyller gjeldende krav eller må underlegges krav til dørautomatikk.

Fordi det ikke er fastsatt noen eksakte vurderingskriterier for risiko hos SVV, er tiltakene vurdert opp mot det tidligere utstyret, og funnet optimale for det generelle brannsikkerhetsarbeidet og omgivelsene de skal fungere i. SATK har hatt en god effekt i tunnelen, og er et betydelig bidrag til både farts- og ulykkesreduksjon. Forfatteren av oppgaven kan med bakgrunn i analysen konkludere med at brannsikkerheten vil være på et godt nivå etter oppgraderingen.

Siden sikkerhet ikke bare handler om utstyr, systemer, planer og prosedyrer, men også om mennesker og deres adferd i en krisesituasjon bør det rettes større oppmerksomhet mot opplysningskampanjer ut til trafikantene som ferdes gjennom Tromsøysundtunnelen. Det er avdekket at trafikanter i stor grad overser og undervurderer faresignal og overvurderer tiden de har tilgjengelig ved brann i tunnel. Et velfungerende system for skadebegrensning og redning, med god kommunikasjon og samhandling mellom de ansvarlige myndigheter og nødetatene må ligge til grunn for å sikre en trygg reise gjennom tunnelen. Samtidig spiller trafikkatferden den mest sentrale rollen ved eventuelle hendelser. Behovet for å opptre korrekt er en forutsetning for tidlig varsling og evakuering, og fokuset på kunnskap om

sikkerhetssystemene er viktigere enn mange trafikanter faktisk er klar over. Målet er at det skal være enkelt å handle riktig og vanskelig å gjøre feil.

Avslutningsvis anbefales det å fortsette med trening og øvelser i tunnelen slik at alle aktuelle etater skal være best mulig forberedt og kunne effektivisere innsatsen ved hendelser fremover. Det er viktig at det ved trening og øvelser gjøres et grundig forarbeid før start, samt at det gjennomføres en strukturert evaluering og rapport etter øvelser hvor utfordringer og deler som har forbedringspotensial tas med til neste gang. Sikkerhet gir trygghet!

6.2 Forslag til videre arbeid

Under er noen forslag til videre arbeid innenfor temaet tunnelsikkerhet.

➤ **Opplysningskampanjer om adferd**

Det er krav gjennom sikkerhetsforskriften at opplysningskampanjer om sikkerhet i tunneler jevnlig skal gjennomføres i samarbeid med berørte parter, som i denne sammenhengen er brukerne. Opplysningskampanjene skal dreie seg om korrekt adferd for trafikanter når de nærmer seg og kjører gjennom tunneler, særlig i forbindelse med havari, trafikkork, ulykker og brann.

Med bakgrunn i dette kravet er det laget et forslag til opplysningskampanje for Tromsøysundtunnelen ved nyåpning (vedlegg 3). Dette for å sette fokus på hvor mye kunnskap om riktig handling har å si for alle som befinner seg inne i tunnelen.

➤ **Automatiske slukkeanlegg**

Automatiske slukkesystem er lite utbredt i norske tunneler, og er kun i drift i Fløyfjelltunnelen i Bergen. Her er det installert et vannbasert sprinkleranlegg. Skumbaserte slukkesystemer har vært testet ut, blant annet ved IF sitt sikkerhetscenter i Hobøl i Østfold, med gode resultater. Automatiske slukkesystemer er helt vanlig å prosjektere inn i nybygg i dag for å hindre at en brann utvikler seg. Denne teknologien burde følges opp og vurderes i risikoutsatte veitunneler med høy ÅDT.

➤ **Termografiske kamera**

Termografiske kamera, IR-kamera, er foreløpig ikke særlig utbredt i norske veitunneler. Dette er teknologi som kan detektere overoppheting i større kjøretøy, spesielt varmgang i bremses som tidligere nevnt er en av de største brannårsakene. Kameraet er sensitiv for infrarød stråling og kan avlese temperaturforskjeller på en overflate. Ved hjelp av denne teknologien kan brantilløp detekteres tidligere eller i beste fall hindres i å oppstå (Veidirektoratet, 2013). Kameraene blir heller ikke påvirket i like stor grad av skygge og motlys sammenlignet med videokamera. Materialene som til nå er brukt i slike kameraer er kostbare og skjøre, og vil være utsatt for skader under vedlikehold blant annet underspyling med høytrykk. Fordelen ved bruk av disse er at de gir bilder under dårlige lysforhold og i dårlig sikt som røyk og tåke, samt

detekterer bedre på lengre avstand enn ordinære kamera. Svakheterne er at det er færre detaljer i et bilde, de er dyrere og ytelsen reduseres i fuktige eller varme omgivelser. Dette er interessant utstyr som kan vurderes før portaler i undersjøiske tunneler med mye stigning.

Bibliografi

- Andersen, I. (2016, Februar 25.). *Her sprenger de tunnel 292 meter under havet*. Hentet Februar 26., 2016 fra Teknisk Ukeblad: http://www.tu.no/artikler/her-sprenger-de-tunnel-292-meter-under-havet/277309?utm_source=newsletter-2016-02-25&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter
- Aas-Pettersen, J.-Å. (2015, Oktober 8.). Kontrollingeniør Elektro. (S. F. Jensen, Intervjuer) Tromsø.
- Aven, T. (2006). Pålitelighets- og risikoanalyse. s. 302.
- Aven, T., Røed, W., & Wiencke, H. S. (2010). *Risikoanalyse* (2. utg.). Universitetsforlaget.
- Bjørnstad, G. H., & Jakobsen, K. (2015, August 12.). *Slik ser Gudvangtunnelen ut etter brannen*. Hentet Desember 5., 2015 fra Dagbladet: <http://www.dagbladet.no/2015/08/12/kultur/gudvangatunnelen/tunnelbrann/brann/innenriks/40577672/>
- Blix, E. (2016, Mai 18.). Prosjektleder Tromsøysundtunnelen. (S. F. Jensen, Intervjuer)
- Buvik, H., Amundsen, F. H., & Fransplass, H. (2012, August). *Etatsprogrammet Moderne vegtunneler*. Oslo: Veidirektoratet. Hentet Februar 22., 2016 fra Vegvesen.no: http://www.vegvesen.no/_attachment/380980/binary/652557
- De nasjonale Forskningsetiske komiteene. (2010, Januar 15.). *Kvalitative og kvantitative forskningsmetoder - likheter og forskjeller*. Hentet Mai 19., 2016 fra Etikkom: <https://www.etikkom.no/forskningsetiske-retningslinjer/medisin-og-helse/kvalitativ-forskning/1-kvalitative-og-quantitative-forskningsmetoder--likheter-og-forskjeller/>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2010). Byggteknisk forskrift (TEK 10). *TEK 10*.
- DSB. (2011). *Retningslinjer for behandling og ivaretagelse av brann- og elsikkerhet i vegtunneler*. Oslo: Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap og Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
- DSB. (2014). *Brannen i Gudvangtunnelen*. Skien: Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap.
- DSB og Veidirektoratet. (2011, Juni). *Retningslinjer for saksbehandling og ivaretagelse av brann- og elsikkerhet i vegtunneler*. Tønsberg: Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap og Statens vegvesen, Veidirektoratet. Hentet Februar 23., 2016 fra DSB.
- Euroskilt. (2016). *Kjørefeltsignal*. Hentet Mai 22., 2016 fra Euroskilt: <http://euroskilt.no/products/kjorefeltsignal>
- Forsmo, C. H. (2016, Mai 30.). Sikkerhetskontrollør tunneler . (S. F. Jensen, Intervjuer)
- Garathun, M. G. (2015, Juni 8.). Nå skal dette offshore-systemer installeres i veitunneler. *Trafikksikkerhet i Tunnel*.
- Hansen, N. (2016, Mai 24.). Investering hos Statens vegvesen. (S. F. Jensen, Intervjuer)
- Jakobsen, K. (2015, August 11.). *Tre menn og en kvinne alvorlig skadd etter tunnelbrannen*. Hentet Desember 5., 2015 fra Dagbladet.no: <http://www.dagbladet.no/2015/08/11/nyheter/tunnelbrann/gudvangatunnelen/innenriks/40572316/>

- Kriseinfo. (2012, Februar 19.). *Hva gjør du ved brann i tunnel?* Hentet April 20., 2016 fra Kriseinfo.no: <http://www.kriseinfo.no/transport/vegtransport/hva-gjor-du-ved-brann-i-tunell/>
- Larsen, G., & Salangli, T.-V. (2014). *Beredskapsplan Tromsøysundtunnelen*. TROMSØ: Statens vegvesen Tromsø.
- Lovdata. (2007, Mai 15.). Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler. *Forskrift*. Hentet Februar 23., 2016 fra Lovdata: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2007-05-15-517>
- Luther, T. F. (2016, April 5.). Senioringeniør, Drift Akershus . Oslo .
- Lux brannteknologi. (2004). *Vurderinger / Analyse av brannsikkerheten Ryfastsambandet*. Stavanger: Lux brannteknologi .
- Markeset, T., & Kumar, U. (2001). R&M and Risk-Analysis Tools in Product Design, to Reduce Life-Cycle Cost and Improve Attractiveness. *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, s. 7.
- Mikalsen, K. A. (2016, April 13.). Brannvernleder tunneler i Midte Hålogaland. Harstad.
- Mogen, T., & Farooq, K. (2015, Juli 15.). *Eksplasjon og stor brann i tunnel i Sogn og Fjordane. Frykter tunnelen kan kollapse*. Hentet Desember 6., 2015 fra Dagbladet: <http://www.dagbladet.no/2015/07/15/nyheter/innenriks/ulykke/40161069/>
- Nævestad, T.-O., & Meyer, S. F. (2012). *Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008-2011*. Transportøkonomisk institutt.
- Norsk veiteknisk forbund. (2004). *Sikkerhetskonsept 2004 for vegtunneler*. Oslo: Norsk veiteknisk forbund.
- Olufsen, S. (2016, Januar 21.). Arena tunnelsikkerhet - Vegvesenets behovs for bedre sikkerhet i tunneler. s. 36.
- Rausand, M., & Utne, I. B. (2009). *Risikoanalyse - Teori og metoder* (1. utg.). Trondheim, Norge: Tapir Akademisk forlag.
- Robustas. (2016). *Vi leveres nødutgangssystem til Tromsøysundtunnelen og Scanmatic*. Hentet Mai 22., 2016 fra Robustas: <http://robustas.no/vi-leverer-nodutgangssystem-til-tromsoysundtunnelen-og-scanmatic/>
- Salangli, T.-V. (2016, Mars 3.). Brannvernleder tunneler, Statens vegvesen Tromsø.
- Salangli, T.-V., & Haugland, Å. K. (2014). *Beredskapsplan Tromsøysund T1 og T2*. Statens vegvesen Region Nord, Troms fylkesavdeling.
- Schultz, G. (2016, Mars 10.). Rådgiver SVV Tromsø. (S. F. Jensen, Intervjuer)
- Schultz, G. (2016). *Risikoanalyse Hålogalandsveien*. Tromsø: Statens vegvesen.
- Schultz, G. (2016). *Risikoanalyse Øksfjord tunnel for sikkerhetsoppgradering og i forhold til Tunnelsikkerhetsforskriften*. Tromsø: Statens vegvesen.
- SHT. (2013). *Rapport om brann i vogntog på RV 23, Oslofjordtunnelen, 23. juni 2011*. Lillestrøm: Statens havarikommisjon for transport.
- SHT. (2015, Januar). *SHT's undersøkelser av tunnelbranner*. Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport. Hentet Februar 29., 2016

- Standard Norge. (2008). *NS 5814 Krav til risikovurderinger*. Oslo: Standard.no. Hentet Februar 09., 2016 fra Standard.no: <http://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/kvalitet-og-risiko/2013/risikovurderinger---ns-5814/>
- Standard Norge. (2013, April 01.). *NS-EN 16276:2013 Rømningslys i veitunneler*. Oslo: Standard.no. Hentet Desember 07., 2015 fra Standard: <https://www.standard.no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=630440>
- Standard Norge. (2013, Oktober 01.). *NS-EN 1838:2013 Anvendt belysning - Nødbelysning*. Oslo: Standard. Hentet Desember 07., 2015 fra Standard.no: <https://www.standard.no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=657643>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2015, Oktober 05.). *Undersøkelser av brann i tanktilhenger i Skatestraumtunnelen, FV 616 i Bremander i Sogn og Fjordane*. Lillestrøm: SHT. Hentet Desember 06., 2015 fra AIBN.
- Statens vegvesen. (2010, November 5.). Nullvisjonen.
- Statens vegvesen. (2013, Januar 10.). *Risiko- og sårbarhetsanalyse*. Lysaker. Hentet Februar 04., 2016 fra Vegvesen.
- Statens vegvesen. (2014, Mai 08.). Retningslinjer for risikoakseptkriterier for skred på vei. Oslo: Veidirektoratet. Hentet September 02., 2016 fra Vegvesen.no: http://www.vegvesen.no/fag/Teknologi/Geofag/Skred/Skredsikring/_attachment/653006?_ts=1470162ec30&fast_title=Retningslinjer+for+risikoakseptkriterier+for+skred+p%C3%A5+veig
- Statens vegvesen. (2015, November 17.). *E8 Tromsøysundtunnelen*. Hentet Mai 19. , 2016 fra Vegvesen: <http://www.vegvesen.no/vegprosjekter/tunnelernord/tunneler/troms/troms%C3%B8ysundtunnelen>
- Statens vegvesen. (2015, November 17.). *Spørsmål og svar om Tromsøysundtunnelen*. Hentet Mai 20., 2016 fra Vegvesen: <http://www.vegvesen.no/vegprosjekter/tunnelernord/nyhetsarkiv/sp%C3%B8rsm%C3%A5l-og-svar>
- Statens vegvesen. (2015, Januar 30.). *Universell utforming*. Hentet Mai 1., 2016 fra vegvesen: <http://www.vegvesen.no/fag/Fokusomrader/Universell+utforming>
- Statens vegvesen. (2016, April 18.). *Om organisasjonen*. Hentet April 18., 2016 fra vegvesen.no: <http://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/om+organisasjonen/Om+organisasjonen>
- Statens vegvesen. (2016, April 17.). *Tunnelteknikk*. Hentet April 18., 2016 fra vegvesen.no: <http://www.vegvesen.no/fag/Teknologi/Tunneler>
- Teknisk Ukeblad. (2015, Desember 01.). *Brannen i Skatestraumtunnelen var Norges største. Akkurat det samme kan skje igjen*. Hentet Mars 03., 2016 fra TU: <http://www.tu.no/artikler/brannen-i-skatestraumtunnelen-var-norges-storste-akkurat-det-samme-kan-skje-igjen/276234>
- Tollefsen, T. (2016, April 5.). Brannvernleder Oslofjordtunnelene SVV. (S. F. Jensen, Intervjuer)

-
- Valvik, M. E., Staveland, L. I., Olsen, T., & Lauritsen, E. N. (2015, August 11.). *Bussbrannen i Gudvangatunnelen: Fire alvorlig skadet, stengt i seks uker*. Hentet Desember 5., 2015 fra Aftenposten.no: http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/Bussbrannen-i-Gudvangatunnelen-Fire-alvorlig-skadet_-stengt-i-seks-uker-8121339.html
- Vegdirektoratet. (2006). *Håndbok 163: Vann- og frostssikring i tunneler*. Norge: Statens vegvesen.
- Vegdirektoratet. (2007). *Håndbok 269: Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler (1.0. utg.)*. Norge: Statens vegvesen.
- Vegdirektoratet. (2007). *Håndbok V721: Risikovurdering av vegtrafikk*. Statens vegvesen.
- Vegdirektoratet. (2007). *Veileder for risikovurdering i vegtrafikken*. Statens vegvesen.
- Vegdirektoratet. (2013). *Veg- og gateutforming*. Oslo: Statens vegvesen. Hentet Februar 25., 2016 fra Vegvesen.
- Vegdirektoratet. (2014). *Håndbok N500: Vegtunneler*. Norge: Statens vegvesen.
- Vegdirektoratet. (2014). *Standard for drift og vedlikehold av riksveger (2. utg.)*. Oslo: Statens vegvesen. Hentet Februar 23., 2016 fra Vegvesen.
- Veidirektoratet. (2010). *Forvaltningsreformen. Offentlig høring på Veidirektoratets forslag til forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler på fylkesveg og kommunal veg i Oslo*. Oslo. Oslo: Statens vegvesen.
- Veidirektoratet. (2013). *Strekningsmåling-ATK i tunnel*. Statens vegvesen.
- Wanvik, P. O. (2013, Oktober 22.). *Tunnelbelysning*. Hentet Mai 05., 2016 fra Vegvesen: http://www.vegvesen.no/_attachment/544912/binary/876479?fast_title=Tunnelbelysning.pdf
- Wiencke, H. S., Midtgaard, A., & Engebretsen, A. (2007, Oktober 31.). *Veileder for risikoanalyser av vegtunneler*.
- Wildenchild, H. (2016, April 27.). *Trafikksikkerhetstiltak*, Statens vegvesen. (S. F. Jensen, Intervjuer)
- Ødegaard, E. (2016, April 4.). *Opplæringskoordinator Veitrafikksentralen* . (S. F. Jensen, Intervjuer)
- Østensen, P. (2009). *Tunnelsikkerhetsberegning*. Redion Nord. TROMSØ: Statens vegvesen.
- Øvre, A. H. (2015, September 30.). *Nå stenger ett løp i Tromsøysundtunnelen*. Hentet Desember 07., 2015 fra Nordlys: <http://www.nordlys.no/tromso/trafikk/statens-vegvesen/na-stenger-ett-lop-i-tromsoysundtunnelen/s/5-34-256976>

Vedlegg 1

Oversikt over datainnsamling i form av øvelser/møter

Forfatteren av oppgaven har deltatt på følgende møter og øvelser for å innhente data og få en god forståelse for sikkerhetsplanlegging og testing i tunnel, samt samtaler med fagpersonell med inngående kompetanse innenfor fagfeltene tunnelsikkerhet, brannsikkerhet og beredskap.

Dato	Sted	Beskrivelse	Deltakere
8. oktober 2015	Ryatunnelen	Befaring i Ryatunnelen sammen med elektroansvarlig fra Statens vegvesen. Gjennomgang av belysning, ventilasjon, tekniske rom og nødvendig sikkerhetsutstyr for bilister.	Jan-Åge Aas-Pettersen, SVV
21. desember 2015	Olderdalen	Beredskaps- og risikovurderingsmøte sammen med Statens vegvesen. På møtet var alle nødetatene representert, beredskapsrepresentant fra Kåfjord Kommune, samt Statens vegvesen fra Tromsø. Gjennomgang og diskusjon rundt utfordringer, beredskap og løsninger for en mest mulig smidig oppgraderingsperiode.	Gunn Schultz, SVV Roald Nyrum, SVV Nils-Arnold Nilsen, brannsjef Gaute Østeggen, Politi Stein Helge Aalberg, Ambulanse Karin Karlsen, Kåfjord kommune
11. februar 2016	Tromsøysundtunnelen, Tromsø	Befaring på fremdriften av elektroarbeidet i tunnelen. Kabelføringer i bakken, tekniske rom, lys og tverrslag med nødutganger.	Jan-Åge Aas Pettersen, SVV
1. mars 2016	Breivikatunnelen, Tromsø	Øvelse: Test av brannventilasjon i Breivikatunnelen ved hjelp av røykgranater, stenging av tunnel (porter og lys), test av nødnett og kommunikasjon mellom nødetatene. Hansjordnesbukta ble fastsatt som felles angrepsvei for alle nødetater, slik at ventilasjon trekker luften inn her og blåser ut gjennom Breivika/Langnes/Polaria.	Tromsø brann og redning (10 stk.) Politi (2 stk.) Ambulanse (2 stk.) Tom-Vidar Salangli, SVV
3. mars	Sentrumstunnelen, Tromsø	Øvelse: Test av stenging ved bruk av brannslukker. Påtenning av brennbart materiale med påfølgende røykutvikling. Test av	Tromsø Brann og Redning (10 stk.) Politi (5 stk.) Tom-Vidar Salangli, SVV

		brannventilasjon, test av utvikling på røyken, ventilering vekk og om det kom røyk inn i parkeringstunnel. Fortløpende kontakt med VTS.	
4. april	Veitrafikksentralen Oslo	Møte med omvisning hos Veitrafikksentralen i Oslo sammen med opplæringskoordinator. Innsikt i håndtering og prioritering av informasjonen hos operatørene som sitter på de 5 ulike veitrafikksentralene rundt i om Norge. Eksempler på bruk av AID.	Espen Ødegaard, SVV
5. april	Oslofjordtunnelen	Tunnelen stengte for vedlikehold. Befaring på de ulike systemene for brannbekjempelse, evakuering og redning. Særlig fokus på evakueringsrom og dynamisk LED-belysning.	Torbjørn Tollefsen, SVV Even Ingjær, SVV Tom Ferdinand Luther, SVV Lars Lystad, SMARTEC
12. – 13. april	Hålogalandsveien, Harstad	Risikoanalyse av den planlagte Hålogalandsveien. En strekning med mye tunneler, hvor trafikant- og personsikkerhetstiltak sto i fokus. Hele veistrekningen på 159 km ble gjennomgått, hvorav ca. 15 km er tunnel. Relevante problemstillinger mtp. risiko vurdert.	Gunn Schultz, SVV Ca. 20 personer med ulik kompetanse og bakgrunn, fra SVV og underleverandører.

TUSI Tromsøysundtunnelen

Tunnelløp: T1:

ÅDT:	5010 kjøretøy/døgn
Tunnellengde:	3.386 m
Tungtrafikkandel:	10 %
Fartsgrense:	60 km/h

	Antall hendelser pr. år	Tid mellom hver hendelse
Kjøretøystopp	74,3	4,9 dager
Personskadeulykker	0,795	1,3 år
Branntilløp lette kjøretøy	0,090	11,1 år
Branntilløp tunge kjøretøy	0,019	53 år
Branntilløp totalt	0,109	9,2 år
Ulykkesfrekvens *	0,114	

Tunnelløp: T2:

ÅDT:	4840 kjøretøy/døgn
Tunnellengde:	3.500 m
Tungtrafikkandel:	10 %
Fartsgrense:	60 km/h

	Antall hendelser pr. år	Tid mellom hver hendelse
Kjøretøystopp	74,2	4,9 dager
Personskadeulykker	0,730	1,4 år
Branntilløp lette kjøretøy	0,094	10,6 år
Branntilløp tunge kjøretøy	0,020	49,7 år
Branntilløp totalt	0,114	8,8 år
Ulykkesfrekvens *	0,108	

Ulykkesfrekvens = antall personskadeulykker pr. mill. kjøretøy per. km

Kjøretøystopp:	betyr normalt at kjøretøyer slipper opp for drivstoff, eller får motorstopp. Normalt vil slike hendelser ikke kreve aksjon fra utrykningskjøretøy.
Personskadeulykker:	vil kreve innsats fra politi / ambulanseskjøretøy.
Branntilløp:	vil kreve stenging, utrykning, slokking og eventuelt evakuering av hele tunnelen.

14.05.2009

Per Ivar Østensen

Sikkerhetskontrollør tunneler

Seksjon Bru- og tunnel/elektro

Tromsøysundtunnelen



Sikkerhet gir trygghet!

Adferd ved flammer eller røyk i tunnel:

Generelt:

- **Kjør aldri inn i tunnel som er stengt ved røde lys eller bom!**
- **Bruk nødtelefoner for varsling, ikke mobiltelefon. Veitrafikkentralen (VTS) får da direkte melding om hvilken tunnel det gjelder og hvor du befinner deg. De kan stenge tunnelen og hindre ytterligere trafikk inn.**
- **Bruk brannslukkingsapparat i tunnelen ved brann. I det øyeblikket apparatet fjernes utløses brannalarmen hos VTS, brannventilasjon aktiveres og tunnelen stenges.**

Spesielt for Tromsøysundtunnelen (trafikk i samme retning)

- **Ikke snu, dette medfører fare!**
- **Varsle via nødtelefon.**
- **Forlat bilen på siden av veien ned nødblink på, og evakuer ut gjennom nærmeste tverrslag/nødutgang. Skilt viser retning og avstand til nærmeste utgang. Vær forsiktig når du går inn i det andre løpet.**

Tiltaksplan - tunnel i forhold til oppgradering etter Tunnelsikkerhetsforskriften

Grunnlagsdata tunnelen

Tunnelnavn:			
Fylke:			
Hovedparsell:		(se kommentar til forskriftens vedlegg I, pkt. 1.3.2)	
Åpningsår:			
ÅDT 2014:			
Andel tungtrafikk (%):			
"Risikojustert" ÅDT 2019:			
Lengde:			
Antall tunnellop:			
Antall ramper/armer:			
Fartsgrense:			
Max stigning:			(hovedløp)
Bredde:			(bredde mellom kantlinjene)
Fri høyde:			
Tunnelprofil:			
Ulykker i perioden 2004-2014:			
Branner/branntilløp:			
Eventuell fremtidig endring i funksjon:			

Tunnelsikkerhetsforskriften

1.1.3 Særtrekk/ risikoanalyser	<p>RN: Gjennomføre risikoanalyse for å vurdere sikkerhetstiltak og/eller tilleggsutstyr som er nødvendig pga. tunnelens særtrekk.</p> <p>Tunnelens særtrekk i forhold til kriteriene i TSF er: Tunnellengde Kjørebredde (</> 6,5 meter) (under 6.5 m 1 felt) Høy tungtrafikk andel (>15 %) (10 %) Gammel tunnel</p>
2.1.2 To tunnellop	<p>RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.</p>
2.1.3 Reduksjon av kjørefelt i tunnel	<p>RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.</p>
2.2.3 Stigning	<p>RN: TSF stiller kun krav til ekstra eller forsterkede tiltak med grunnlag i risikoanalyse for tunneler med stigning på mer enn 3 %.</p>

2.2.4 Feltbredde for saktegående trafikk	RN: Ikke aktuelt. Tunnelen har ikke særskilt kjørefelt for saktegående trafikk.
2.3.2 Ikke havarifelt eller nødfortau	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.3.7 Nødutganger	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.3.8 Avstand mellom nødutganger	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.3.9 Tette dører mot nødutganger	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.4.1 Tverrforbindelser for redningstjenestene	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.4.2 Adkomst til motg. løp utenfor tunnel	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.5.2, 2.5.3 Havarilommer	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.5.4 Nødstasjon ved havarilommer	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.6.1, 2.6.2 Avløp ved transport av farlig gods	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.7 Konstruksjoners brannmotstand	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.8.1 Belysning	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.8.2 Sikkerhetsbelysning	RN: Krav til sikkerhetsbelysning med minimum 1 time driftstid i hver 4. lysarmatur, jf. N500, kap. 10.3.6.
2.8.3 Ledelys for evakuering	Nye ledelys skal derfor etableres med innbyrdes avstand på 25 meter når det ikke finnes ledelys fra tidligere, jf. NA-rundskriv 2014/6 datert 4. april 2014. Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.9.2, 2.9.3, 2.9.4 og 2.9.5 Ventilasjon	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.10.2, 2.10.3 Nødstasjoner - innhold og tetthet	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.11 Vannforsyning	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.12 Trafikkskilt	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.13.1, 2.13.2 Kontrollsentral	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.14.1 Video-overvåking	RN: Ikke krav i henhold til TSF.
2.14.2 Automatisk branndeteksjon	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.15.1 Trafikklys, skilt og bom for stenging av tunnel	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.

2.15.2 Utstyr inne i tunnel for å kunne stoppe trafikk	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.16.1 Nødnett for redningstjenestene	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.16.2 Innsnakk på radio	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.16.3 Høyttalere i "tilfluktsrom"	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.
2.17.1 Nødstrømsforsyning	RN: Kartlegges og eventuelt utbedres. Eventuelle mangler mht. nødstrømsforsyning utbedres/ etableres iht. bestemmelsene i N500, kap. 5.2.2.1.
2.17.2 Redundante systemer	RN:
2.18 Brannmotstandsnivå for sikkerhetsutstyr	RN: Må sette inn kravet som gjelder for tunnelen.

Avbøtende tiltak:

Avbøtende tiltak for ny sikkerhetsgodkjenning:

Tiltak i forhold til tunnelsikkerhetsforskriften:

Tiltak i forhold til ulike elektro-forskrifter:

Andre tiltak:

Bergsikring:

Gang- og sykkeltrafikk:

Spesielle trafikksikkerhetstiltak:

Universell utforming:

Miljø: