



**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTETET**  
**MASTEROPPGAVE**

Studieprogram/spesialisering: Master i Teknisk samfunnssikkerhet	<i>Vår semesteret, 2023</i> Åpen
Forfatter: Stig Østmoe	
Fagansvarlig ved UiS: Henrik Bjelland	
Tittel på oppgaven: Kommunikasjonssystemer i norske vegtunneler  Engelsk tittel: Communication systems in Norwegian road tunnels	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Tunnelsikkerhet, kommunikasjonssystemer, selvredning, vegtunnel, brann, evakuering, atferd, samfunnssikkerhet	Sidetall: 89 + vedlegg/annet: 120  Stavanger, 15. juni 2023

## Sammendrag

Norge er et av landene med flest tunneler i verden. Det er over 1200 tunneler spredt over landet med ulik geometrisk utforming. Man finner tunneler i alle variasjoner: lange, korte, bratte, slake, undersjøiske, ett- eller toløpstunneler. Tunneler er med på å gjøre vegnettet bedre ved at flere steder får enkel tilkobling som ellers ikke ville vært mulig. Strekningene er normalt sett på som trygge å kjøre gjennom, men vil kunne ha store konsekvenser om for eksempel en brann skulle oppstå. Det førende prinsippet for tunnelevakuering er selvredningsprinsippet. Det betyr at trafikanter selv er ansvarlige for å komme seg ut av tunnelen.

Denne masteroppgaven undersøker hvordan tunnelers sikkerhetssystemer, mer spesifikt kommunikasjonssystemer kan hjelpe trafikanter under en slik situasjon. Ved brannhendelser i tunneler vil det være begrenset hvilken informasjon trafikantene har tilgang til. Det vil være vanskelig å få oversikt over situasjonen og vite hvilke handlinger som skal tas. Å kunne benytte ulike typer kommunikasjonssystemer til å meddele nødvendig informasjon vil være hensiktsmessig for å kunne opprettholde trafikantenes evne for selvredning.

Oppgaven tar for seg ulike scenarioer satt i norske tunneler og hvordan de er i stand til å gi trafikanter nødvendig informasjon. Her ble det sett på hvordan tunnelene håndterte brann i vogntog og brann i tankbil. Hensikten med analysene var å skape et bilde over hvordan tunnelenes kommunikasjonssystemer fungerte, samt om de var i stand til å opprettholde informasjonsbehovet til trafikantene. Effekten av ulike systemer ble vurdert for så å se på hvilke fremtidige muligheter vi har for å dekke begrensningene til dagens systemer.

Resultatene til oppgaven viser hvordan evalueringsprosessen blir påvirket av ulike systemer og hvilke faktorer som setter begrensninger for evakueringen. Ved evakuering av tunneler er det begrenset hvilken tid som er tilgjengelig og det er derfor viktig med hurtig informasjon. Dette er viktig slik at forflytningen kan starte før trafikantene mister synsevne på grunn av røyk. Effekten av kommunikasjonssystemene rettet mot trafikantene er begrenset etter om tunneloperatør mottar nødvendig informasjon slik at systemene kan aktiveres. Det er derfor viktig at tunnelen utrustes med systemer som gir tunneloperatør mulighet til å få en rask oversikt over hendelsen. Dette gjennom bruk av for eksempel kameraovervåkning.

Oppgaven viser også at effekten av kommunikasjonssystemene er avhengig av situasjonen som oppstår. Systemene vil ikke kunne påvirke trafikantenes forflytningstid og ved hendelser hvor denne er høyere enn tilgjengelig rømmingstid vil hastigheten på installasjoner ikke være nok til å hjelpe trafikantene.

## **Abstract**

Norway is one of the countries with the most tunnels in the world. There are over 1200 road tunnels spread across the whole country, all with different geometrical design. You can find tunnels with many different variations: short, long, steep incline, gradual incline, undersea tunnels, one- or two bore tunnels. Tunnels are used to make the road network better and connect places that otherwise would not be possible. They are usually safe to travel in but can bring large consequences if a fire were to start. The leading principle for evacuation from tunnels is self-rescue. This means that the road users need to get out of the tunnel on their own.

This master thesis investigates how tunnel safety systems, more specifically communication systems can help the road users in these kinds of situations. Road users will have limited information in fire incidents in tunnels. Therefore, it will be hard to judge the situation and get a good understanding of what is going on. To be able to use communication systems and give them the required information, it will be important to maintain their ability to self-rescue.

The thesis looks at different scenarios placed in different Norwegian tunnels and how they can give road users the required information. It was looked at how they were able to handle a fire in a heavy goods vehicle and a tank truck. The reason for this was to create a picture of how the communication systems worked and their ability to maintain the road user's informational needs.

The results show how the evacuation process is affected by the different systems and what restrictions are met. When evacuating a tunnel there is a limited amount of time and fast information is key. This is important so the road users can evacuate before getting caught in the smoke. The effect of the systems targeted towards the road users are dependent on being activated by the tunnel operator. The importance of other systems that can give the operator information is therefore very important. This could be by using camera surveillance for example.

The thesis also shows that the effect of communication systems is dependent on what kind of incident that happens. If the movement time for the road users is larger than the available time, the effect of the system does not make a difference on if the evacuation is successful.

## Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen av en toårig master i Teknisk samfunnssikkerhet ved Universitetet i Stavanger. Det siste halvåret har jeg fått innsikt i et tema som jeg anser både faglig lærerikt og dagsaktuelt, og håper oppgaven kan bidra med refleksjoner som kan bedre tunnelsikkerheten i Norge.

Jeg ønsker å rette en takk til alle informanter som har bidratt med informasjon og datagrunnlag. Takk for alle diskusjonene, erfaringen og material som er delt. Jeg vil takke veilederen min Henrik Bjelland som har stilt opp for meg og hjulpet med å utvikle oppgaven når jeg til tider har satt meg fast. Han har kommet med gode konstruktive tilbakemeldinger og jeg setter stor pris på hans dedikasjons og kunnskap om fagfeltet. Det har vært inspirerende å lære av din kunnskap og ikke minst motiverende.

Jeg vil benytte anledningen til å takke mine venner, medstudenter og kollegaer. Det har vært mye mas fra meg om oppgaven det siste halvåret. Det har vært en utfordrende periode, men dere har vært der når jeg trengte det. Jeg vil takke venner for å dra meg ut av huset når oppgaven gikk til hodet på meg. Takk for deres tålmodighet og forståelse.

Til slutt vil jeg takke familien: mamma, pappa og søsken som har stilt opp for meg i denne perioden. Takk til min mor og venner for å ha korrekturlest oppgaven.

Stig Østmoe

*Stavanger // 15. juni 2023*

## Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	II
Abstract .....	III
Forord.....	IV
Forkortelser:.....	X
Figurliste .....	XI
Tabelliste.....	XI
Begrepsdefinisjoner .....	XII
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn for valg av tema.....	2
1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål.....	3
1.3 Avgrensninger.....	4
1.4 Historiske hendelser og forskningsutvikling .....	4
1.5 Oppgavens struktur .....	6
2 Systembeskrivelse.....	8
2.1 Norske vegtunneler .....	8
2.2 Nullvisjon.....	8
2.3 Selvredningsprinsippet.....	9
2.4 Sentrale aktører .....	10
2.4.1 Politiske myndigheter .....	10
2.4.2 Statens vegvesen .....	10
2.4.3 Vegtrafikksentralen (VTS).....	10
2.4.4 Nødetater.....	11
2.4.5 Statens havarikommisjon .....	12
2.4.6 Trafikanter.....	12
2.4.7 Entreprenører, prosjekterende aktør og leverandør .....	12
2.4.8 Trafikkskoler.....	13
2.4.9 Transportselskaper/-næringen.....	13
2.5 Dimensjonering og beredskapsplanlegging .....	13
2.6 Krav i regelverket .....	14
2.6.1 Krav.....	14
2.6.2 Veiledninger.....	15
2.7 Prosjekterernes forutsetninger for valg av kommunikasjonssystemer.....	15

2.7.1 Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning .....	16
2.7.2 Vegnormal N500 - vegtunneler .....	16
2.7.3 Tidligere sikkerhetstiltak .....	19
2.7.4 Sammenligning .....	21
3 Teori.....	22
3.1 Samfunnssikkerhetsarbeid .....	22
3.2 Tilgjengelig rømningstid ved brann.....	22
3.2.1 Varslingstid .....	24
3.2.2 Reaksjonstid.....	24
3.2.3 Forflytningstid .....	25
3.3 Risikopersepsjon og risikokommunikasjon .....	26
3.3.1 Risiko .....	26
3.3.2 Risikopersepsjon .....	26
3.3.3 Risikokommunikasjon .....	27
3.4 Menneskers handlinger ved brann .....	27
3.4.1 Handlingsmønster .....	28
3.4.2 The role-rule model.....	29
3.4.3 Tilknytningsmodellen .....	29
3.4.4 Sosial innflytelse.....	29
3.5 Menneskers handlinger ved brann i tunnel .....	30
3.5.1 Bli værende i bilen .....	30
3.6 Affordance theory .....	30
4 Metode .....	32
4.1 Forskningsstrategi.....	32
4.1.1 Forskningsprosess .....	32
4.2 Forskningsdesign .....	33
4.2.1 Casestudie .....	33
4.2.2 Scenarioanalyse.....	34
4.2.3 Vurdering av effekt.....	35
4.3 Datainnsamling og -analyse.....	35
4.3.1 Dokumentanalyse.....	36
4.3.2 Intervju.....	36
4.3.3 Informanter .....	37

4.4	Kvalitetskriterier .....	38
4.4.1	Relabilitet og validitet.....	38
4.4.2	Overførbarhet.....	39
4.4.3	Metodiske styrker og svakheter .....	39
5	Analyse .....	41
5.1	Tabelloversikt over utvalgte tunneler .....	41
5.2	Rennfast .....	42
5.2.1	Grunnleggende informasjon om tunnelene .....	42
5.2.2	Styringsprosess .....	43
5.2.3	Tidligere hendelser.....	44
5.3	Svotunnelen.....	44
5.3.1	Grunnleggende informasjon om tunnelen.....	45
5.3.2	Styringsprosess .....	45
5.3.3	Tidligere hendelser.....	45
5.4	Gudvangatunnelen .....	45
5.4.1	Grunnleggende informasjon om tunnelen.....	46
5.4.2	Styringsprosess .....	46
5.4.3	Tidligere hendelser.....	47
5.5	Scenarioanalyse.....	47
5.6	Brann i vogntog.....	48
5.6.1	Analyse 1 .....	48
5.6.2	Analyse 2 .....	50
5.6.3	Analyse 3 .....	52
5.7	Brann i tankbil.....	53
5.7.1	Analyse 4 .....	53
5.7.2	Analyse 5 .....	54
5.7.3	Analyse 6 .....	54
6	Empiri .....	55
6.1	Hva er informasjonsbehovet til de ulike aktørene ved brann i tunnel?.....	55
6.1.1	Trafikanter.....	55
6.1.2	Operatør .....	56
6.1.3	Nødetater.....	58
6.1.4	Oppsummering.....	58

6.2	Hvilke muligheter har vi for kommunikasjon i vegtunneler i dag? .....	59
6.2.1	Kjørefeltsignal.....	59
6.2.2	Variable trafikkskilt .....	60
6.2.3	Radiomelding (FM eller DAB) .....	61
6.2.4	Mobiltelefoner.....	63
6.2.5	Tunnel stengesystem.....	64
6.2.6	Høytaleranlegg (PA-system).....	66
6.2.7	Ledelys langs veggen.....	68
6.2.8	Nødtelefoner .....	69
6.2.9	Blinkende lys ved nødutgang.....	71
6.2.10	Sirener (alarm) .....	72
6.2.11	Oppsummering.....	73
6.3	Hvilke muligheter har vi for fremtidig utvikling av kommunikasjonssystemer? .....	75
6.3.1	Fremtidige muligheter for kommunikasjon til trafikanter .....	75
6.3.2	Fremtidige muligheter for kommunikasjon til VTS .....	77
7	Diskusjon .....	79
7.1	Hvordan bidrar kommunikasjonssystemer til trafikanters evne til selvredning?.....	79
7.1.1	Ulike systemer .....	80
7.1.2	Delkonklusjon .....	80
7.2	Hvilke begrensninger har dagens kommunikasjonssystemer og hvordan kan fremtidige systemer dekke disse? .....	81
7.2.1	Kommunikasjon til VTS .....	82
7.2.2	Nyere systemer.....	82
7.2.3	Fremtidig utvikling .....	83
7.2.4	Delkonklusjon .....	83
7.3	Hvordan vil kommunikasjonssystemene håndtere ulike hendelser? .....	84
7.3.1	Delkonklusjon .....	85
8	Konklusjon.....	86
8.1	Anbefalinger .....	88
8.2	Videre forskning .....	88
8.3	Avsluttende ord.....	89
	Litteraturliste.....	90
	Vedlegg.....	i
	Vedlegg 1: Oversikt over analyserte dokumenter.....	i



Vedlegg 2: Nøkkelinformanter .....	iv
Vedlegg 3: Intervju guide .....	v
Vedlegg 4: Samtykkeskjema.....	vi
Vedlegg 5: Detaljert prosedyre for forskningsprosessen.....	viii
Vedlegg 6: Søking og resultater.....	xi

## **Forkortelser:**

<b>DSB</b>	Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap
<b>SVV</b>	Statens vegvesen
<b>VTS</b>	Vegtrafikksentralen
<b>SHK (Tidligere: SHT)</b>	Statens havarikommisjon (tidligere: Statens havarikommisjon for transport)
<b>ÅDT</b>	Årsdøgntrafikk/gjennomsnittlig døgntrafikk
<b>AID</b>	Automatisk hendelsesdetektering
<b>EU</b>	Europeiske union
<b>Meld. St.</b>	Melding til stortinget
<b>MW</b>	Megawatt
<b>PA-system</b>	Public address system
<b>NVDB</b>	Nasjonal vegdatabank

## Figurliste

<i>Figur 1 Valg av tunnelklasse</i>	14
<i>Figur 2 Sammenhengen mellom ulike begreper knyttet til tidsforløp</i>	23
<i>Figur 3 Modell over menneskers handlingsmønster under brann</i>	28
<i>Figur 4 Byfjord- og Mastafjordtunnelen</i>	42
<i>Figur 5 Svtunnelen</i>	44
<i>Figur 6 Gudvangatunnelen</i>	46
<i>Figur 7 Illustrasjon av brann i Byfjordtunnelen</i>	49
<i>Figur 8 Illustrasjon av brann i Svtunnelen</i>	51
<i>Figur 9 Illustrasjon av brann i Gudvangatunnelen</i>	52
<i>Figur 10 Operatøren si oversikt over Gudvangatunnelen gjennom Vegvokteren</i>	57
<i>Figur 11 Illustrasjon av kjørefeltsignal</i>	60
<i>Figur 12 Illustrasjon av variabelt skilt</i>	61
<i>Figur 13 Radio bruk i tunnel</i>	63
<i>Figur 14 Radio skilt utenfor tunnel</i>	63
<i>Figur 15 Illustrasjon av trafikklys</i>	66
<i>Figur 16 Illustrasjon av høyttaleranlegg i tunnel</i>	67
<i>Figur 17 Illustrasjon av evakueringslys</i>	69
<i>Figur 18 Illustrasjon av nødstasjon med nødtelefon</i>	70
<i>Figur 19 Illustrasjon av blinkende lys ved nødutgang</i>	72

## Tabelliste

<i>Tabell 1 Oppgavens kapitellsammensetning</i>	6
<i>Tabell 2 Sikkerhetstiltak krav tunnel 2022</i>	18
<i>Tabell 3 Sikkerhetstiltak krav tunnel 1992</i>	20
<i>Tabell 4 Verdier benyttet for å måle effekt av system</i>	35
<i>Tabell 5 Tabelloversikt over utvalgte tunneler</i>	41
<i>Tabell 6 Oversikt over utarbeidet scenarioanalyser</i>	47
<i>Tabell 7 Bruksområde og effekt av kjørefeltsignal</i>	60
<i>Tabell 8 Bruksområde og effekt av variable skilt</i>	61
<i>Tabell 9 Bruksområde og effekt av radio melding</i>	62
<i>Tabell 10 Bruksområde og effekt ved bruk av mobiltelefoner</i>	64
<i>Tabell 11 Bruksområde og effekt av stengsystem</i>	66

<i>Tabell 12 Bruksområde og effektivitet av høyttaleranelgg i tunnel.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabell 13 Bruksområde og effekt av ledelys .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabell 14 Bruksområde og effekt av nødtelefoner .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabell 15 Bruksområde og effekt av blinkende lys ved nødutganger .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabell 16 Bruksområde og effekt av sirener. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tabell 17 Fargekoder for tabell 18.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabell 18 Oppsummering av ulike systemer effekt .....</i>	<i>74</i>

## Begrepsdefinisjoner

<b>Risiko</b>	Den «vanlige» definisjonen av risiko er <i>produktet av sannsynlighet og konsekvens</i> (Engen et al., (2021), s. 92).
<b>Risikoanalyse</b>	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 (Tunnelsikkerhetsforskriften, §3)
<b>Selvredning</b>	Selvredningsprinsippet er et prinsipp som benyttes i de fleste brann tilfeller, både for bygg og tunneler. Prinsippet handler om at personer selv er ansvarlige for evakuering ved brann eller lignende hendelser. I tunneler vil dette si at trafikantene selv er ansvarlige for å komme seg ut av tunnelen til fots eller ved å benytte eget kjøretøy (Sørvik og Henning 2015, referert fra Jenssen et al, 2017, s.12).
<b>Usikkerhet</b>	«Usikkerhet forstås i en risikofaglig kontekst som det å ikke vite sann verdi av en størrelse eller fremtidige konsekvenser av en aktivitet. Vi snakker også om usikkerhet som følge av å ha ufullstendig eller upresis informasjon eller kunnskap om en hypotese, en størrelse eller opptreden av en hendelse» (Aven T., 2023b).
<b>Evakuere</b>	«Målet med evakuering er å få folk vekk fra farekilden» (Engen et al ,2021, s. 332).

<b>Varslingstid</b>	Varslingstid kan defineres som “tiden det tar fra en brann oppstår, til den blir detektert og det blir varslet” (SINTEF, 2016b, s.1).
<b>Forflytningstid</b>	Forflytningstid defineres som “tiden det tar for personer å forflytte seg til sikkert sted” (SINTEF, 2016b, s.1).
<b>Uønsket hendelse</b>	«En uønsket hendelse er en hendelse som har forårsaket eller kunne ha forårsaket ulike typer skader på sentrale verdier (mennesker, materiell, miljø og omdømme)» (Engen et al ,2021, s. 302).
<b>Reaksjonstid</b>	Reaksjonstid defineres som “tiden fra varsling oppstår til forflytning starter” (SINTEF, 2016a, s.1).
<b>Risikokommunikasjons</b>	«Risikokommunikasjon er utveksling og deling av risikorelaterte data, informasjon og kunnskap mellom og blant forskjellige grupper» (Aven. T, 2021).
<b>Risikopersepsjon</b>	Renn (2008) definerer risiko som en mental modell som handler om at mennesker responderer på risiko etter egne oppfatninger av risiko (s.93). Denne subjektive oppfatningen av risiko blir kalt for <i>risikopersepsjon</i> . Risikopersepsjon handler generelt om hvordan man prosesserer fysiske signaler og/eller informasjon om mulige skadelige hendelser, og hvordan man vurderer alvorlighetsgraden av hendelsen, sannsynligheten for hendelsen og hvor vidt man aksepterer den (Slovic et al., 1980; Brehmer, 1987; Renn, 1990, 2004; Rohrman, 1999 referert i Renn, 2008, s. 98).

# 1 Innledning

Norge er et av landene i verden med flest tunneler. Ifølge den nasjonale vegdatabanken (SVV, u. årb) er det 1241 vegtunneler i Norge. Dette utgjør en samlet lengde på over 1000 km. Brann i tunnel er en uønsket hendelse som kan få alvorlige konsekvenser. Hver måned registreres det større eller mindre branner i norske tunneler. Sannsynligheten for at en slik brann skal oppstå er fortsatt lavere enn alvorlige trafikkulykker utenfor tunneler. Problemet med brann i tunnel er at det har et stort potensial for å få alvorlige konsekvenser. Dannelse av røyk og varme langt fra nærmeste utgang er et skrekksenario for de fleste trafikanter (DSB, 2014, s. 6).

Det har vært flere alvorlige hendelser i tunneler, både i Norge og i resten av Europa de siste årene, noe som har ført til et nytt sikkerhetsregime. Dette gjelder ikke bare i Norge, men for hele Europa. Det har derfor blitt et større fokus på samfunnssikkerhet og beredskap (SVV, 2018a). Det ble utviklet en tunnelforskrift i 2007 for å bygge på dette sikkerhetsregimet. Formålet med denne forskriften er «å sikre laveste tillatte sikkerhetsnivå for trafikanter i tunneler ved krav til å forebygge kritiske hendelser som kan sette menneskeliv, miljøet og tunnelanlegg i fare og til å sørge for vern i tilfelle av ulykker» (Tunnelsikkerhetsforskriften, 2007, §1). Forskriftene setter blant annet krav til tunneler og hvilke tunneler dette gjelder. Tunneler som ble bygget og godkjent før 1. desember 2006 går for eksempel ikke under kravene til forskriften (Tunnelsikkerhetsforskriften, 2007, §2). Den setter også krav til tunnelforvalter om utarbeidelse av rapporter etter betydelige hendelser (Tunnelsikkerhetsforskriften, 2007, §5). Dette er med på å fremme sikkerhetsarbeidet rundt tunneler og forbedre løsninger.

## 1.1 Bakgrunn for valg av tema

Et av de grunnleggende prinsippene når det kommer til tunnelsikkerhet er selvredning. Dette betyr at tunnelens trafikanter må komme seg ut av tunnelen selv når en ulykkeshendelse oppstår. Det vil være mulig å gi trafikantene assistanse og forbedre evakueringen ved hvordan tunnelen utformes, sikkerhetsutstyr og øvrige tekniske installasjoner (N500, s.43).

En rapport fra SVV (SVV, 2012, s.53) viser at nordmenn har dårlig kunnskap om hva de skal gjøre hvis de blir utsatt for en krisesituasjon i en tunnel. Dette er noe som går igjen i flere land og det har blitt utført flere øvelser for å kartlegge personers handlinger ved krisehendelser. Disse øvelsene viser at trafikantene bruker for lang tid på å reagere. I en nederlandsk undersøkelse viste det seg at involverte personer kun evakuerte spontant ved 1 av 9 forsøk (SVV, 2012, s.53).

En av årsakene for denne lave reaksjonstiden kan komme fra begrensninger for hvilken informasjon man klarer å absorbere. I vegtunneler er det begrenset hvor langt man kan se og hvor mye informasjon man klarer å absorbere. Under tidlige faser ved brannhendelser er dannelse av røyk og stans i trafikk de få tegnene man har på at det har oppstått en ulykke.

Som trafikanter på vegnettet blir man også hele tiden fortalt hva man skal gjøre og gitt restriksjoner som skal følges. Det blir gitt informasjon gjennom fartsgrenser, samt andre informerende skilt. Trafikanter er dermed vant til å bli gitt informasjon om hvordan de skal oppføre seg på ulike vegstrekninger (K. Fridolf, 2013). Det samme gjelder tunneler, men her kan det også oppstå flere ulike hendelser hvor det vil være behov for varierende informasjon.

Med bakgrunn i hvor viktig det er for trafikanter med korrekt informasjon for å utføre selvredning, er det ønskelig å kartlegge mulige tekniske installasjoner som kan kommunisere med trafikantene. Det vil være hensiktsmessig å se på effekten ved bruk av ulike systemer, samt hvordan de påvirker ulike situasjoner.

Hensikten med oppgaven vil være å se på systemene som benyttes i norske tunneler og hvordan de påvirker trafikantene. Dekker systemene informasjonsbehovet til trafikantene? Det vil også være hensiktsmessig å se på hvordan systemene benyttes av tunneloperatør, i Norge er det VTS (vegtrafikksentralen) som har ansvar for dette. Bakgrunnen for dette er at ved flere hendelser har tunneler vært utrustet med systemer som ikke ble benyttet.

## 1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Proessen med å utvikle problemstillingen tok utgangspunkt i temaet tunnelsikkerhet. Med bakgrunn i dette, samt ønske om utførelse av en casestudie, ble følgende problemstilling utarbeidet: *Hvordan kan trafikanter få nødvendig/korrekt informasjon under krisehendelser i tunneler?*

Formålet med denne oppgaven er å utforske og forklare hvordan trafikanter kan få nødvendig informasjon for å utføre selvredning på best mulig måte. Tidligere hendelser illustrerer at det er manglende kunnskap rundt selvredning og hvor viktig det er å få tidlig informasjon under hendelsen. Det er derfor interessant å se på hvordan ulike systemer kan øke sikkerhetsnivået i tunneler.

For å besvare oppgavens problemstilling er det utformet tre forskningsspørsmål, samt en analyse. Analysen består av flere ulike scenarioer plassert i ulike norske tunneler. Analysen er benyttet for å gi en forståelse for hvordan ulike kommunikasjonssystemer fungerer i praksis og deres effekt. Forskningsspørsmålene benyttes så for å bygge videre på informasjonen fra analysen. Forskningsspørsmålene er som følger:

### **1. Hva er informasjonsbehovet til de ulike aktørene ved brann i tunnel?**

Det første forskningsspørsmålet vil ta for seg informasjonsbehovet til ulike aktører under brannhendelser i tunneler. Det vil bli tatt utgangspunkt i informasjon samlet inn fra analysene utarbeidet i kapittel 5. Hensikten med å få en oversikt over informasjonsbehovet vil være for å kunne vurdere ulike kommunikasjonssystemer og deres effekt til å hjelpe med selvredning.

### **2. Hvilke muligheter har vi for kommunikasjon i vegtunneler i dag?**

Det andre forskningsspørsmålet vil ta for seg hvilke muligheter vi har for sanntidskommunikasjon i tunneler i dag. Dette er noe som stadig er under endring, da teknologien er under utvikling. Det vil være hensiktsmessig å få en oversikt over state-of-the-art, med andre ord, hvilke systemer som er de siste og beste innen området (NAOB, u.å). Dette vil hjelpe til å få en forståelse av de ulike systemene og hvilke hendelser de er nyttige ved.



### **3. Hvilke begrensninger har dagens kommunikasjonssystemer og hvilke fremtidige muligheter har vi til forbedring?**

Hensikten med dette forskningsspørsmålet er å sette lys på utfordringene og begrensningene med dagens systemer. Ved å se på disse vil det være mulig å kartlegge hvilke områder videre teknologisk utvikling burde gå.

#### **1.3 Avgrensninger**

Hovedfokuset til studiet vil avgrenses til brannsikkerhet i norske vegtunneler i driftsfasen. Årsaken til dette er at fokuset til oppgaven vil være på trafikantene, samt systemene montert i tunnelen. Oppgaven avgrenses til 4 tunneler, Byfjordtunnelen, Mastafjordtunnelen, Svotunnelen og Gudvangatunnelen. Disse tunnelene blir beskrevet i kapittel 5. I disse tunnelene vil avgrensningen være hvordan sikkerhetsutstyret i tunnelen er i stand til å opprettholde trafikantenes evne for selvredning. Oppgaven vil fokusere på kommuniserende sikkerhetsutstyr, systemer som vil gi trafikanter informasjon om hvordan de skal handle ved krisehendelsen. Det vil derfor ikke bli sett på systemer slik som ventilasjon selv om dette også er viktige sikkerhetssystemer i en tunnel.

#### **1.4 Historiske hendelser og forskningsutvikling**

Som tidligere nevnt har det vært flere alvorlige tunnelbranner i Norge. De alvorlige hendelsene som skiller seg ut, er brannene i Oslofjordtunnelen i 2011 og 2017, Gudvangatunnelen 2013 og 2015, og Skatestraumtunnelen i 2015. Disse tunnelene dekker flere ulike aspekter innen tunnelkategorier. Oslofjordtunnelen og Skatestraumtunnelen er undersjøiske tunneler med høy stigningsgrad. Gudvangatunnelen er derimot ikke undersjøisk og har lav stigningsgrad. Det er også forskjell i lengdene på tunnelene, med Oslofjordtunnelen og Gudvangatunnelen som lange tunneler, mens Skatestraumtunnelen er kort. Dette illustrerer at det kan oppstå branner i alle typer tunneler, uavhengig om de er undersjøiske eller ikke, bratte eller slake, og lange eller korte.

Ulykkene nevnt ovenfor er alle analysert av Statens havarikommisjon (SHK). SHK er et forvaltningsorgan som har ansvar for å undersøke ulykker innen ulike transportsektorer for å øke sikkerheten og for å forebygge fremtidige ulykker (Regjeringen.no, u.å.). I rapportene de har utarbeidet for tunnelhendelsene tar de for seg selvredning som et av punktene. Dette punktet omhandler da hvordan tunnelens utforming var egnet for selvredning. I rapporten fra Oslofjordtunnelen 2011 ble det skrevet at «faresituasjonen for trafikantene ble forsterket av at tunnelens sikkerhetsutrustning og beredskapsløsning ikke var tilstrekkelig tilrettelagt for

selvredning» (SHK, 2013, s.74). SHK kommenterte også at VTS burde prioritert å gi trafikantene informasjon om situasjonene før de startet ventilasjonen (SHK, 2013, s.56). Det samme kan vi se i en lignende rapport fra brannen i Gudvangatunnelen 2013, hvor trafikanter ikke fikk umiddelbar informasjon om å evakuere (SHT, 2015, s.68). Disse rapportene viser til hvor viktig det er at trafikanter får nødvendig informasjon tidlig, slik at evakuering kan være mer effektiv uten påvirkning fra røyk. Røyk vil påvirke sikt, slik at det vil være mer utfordrende å for eksempel snu kjøretøyene.

Beredskapsplaner som utarbeides for tunneler burde ifølge SHK (2013, s. 78) ha en helhetlig vurdering av hvordan sikkerhetsutrustning, trafikkinformasjon, sikker evakuering av trafikantene (selvredning), ventilasjonsløsning/røykstyring og brannsløkking skal samspille under hendelser. Ved utarbeidelse av en slik plan er det viktig å fokusere på hvilke faktorer som skal prioriteres. Med tanke på at selvredning er det førende prinsippet for evakuering av tunneler, vil det være hensiktsmessig å legge vekt på dette.

For å tilrettelegge for selvredning vil det være nødvendig med god kommunikasjon til både tunneloperatør og trafikanter. Utviklingen av kommunikasjonssystem er under stadig utvikling. Det forskes på hvordan dagens systemer kan optimaliseres, hvilken effekt ulike variasjoner på systemene vil ha, osv. Videre utvikling og muligheter for kommunikasjonssystemer vil bli snakket mer om i kapittel 6.3. Dette er bare et aspekt når det kommer til tunnelsikkerhet. Tunnelsikkerhet er et stort tema som det er viktig å øke bevissthet og kunnskap rundt. Universitetet i Stavanger fikk tildelt et prosjekt som skulle fokusere på dette i 2017. Dette prosjektet går under navnet Kapasitetsløft tunnelsikkerhet og har som «hovedmål å bygge forskningsbasert kompetanse som gjør næringslivet i stand til å levere verdiskapende løsninger for tunnelsikkerhet» (UIS, 2021).

## 1.5 Oppgavens struktur

Denne oppgaven er sammensatt av syv hovedkapitler; innledning, systembeskrivelse, teori, forskningsmetode, analyse, empiri, diskusjon og konklusjon. Tabell 1 vil gi en oversikt over innholdet i de ulike kapitlene.

Tabell 1 Oppgavens kapitelsammensetning

Oppgavens kapitelsammensetning	
Kapittel 1: Innledning	Kapittelet introduserer tema for oppgaven, samt bakgrunn for valget. Oppgavens problemstilling, forskningsspørsmål, historiske hendelser og forskningsutviklingen presenteres. Det samme gjelder oppgavens avgrensninger og struktur.
Kapittel 2: Systembeskrivelse	Det andre kapittelet har som hensikt å gi kunnskap rundt systemet som kan påvirke forståelse av temaet til oppgaven. Dette inkluderer informasjon om norske vegtunneler, nullvisjon, selvredningsprinsippet, sentrale aktører, dimensjonering og beredskapsplanlegging, krav og regelverk, samt hvordan dette påvirker prosjekterende aktør.
Kapittel 3: Teori	Kapittel 3 redegjør for oppgavens teoretiske rammeverk. Det blir fokusert på en evalueringsmodell som gir informasjon om tilgjengelig og nødvendig rømningstid ved brann. Det blir også satt lys på hvordan mennesker oppfører seg ved brannhendelser.
Kapittel 4: Metode	Dette kapitelet tar for seg forskningsmetoden til oppgaven. Det blir presentert hvilke forskningsstrategi og forskningsdesign som er lagt til grunn. Det blir informert om hvordan dataene til oppgaven er samlet inn og hvordan det er analysert. Videre blir det informert om hvordan det er blitt tatt stilling til ulike kvalitetskriterier.

<p>Kapittel 5: Analyse</p>	<p>Under analysekapitelet blir det først gitt en oversikt over hvilke tunneler som er benyttet i analysene. Det blir så utført flere scenarioanalyser som er fiktive hendelser plassert i disse tunnelene.</p>
<p>Kapittel 6: Empiri</p>	<p>Kapitelet 6 utleder oppgavens forskningsspørsmål. Her presenteres funn fra dokumentene og bygger videre på funn fra analysen.</p>
<p>Kapittel 7: Diskusjon</p>	<p>Diskusjonskapitelet tar med seg hovedfunnene fra analysen og empirien og knytter det opp mot teorikapittelet, før problemstillingen kan konkluderes.</p>
<p>Kapittel 8: Konklusjon</p>	<p>I det siste kapitelet til oppgaven vil problemstillingen besvares. Avslutningsvis vil det blir gitt anbefalinger og potensielle oppfølginger for videre forskning.</p>

## 2 Systembeskrivelse

Dette kapittelet skal gi kunnskap rundt systemet som kan påvirke forståelse for temaet til oppgaven. Kapittelet gir en gjennomgang av ulike faktorer som er sentrale når det kommer til tunneler i Norge. Dette gjelder generell informasjon for å forstå problemstillingen, samt sentrale aktører når det kommer til tunnelsikkerhet.

### 2.1 Norske vegtunneler

Flere av tunnelene i Norge går under kategorien spesielt utfordrende. Dette kommer av at flere av tunnelene er lange, har høy stigningsgrad, er undersjøiske, har kompleks geometri og mer. Disse tunnelene har et stort ulykkepotensial, noe som vil si at ulykkene som oppstår vil kunne ha mer enn fem drepte og vil være vanskelig å håndtere. De undersjøiske tunnelene har også høyere forekomst av branner og tilløp til branner enn andre tunneler (Njå et al., 2020, s.137-138). Årsaken til dette er den høye stigningsgraden til slike tunneler. Tunneler med høy stigningsgrad er alle tunneler som har en stigning på mer enn 5%, noe som utgjør rundt 5% av norske tunneler. Disse tunnelene var ansvarlige for 38% av brannene og tilløpene i perioden 2008-2021. Dette illustrerer hvor stor påvirkning stigningen har på brann i tunnel. (Nævestad & Blom, 2023, s. I).

Norske tunneler deles inn i ulike klasser etter tunnelens årsdøgntrafikk (ÅDT). Dette legger grunnlag for tunnelens sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning (SVV, 2022b, s. 45). Denne metoden for sikkerhetsberegning baserer seg på at sikkerhetstiltakene øker dersom trafikkmengden stiger (Jenssen et al., 2017, s. 20).

### 2.2 Nullvisjon

Nullvisjonen er en visjon om at det skal være null drepte eller hardt skadde i vegtrafikken i Norge. Denne visjonen ble vedtatt av Stortinget i 2002. Det har vært et stort fokus på trafikksikkerhetsarbeidet siden 1970, noe som har gitt synlige resultater. Antall drepte personer i trafikken har blitt redusert fra 560 til rundt 100 i året fra 1970 til de siste årene (SVV, u.åc). For å kunne redusere antallet mest mulig ble det fokusert på de alvorligste trafikkulykkene med flest drepte og hardt skadde (St.meld. nr. 40. 2015-2016, s.8).

Et annet viktig aspekt som forklares gjennom nullvisjonen er at ulykker er avhengig av tilpasning og samspill mellom trafikanter, kjøretøy og veg. Ulykker oppstår ofte ikke ved mangel på bare en av disse faktorene, men flere medvirkende årsaker. Vegnettet og kjøretøyene må dermed utformes etter menneskers forutsetninger, som at mennesker kan gjøre feil (St.meld.

nr. 40. 2015-2016, s.16). Dette er viktig med tanke på utforming av tunneler og trafikantene som benytter dem.

### 2.3 Selvredningsprinsippet

Selvredningsprinsippet er et prinsipp som benyttes i de fleste branntilfeller, både for bygg og tunneler. Prinsippet handler om at personer selv er ansvarlige for evakuering ved brann eller lignende hendelser. I tunneler vil dette si at trafikantene selv er ansvarlige for å komme seg ut av tunnelen til fots eller ved å benytte eget kjøretøy (Sørvik og Henning 2015, referert fra Jenssen et al, 2017, s.12).

Selvredningsprinsippet er en del av EU-direktivet og tunnelsikkerhetsforskriftene. Forskriftene sier at ved tunneler over 500 meter skal tunnelen være tilrettelagt slik at folk skal kunne komme seg ut på egen hånd, eller overleve i tunnelen dersom det skulle oppstå en brannsituasjon (Garathun, 2015, referert fra Jenssen et al, 2017, s.12).

En av de større utfordringene med selvredningsprinsippet er i lengre tunneler som bare har ett løp og har høy stigningsgrad (Sørvik og Henning 2015, referert fra Jenssen et al, 2017, s.12). Dette kommer av at det er lang veg til sikkerhet, uten muligheter for rømningsveier. I toløpstunneler benyttes det rømningsveier mellom løpene i tunnelen, noe som reduserer avstanden trafikantene må evakuere for å komme seg til sikkerhet. Bratte tunneler står for store deler av brannene som har oppstått i tunneler, da stigningsforholdene vil kunne være en påvirkende faktor på varme i både bremses og motor, dette spesielt i tunge kjøretøy (Jenssen et al, 2017).

Ved brann i tunneler blir redningsetatene ringt for å hjelpe til med hendelsen. Problemet er at tilgjengelig rømningstid i en tunnel er lav. Ved større farlige hendelser slik som en brann på 100 MW vil det kun være ca. 10 minutter tilgjengelig for evakuering. Dette gjør at det ikke vil være mulig å vente på nødetater sin hjelp, da det da allerede kan være for sent. For å kunne hjelpe trafikanten og gi dem en reell sjanse på å gjennomføre evakuering, må tunnelene være utrustet med tekniske installasjoner som vil hjelpe og støtte trafikantene (Jenssen et al, 2017). Fokuset til denne oppgaven vil være å se nærmere på disse systemene og gi en dypere forståelse for hvor viktige de er.

Selvredningsprinsippet startet med at trafikantene selv var ansvarlig for å komme seg ut av tunnelen. Etter hvert som tunnelsikkerhetsarbeidet har utviklet seg har det blitt et større fokus på systemtenkning, noe som betyr at det skal tilrettelegges for selvredning, noe vi kan se i tunnelforskriften. Spørsmålet er da om dette fortsatt kan kalles for selvredning. Trafikanter kan

ikke forvente å få hjelp av nødetater ved evakuering, men får hjelp av tekniske og organisatoriske systemer. Med denne utviklingen er ikke trafikantene lenger fullt ansvarlige for å komme seg ut på egen hånd. Vil dette da si at bruk av prinsippet hovedsakelig er en ansvarsfraskrivelse fra tunneleier sin side?

## 2.4 Sentrale aktører

Det er flere aktører som er sentrale når man snakker om tunnelsikkerhet. Det vil i dette delkapittelet lages en oversikt over, samt forklare rollene til de ulike aktørene. Aktørene har en sentral rolle for å kunne opprettholde trafikanters evne for selvredning. DSB skriver også at «brannsikkerhet skal oppnås gjennom et nært samarbeid mellom vegtunneleier og de kommunale brannvernmyndighetene» (DSB, 2011, s. 5). Dette viser til at det er viktig at de sentrale aktørene samhandler slik at sikkerheten opprettholdes og trafikantene får nødvendig informasjon ved ulykkessituasjoner i tunnel.

### 2.4.1 Politiske myndigheter

Dimensjoneringskrav for tunneler baserer seg på lovverket og forskrifter. Politiske myndigheter; Stortinget og Regjeringens politikk. Utviklingen av regelverket vil gi føringer for hvilke krav som må følges ved dimensjonering og utbygging. Relevante lover og forskrifter vil være Vegtrafikkloven, Vegloven, Plan- og bygningsloven og tunnelforskriften.

### 2.4.2 Statens vegvesen

Statens vegvesen (SVV) er veimyndighet for riksvegene i Norge. De har ansvar med å forvalte, utrede, planlegge, bygge, drifte og vedlikeholde disse (Solvoll, G, 2022). Dette gjelder da også for tunnelene som ligger på riksvegnettet. Statens vegvesen har flere tunnelforvaltere som har ansvar for dokumentasjon av alle ulykker som oppstår i en tunnel. De skal også forsikre samfunnet om at sikkerhet og funksjonalitet blir ivaretatt i tunnelene (SVV, u.åa).

Statens vegvesen er et forvaltningsorgan som ligger under Samferdselsdepartementet (Samferdselsdepartementet, 2019, s. 2). For å kunne utføre samfunnsoppdrag har SVV tre hovedroller; byggherre, myndighetsorgan og fagorgan (Samferdselsdepartementet, 2019, s. 3-4).

### 2.4.3 Vegtrafikksentralen (VTS)

Veitrafikksentralen er en operativ enhet for å ivareta trafikkstyring og trafikkinformasjon. Enheten er styrt av Statens vegvesen og skal ha oversikt over europa-, riks-, fylkesveier. «Veitrafikksentralene har som oppgave å overvåke og styre veitrafikken for statlige og

fylkeskommunale veier, og varsle om hendelser og informere om status på veinettet» (SVV, 2021). De skal håndtere de normale situasjonene, avvikssituasjonene og uønskede situasjoner. Dette blir gjort på vegne av SVV, fylkeskommuner, Nye veier og OPS-selskaper (offentlig privat samarbeid).

Tunneler over 500 meter er ifølge tunnelforskriften et særskilt brannobjekt. Dette betyr at de må være knyttet opp mot et kontrollsentral. I disse tunnelene er det VTS som står for overvåkning og styrer de ulike sikkerhetssystemene. Dette innebærer overvåkning av alarmer fra systemene og oppdage trafikkhendelser.

Oppgavene til VTS kan deles inn i fire kategorier (SVV, 2021):

1. Overvåke og oppdage forhold som kan medføre behov for tiltak
2. Verifisere hendelser
3. Iverksette tiltak
4. Dele trafikkinformasjon

Ved hendelser må VTS kontakte nødetater og andre relevante aktører. Et samarbeid med nødetatene er derfor viktig og står sentralt i deres hendelseshåndtering. De samarbeider mest med politi og entreprenør, men ved større hendelser varsles nødetatene og byggherre (SVV, 2021). VTS har også i oppgave å dele trafikkinformasjon. Brukere av vegnettet skal kunne være oppdaterte på reisetider. Informasjon gis til media, samt oppdateringer på det sosiale mediet Twitter. VTS spiller en viktig rolle i tunnelsikkerhetsarbeidet, samt er sentral ved brann i tunneler.

#### **2.4.4 Nødetater**

Ifølge brann- og eksplosjonsloven settes det krav til brannvesenets utstyr og kompetanse basert på risikoen i kommunen. Det blir også stilt krav om at de skal føre tilsyn med de ulike tunnelene. Dimensjoneringsforskriftene setter krav om at brannvesenet står for øvelse av eget mannskap.

Brannvesenet har også i oppgave å bistå vegvesenet under utarbeidelse av beredskapsplaner, slik at beredskapsplanene bygger på lokale forhold. De må selv også utarbeide innsatsplaner tilpasset deres oppgaver ved brannhendelser i tunnel. Denne innsatsplanen må være utarbeidet etter flere ulike scenarioer og være samordnet med tunneleier, politi og helsevesenet. Dette er viktig for å oppnå en sikker og effektiv innsats. De ulike nødetatenes innsatsplaner bør bygge på hverandre og ligge som vedlegg til hver plan (DSB, 2011).



#### **2.4.5 Statens havarikommisjon**

Statens havarikommisjon (SHK) er et forvaltningsorgan som har ansvar for å undersøke ulykker og hendelser innen luftfart, veitrafikk, sjøfart, jernbane og forsvarssektoren. Formålet med disse undersøkelsene er å øke sikkerheten og lære av tidligere hendelser, slik at man kan forebygge like hendelser i fremtiden. SHK besto tidligere av to separate forvaltningsorgan, men i 2020 ble Statens havarikommisjon for Forsvaret og Statens havarikommisjon for transport slått sammen (Regjeringen.no. u.å). I denne oppgaven vil forvaltningsorganet bli referert til som Statens havarikommisjon (SHK) selv om enkelte dokumenter ble utgitt tidligere under Statens havarikommisjon for transport (SHT).

#### **2.4.6 Trafikanter**

Trafikantene er personene som benytter vegnettet og tunnelene i Norge. For å kunne oppnå nullvisjonen er man avhengig av at trafikantene kjører aktsomt og holder lover og regler. Det vil også være viktig at de har nok kunnskap om tunneler og hvordan selvredning fungerer slik at dette blir utført på en korrekt måte om det skulle bli nødvendig. SVV har utført en rapport for å se på informasjons og opplæringstiltak for å øke sikker atferd i tunneler. Det ble her funnet 5 generiske budskap som kan være nyttig for trafikantene (SVV, 2018b):

1. Du må selv evakuere ved en hendelse i tunnel. Skru på radio for informasjon
2. Rødt blinkende lys betyr at tunnelen er stengt.
3. Bruk alltid nødtelefonen på tunnelveggen. Da får du direkte kontakt med vegtrafikkentralen (VTS)
4. Brannslukningsapparat er tilgjengelig i tunnelen
5. Følg evakueringskiltene i tunnelen

#### **2.4.7 Entreprenører, prosjekterende aktør og leverandør**

Som tidligere nevnt er det SVV som er byggherre i tunnelsammenhenger. Under byggherren kommer arbeidsgruppen som utfører arbeidet. Denne gruppen består av rådgivende ingeniører, maskinentreprenør og entreprenør for bygg og anlegg. Disse ulike gruppene har ansvar for kvalitetssikring, geologiske forundersøkelser og geologiske rapporter til konkurransegrunnlag, utarbeidelse av konkurransegrunnlag, utbyggingsfasen, drift, vedlikehold og inspeksjoner. Disse gruppene har et ansvar for sikring av kvalitet, samt at de har tilgang til kvalifisert personell gjennom alle prosjektet (SVV, 2007). Korrekt dimensjonering og utførelse er viktig for å kunne ivareta tunnelsikkerheten til trafikanten.

#### **2.4.8 Trafikkskoler**

Trafikkskoler er sentrale for tunnelsikkerhet, da det er de som gir opplæring til nye trafikanter. Dette gjøres gjennom teoretisk opplæring og praktisk opplæring. Skolene er et av hovedleddene som gir opplæring til trafikanter. Ifølge SVV er «hensikten med føreropplæring å gi personer kompetanse slik at de kan kjøre sikkert, hensynsfullt og samtidig effektivt» (SVV, 2014b, s.5). Det er også blitt innført strengere krav til førerprøven. I 2016 ble det krav om tunnelkjøring på steder hvor dette lot seg gjøre. Hensikten med dette var å styrke føreres kunnskap om sikkerhet i tunneler (Solberg, 2015).

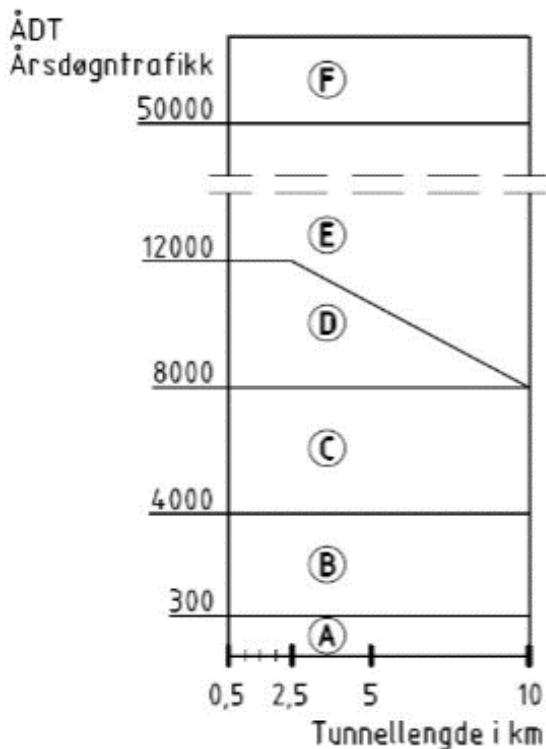
#### **2.4.9 Transportselskaper/-næringen**

De mest alvorlige brannhendelsene i tunneler stammer fra tungtransport. Det er derfor viktig at industrien og sjåfører som kjører disse kjøretøyene har kunnskap/kjennskap til hvordan man skal håndtere en slik hendelse. Det er viktig å inkludere bransjen i diskusjonen og utvikling av tunnelsikkerhet, slik at deres behov blir opprettholdt.

Det er også viktig at tungbilførere har kjennskap til egne kjøretøy, godset de frakter og kravene som stilles for sikring av dette. Kjennskap til tunneler langs ruten deres er også hensiktsmessig. Vite hvilken vei ventilasjonen går, stigning på tunnelen og hvordan man skal kontakte VTS, vil være nyttig om en hendelse skulle oppstå (Nodland, 2022).

### **2.5 Dimensjonering og beredskapsplanlegging**

Beredskap er sentralt når det er snakk om sikkerhet. Beredskapsplanlegging for tunneler handler om å planlegge, dimensjonere og etablere beredskap for tunnelen (Rake & Rød, 2020, s. 5). Ved å utvikle en beredskapsanalyse vil det være mulig å sette krav til dimensjonering. Dette vil være i form av utstyr, personell og kompetanse for å kunne håndtere hendelsene slik man ønsker (Rake & Rød, 2020, s. 13). Ved dimensjonering av en tunnel må det fastsettes hvilken tunnelklasse den er i. Dette setter krav om størrelse, samt hvilke sikkerhetsutstyr som skal benyttes. Dette gjøres ved å benytte Statens vegvesens prinsipper om trafikkmengde og prinsippet om selvredning ved en eventuell hendelse (Jenssen et al., 2017, s. 21). Sikkerhetstiltakene som vurderes vil utdypes i dette prosjektet. Et eksempel kan være redningsrom. Dette er et sikkerhetstiltak som vil variere fra tunnel til tunnel og er avhengige av dimensjoneringen. Dette tiltaket er i dag ikke tillatt etter EU-direktivet (2004), samt tunnelforskriften (2007), da det ikke er mulig å ta seg videre ut til det fri.



Figur 1 Valg av tunnelklasse (SVV, 2022, s. 45)

## 2.6 Krav i regelverket

Ved dimensjonering av tunneler må det følges et regelverk. Dette regelverket gir krav, råd og veiledning for arbeid rundt tunneler. Dette medfører at tunnelene må dimensjoneres med hensyn til hva som er lov etter regelverket og tekniske begrensinger. Regelverket for tunneler inkluderer lover, forskrifter, standarder, normaler, retningslinjer og veiledere. Disse ulike kravene kan være både internasjonale og nasjonale. Dette kapittelet vil ta for seg relevante regelverk for å forstå hvordan beslutninger for design og drift gjennomføres.

### 2.6.1 Krav

Internasjonalt er det tunnelsikkerhetsdirektivet som legger føringer for hvordan tunnelsikkerheten skal ivaretas. Disse føringene viser til hva minstekravet for sikkerhetsnivå er for tunneler på det transeuropeiske transportnett (TEN-T). Dette er et nettverk av veier og annen infrastruktur planlagt av EU over hele det europeiske kontinentet. Formålet med direktiver er å unngå uønskede hendelser som kan sette menneskeliv, omgivelsene og tunnelen i fare (EU, 2004, article 1, punkt 1). Direktivet er ikke gjeldene for alle tunneler, men dekker tunnelene som er over 500 meter lange (EU, 2004, article 1, punkt 2). Sikkerhetstiltakene fra direktivet har så blitt videreført til tunnelsikkerhetsforskriften. Et EU-direktiv er en rettsakt som settes som mål for landene i EU. Hvordan målene iverksettes i de nasjonale rettsaktene er

opp til hvert land og er derfor ofte generelle. I 1991 slo EU-domstolen fast at medlemslandene kunne stå ansvarlig om personer ble skadet på grunn av manglende gjennomføring av et direktiv. Dette ble senere også anerkjent som EØS-relevant (Europalov, u.å).

Tunnelsikkerhetsforskriften bygger videre på tunnelsikkerhetsdirektivet og gjelder for veger på det transeuropeiske transportnett og riksveger. Forskriften gjelder for tunneler som er laget etter 2006 og gjelder for tunneler som er i bruk, mens de bygges og under prosjektering (Tunnelsikkerhetsforskriften, 2007, Virkeområde § 2). Forskriften setter krav til sikkerhetstiltak (Tunnelsikkerhetsforskriften, 2007, Vedlegg 1. Sikkerhetstiltak nevnt i § 8). Et eksempel på dette er belysningen i tunnelen. «Det skal finnes sikkerhetsbelysning som sikrer en minimumssikt for trafikanter i tunnelen slik at de kan evakuere tunnelen i kjøretøyene sine i tilfelle av strømbrydd» (Tunnelsikkerhetsforskriften, 2007, Vedlegg 1. Sikkerhetstiltak nevnt i § 8. Ledd 2.8.2). Det er også satt krav til kommunikasjonssystemer, men det dekker hovedsakelig kun radiosamband (Tunnelsikkerhetsforskriften, 2007, Vedlegg 1. Sikkerhetstiltak nevnt i § 8. Ledd 2.16).

### **2.6.2 Veiledninger**

I forskriftene er det gitt vegdirektoratet hjemmel til å fastsette utfyllende bestemmelser, noe som gjøres i vegnormaler. For tunneler gjøres dette i N500 Vegtunneler, som er en av SVV sine håndbøker (SVV, 2022, s.9). Håndboken benyttes som et hjelpemiddel ved planlegging og prosjektering av tunneler. Den benyttes som en standard for å bestemme hvilke dimensjoneringsgrunnlag som skal legges til grunn. Dette gjelder alt fra installasjon av sikkerhetsutrustning til geometrisk utforming.

Ved dimensjonering av veger er det også andre håndbøker som må benyttes. Her benyttes N100 for å sikre at krav for linjeføring, sikt og tunnelprofiler opprettholdes for de ulike tunnelklassene. Det er også flere andre håndbøker som setter krav om rekkverk, vegens overbygning, trafikkskilt, oppmerking, osv. (SVV, 2022, s. 10).

## **2.7 Prosjekterernes forutsetninger for valg av kommunikasjonssystemer**

Tekniske kommuniserende systemer påvirker sikkerheten til trafikanter som skal benytte tunnelen, samt miljø og tunnelanlegget. Det er prosjekterernes ansvar å vurdere ulike risikoforhold slik at prosjektert løsning er opp til standardene. Dette kapitlet vil dermed ta for seg hvilke beslutninger som ligger til grunn for dimensjonering, i lengre ettløpstunneler.

### **2.7.1 Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning**

En av utfordringene med sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning er at kravene stadig er under utvikling. Det gjøres stadig nye studier som viser nye gode måter å håndtere risiko på. Dette kombinert med teknologiens stadige utvikling, gjør det utfordrende å holde alle tunneler oppdatert til samme standard. Det vil være et behov for å holde normalene opp til dagens standard ved å benytte ny teknologi og forskning slik at det er mulig å ha et høyest mulig sikkerhetsnivå. Problemet er at det vil være utfordrende om man da måtte endre alle de gamle tunnelene slik at de var i henhold til nåværende standard. Det er derfor slik at sikkerhetsstyr, samt tunnelens utforming er i henhold til kravene året tunnelen ble bygget (informant 1 og 2). Om risikosituasjonen i tunnelen endres må det derimot gjøres endring slik at trafikantenes sikkerhetsnivå blir ivaretatt. Det settes dermed et krav om at tunnelforvalter holder seg oppdatert på tunnelens risikobilde. Hvor viktig dette er kan vi se fra tidligere rapporter fra SHK hvor slike vurderinger var manglede, noe som medførte til farlige situasjoner for trafikanter (SHK, 2013).

Dagens gjeldende standard er håndbok N500. Håndboken har gått gjennom flere revisjoner og oppdateringer. Dette ble gjort i 2016, 2020 og nå nyeste versjon 2022. Håndboken var en erstatning på den eldre versjonen med navn håndbok 021. Denne versjonen gikk også gjennom flere oppdateringer, men første utgave kan ses helt tilbake til 1992.

### **2.7.2 Vegnormal N500 - vegtunneler**

Håndbok N500 setter flere krav til sikkerhet og sikkerhetsutrustning for vegtunneler. Disse kravene kan finnes under kapittel 5.3 Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning i vegtunneler over 500 m i håndboken.

For at kommunikasjonssystemene i tunnelen skal fungere er de avhengige av strøm. Det skal derfor dimensjoneres nødstrømsystem for hele tunnelens sikkerhetssystemer. Denne strømmen skal som et minimum være i stand til å holde tunnelens systemer aktive under hele evakueringstiden + 1 time. Nødstrømmen skal være i stand til å dekke følgende systemer; styring, regulering og overvåkningssystemer, rødt stoppsignal, fjernstyring av bommer for stenging, evakueringsbelysning, nødstasjoner, serviceskilt og nødutgangskilt, radioanlegg, nødnett, nødstyrepanel, ITV (videoovervåkning, AID (automatisk hendelsesdeteksjon) og høyttalersystem (PA-system) (SVV, 2022, s.49-50).

Evakueringslys er et skal-krav og skal monteres langsgående på minst en av sidene i tunnelen. Skulle tunnelen ha nødutganger skal denne siden prioriteres. Lyset skal automatisk tennes ved

fjerning av brannslukningsapparat. Det skal være mulig å skru på lyset manuelt enten fra VTS eller tunnelens nødstyrepanel (SVV, 2022, s.50).

Tunneler skal også utrustes med nødstasjoner. Nødstasjoner er små kiosker som plasseres i havarinisjene i tunnelen. De skal være montert med nødtelefon knyttet til VTS, samt et brannslukningsapparat. Nødstasjonene skal monteres for hver 125 meter langs hele tunnelen.

Ved begge innganger til tunnelen skal det være montert fjernstyrte bommer. Dette gjelder for tunneler i klasse C, D, E og F. Bommene kombinert med rødt stopplys skal kunne benyttes sammen med videoovervåkning. Det skal kunne sperre motkommende felt slik at ingen flere kjører inn i tunnelen, men trafikanter fra tunnelens skal ha fri bane.

Det er også krav om at tunneler skal være utrustet med videoovervåkning. Dette både gjennom standard videoovervåkning og AID. Kameraene skal dekke 100% av tunnelbredden. Kravene gjelder for tunneler i klasse C, D, E og F med lengde mer enn 3 km, samt klasse B over 5 km.

Et nyere krav i håndboken er krav om PA-system (public address). Dette er et høyttaleranlegg som skal kunne gi informasjon til trafikantene i tunnelen. Systemet skal ha dekning gjennom hele tunnelen. Det skal sikre at trafikanter får varsel/instruksjon i en nødsituasjon og ledes i sikreste evakueringsretning. Kravet gjelder tunneler med klasse C og D over 3 km, samt klasse B over 5 km. Systemet ble først introdusert i håndbøkene i 2016 og var frem til seneste utgave kun et krav som skulle vurderes. Det har nå i 2022 versjonen blitt et krav.

Tidligere var det kun krav om nødkommunikasjon ved hjelp av radiomelding. Dette ble gjort ved å sende informasjon til trafikantene via bilenes radio. Dette er fortsatt et krav og gjøres ved at VTS bryter inn på radioene i området og informerer om hendelsen.

Installasjon av mobildekning er også et nyere punkt som blir nevnt i håndboken. Dette er ikke et krav, men kan installeres av nettoperatør. Et slik system gir trafikanter mulighet for å kontakte nødetater ved uønskede hendelser.

Ved snunisjene i tunnelen skal det monteres variabelt skilt som skal informere trafikanten om å snu. Skiltene skal være synlige fra begge sider og være mørke ved normale tilstander.

## Krav 2022

Tabell 2 Sikkerhetstiltak krav tunnel 2022 – Utarbeidet fra N500 (SVV, 2022)

Utrustning	Tunnelklasse						Merknader
	A	B	C	D	E	F	
Rømningslys	•	•	•	•	•	•	Evakueringsbelysning skal være sammenhengende
Nødstasjoner	•	•	•	•	•	•	Hver 125 m
Slukkevann	•	•	•	•	•	•	
Lyssignal for innkjøring (rødt blink)	○	○	•	•	•	•	Plasseres sammen med bom
Fjernstyrte bommer ved stenging	○	○	•	•	•	•	Plasseres 100 m fra tunnel åpning
Variable tekstskilt	•	•	•	•	•	•	Snunisjer skal merkes med variable skilt som gir informasjon om å snu.
ITV-overvåkning		•	•	•	•	•	Klasse C, D, E, F: lengde > 3 km Klasse B: lengde > 5 km, maks avstand 125 m
Høyttalesystem		•	•	•			Klasse C, D: lengde > 3 km Klasse B: lengde > 5 km, maks avstand 125 m
Nødnett og radiosamband	•	•	•	•	•	•	
Mobiltelefon	○	○	○	○	○	○	Avklares med nettoperatør
Nødstrømsystem	•	•	•	•	•	•	
Høydehinder	•	•	•	•	•	•	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krav</li> <li>○ Vurderes</li> </ul>							

### 2.7.3 Tidligere sikkerhetstiltak

I dette kapittelet vil det undersøkes hvilke sikkerhetskrav håndbok 021 stilte i 1992. Dette slik at det er mulig å se hvordan krav for sikkerhetsutstyr har endret seg gjennom årene.

Håndboken satt krav til evakueringslys. Lysene skulle plasseres med 50 meter mellomrom langs ene siden av vegbanen. Lysene skulle være hvite og plasseres 1 meter over kjørebanen.

Det skulle også være montert brannslukningsapparat som skulle gi signal til VTS ved fjerning.

Det ble satt krav til hvordan montering av nødtelefoner skulle være etter hvilken ÅDT tunnelen hadde. Hvis tunnelen oversteg 1500 i ÅDT, skulle nødtelefonene monteres i nisjer med hette. Ved overstigning av 2500 ÅDT skulle telefonene monteres i støvtett kiosk. Telefonene skulle også gi informasjon til VTS ved fjerning av rør, dette også med hvor i tunnel den ble brukt.

Tunneler i klasse B-E skulle monteres med bomber, med tilhørende lys. Bommene ble styrt av SVV eller politi som ankom stedet ved uønskede hendelser. Årsaken til montering var at det da ikke var behov for medbrakt sperreutstyr. Automatiske bomber ble kun vurdert om ÅDT oversteg 10 000. En av årsakene til at selvredning er nødvendig er at nødetatene ikke klarer å være ved hendelsen innen tilgjengelig rømningstid. Dette vil si at ved bruk av en slik bom, vil kommende trafikk kunne kjøre inn i tunnel hvor en ulykke pågår i en lenger periode.

Variable skilt ble montert ved bommene for tunnelklassene D og E med informasjon om at tunnelen var stengt. For andre klasser ble det montert statisk skilt med informasjon om at tunnel var stengt ved rødt lys. Det kunne vurderes å montere variable skilt ved andre klasser om det oppstod hendelser relativt ofte.

Radiosamband ble også montert slik at det var mulig for å gi trafikantene informasjon fra enkelte radiokanaler. Radiosambandet ble også benyttet av nødetater med ulike samband for de ulike etatene. Hvilke kanaler som ble dekket av tunnelen var avhengig av hvilken klasse den hadde.



## Krav 1992

Tabell 3 Sikkerhetstiltak krav tunnel 1992 - Hentet fra N021 (SVV, 1992)

Utrustning	Tunnelklasse					Merknader
	A	B	C	D	E	
Rømningslys		○	○	●	●	Ca. 50 meter avstand
Brannslukningsapparat	●	●	●	●	●	Klasse A, B: For hver ca. 250 m Klasse C, D: For hver ca. 125 m Klasse E: for hver ca. 50 m
Brannhydrant		○	○	○	○	Vurderes i samarbeid med lokalt brannvesen
Nødtelefon	○	●	●	●	●	Klasse B: For hver ca. 500 m Klasse C, D: For hver ca. 250 m Klasse E: for hver ca. 100 m
Nødskilt	●	●	●	●	●	Skilt som viser nærmeste utgang/nødutgang. Plasseres ved brannslukningsapparat
Lyssignal for innkjøring (rødt blink)		○	●	●	●	Styres av CO-måler eller av tunnelbetjeningen.
Bommer for stenging (manuell)	○	●	●	●	●	Automatiske bommer vurderes ved ÅDT over 10 000.
Variable tekstsilt			○	●	●	
Tv-overvåkning				○	○	Vurderes spesielt
Radiosamband	○	○	●	●	●	
Mobiltelefon	○	○	○	○	○	Avklares med televerket
Nødstrømsforsyning	○	○	○	○	○	Vurderes spesielt
Kontroll av kjøretøyhøyder	○	○	○	○		Brukes i klasse A-D ved fri høyde lavere en 4,8m.
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Krav</li> <li>○ Vurderes</li> </ul>						

#### **2.7.4 Sammenligning**

Som skrevet innledningsvis i dette kapitlet er en av utfordringene at det stadig kommer nye og bedre metoder som kan benyttes i tunnelsikkerhet. I dette kapitlet er det derfor sett nærmere på både nyeste og eldste håndbok for tunnelsikkerhet. Som det fremgår av kapitel 2.7.2 og 2.7.3 er det skjedd flere endringer i hvilke krav som stilles til tunnelsikkerhet.

En av de største ulikhetene mellom de to håndbøkene er at det nå stilles mer absolutte krav til sikkerhetsutstyr, mens det tidligere i større grad skulle vurderes av byggeherre/prosjekterende om det var behov for det enkelte sikkerhetsutstyret. Dette medførte at det i større grad ble varierende standard på tunnelenes sikkerhet avhengig av kompetansen til de som prosjekterte. Tidligere håndbøker hadde også mindre tilgjengelige veiledere for valg av sikkerhetssystemer som utdypet selve håndboken.

At håndboken nå er mer tydelig og konkret i hvilke krav som stilles gjør at det trolig blir bedre og likere tunnelsikkerhet i de ulike tunnelene. Dette gjør at tunnelene holdes til samme standard og gir lavere sannsynlighet for feilprosjektering.

## 3 Teori

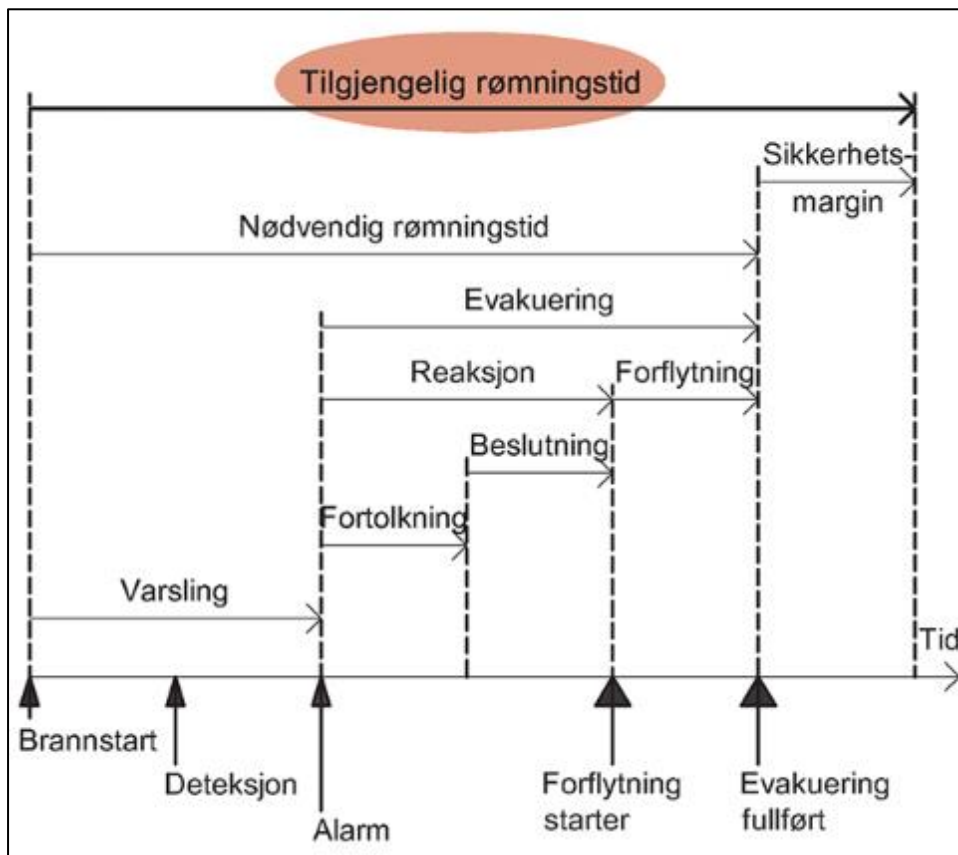
### 3.1 Samfunnssikkerhetsarbeid

Samfunnssikkerhet blir definert som «samfunnets evne til å verne og håndtere hendelser som truer grunnleggende verdier og funksjoner og setter liv og helse i fare» (Meld. St. 10 (2016–2017), s. 9). Her er tunneler sentralt og det er viktig at hendelser som kan oppstå der også blir håndtert. Tunneler er viktige samfunnsfunksjoner som binder øyer til fastlandet, samt kommuner sammen (Njå et al., 2020, s. 137). Brann i tunnel kan føre til tap av menneskers liv, men også andre store økonomiske konsekvenser for samfunnet. Ved behov for å stenge en tunnel vil flere personer få trafikale problemer, næringslivet vil bli påvirket økonomisk og det vil kunne kreve ekstra innsats fra kommuner for at innbyggernes daglige behov dekkes (DSB, 2014, s. 8). Ved samfunnssikkerhetsarbeid kreves det et samvirke mellom ulike virksomheter for å kunne opprettholde samfunnssikkerheten (Njå et al., 2020, s. 138). Samvirkeprinsippet er et av de nasjonale prinsippene for samfunnssikkerhet og har som hensikt å styrke beredskaps- og samfunnssikkerhetsarbeid, samt krisehåndtering (Njå et al., 2020, s. 192). «Samvirkeprinsippet fremhever at alle, dvs. myndigheter og virksomheter, har et selvstendig ansvar for å sikre et best mulig samvirke mellom de som har ansvar og oppgaver i samfunnssikkerhetsarbeidet og selve krisehåndteringen» (Njå et al., 2020, s. 193). For hendelser i tunneler vil det være viktig med et godt samvirke mellom: kommuner, fylke, SVV, VTS og nødetater.

### 3.2 Tilgjengelig rømningstid ved brann

En viktig del av arbeidet med samfunnssikkerhet er å redusere konsekvenser av uønskede hendelser, dette også i tunneler. For å få en dypere forståelse av selvredning benytter det flere ulike modeller. Et eksempel på en modell som knyttes til selvredningsprinsippet er en for tilgjengelig rømningstid ved brann. Modellen bygger på last- og kapasitetsprinsippet i konstruksjonsteknikk. Dette prinsippet bygger på at konstruksjonen må ha kapasitet til å motstå lasten som påføres, med en tilstrekkelig sikkerhetsmargin. Dette prinsippet er overført til rømningsteori, hvor tilgjengelig rømningstid (kapasitet) (ASET: Available safe egress time) må være større enn nødvendig rømningstid (last) (RSET: Required safe egress time). Denne overføringen gir intuitivt mening, men det introduseres nye usikkerheter med henhold til menneskers handlingsmønster. Selv med disse usikkerhetene legger den et godt grunnlag for forståelse for evakueringsprosessen også i tunneler (Purser, 2003).

Figuren er hentet fra *Byggforskserien*, som utvikles av SINTEF. Den vil legge grunnlaget for teorikapittelet og det teoretiske innholdet i oppgaven. Det vil være flere faktorer som påvirker både tilgjengelig og nødvendig rømningstid ved brann. Modellen illustreres i figur 1 hvor rømningstid blir delt inn i flere faser.



Figur 2 Sammenhengen mellom ulike begreper knyttet til tidsforløp (SINTEF, 2016a, s.1; SINTEF, 2016b, s.1)

Den øverste pilen i modellen viser tilgjengelig rømningstid. SINTEF definerer dette som tiden fra brannen starter til temperaturer, branngasser eller røykutvikling dannes som hindrer mulighet for rømning (SINTEF, 2016b, s.1). Pilen under illustrerer nødvendig rømningstid, som blir definert som “tiden fra brannstart til personene i bygningen har kommet fram til sikkert sted”. Dette vil si at personene har kommet seg ut av faren og er trygge. Det er viktig at rømningssikkerheten opprettholdes og det er dermed viktig at nødvendig rømningstid er lavere enn den tilgjengelige. Det bør også benyttes en sikkerhetsmargin som illustrert i figur 1. For bygninger er det ikke satt krav til hva denne sikkerhetsmarginen bør være, da det vil kunne variere. Denne vurderingen må tas av en fagkyndig person. Det viktigste er at differansen mellom nødvendig og tilgjengelig tid er stor nok til å dekke usikkerheten. Vi kan etter modellen formulere at tilgjengelig rømningstid = nødvendig rømningstid + sikkerhetsmargin og at nødvendig rømningstid = varsling + reaksjon + forflytning (SINTEF, 2016a).

### 3.2.1 Varslingstid

Ut ifra modellen kan vi definere varslingstid som “tiden det tar fra en brann oppstår, til den blir detektert og det blir varslet”. Denne tiden vil kunne variere fra få sekunder til flere minutter. Dette vil være avhengig av hvor stor utviklingen til brannen er. Dette kan være i form av en langsom eller hurtig brann (SINTEF, 2016b, s.5). Dersom brannutviklingen er liten vil det skapes mindre røyk i tidligere faser, noe som gjør at det vil være vanskeligere å oppdage brannen raskt, og motsatt for hurtig utvikling.

Deteksjonen av brann kan skje både manuelt og automatisk i tunneler. “Statens vegvesen benytter i all hovedsak automatisk hendelsesdetektering (AID) basert på videodeteksjon i høytrafikkerte tunneler” (SVV, 2013, s.5). Ifølge *N500 Håndbok for vegtunneler* er det krav om AID eller ITV (videoovervåkning) i alle tunneler i klassene C, D, E og F med en lengde på mer enn 3 km. Dette gjelder også for tunneler i klasse B på mer enn 5 km (SVV, 2022, s.53).

Når hendelsen detekteres sendes det en alarm til vegtrafikksentralen (SVV, 2013, s.5) hvor en operatør kan stenge tunnelen. Deteksjonen kan også skje manuelt. Tunneler skal være utrustet med nødstasjoner hver 125 meter, som skal ha tilgang til nødtelefon og brannslukningsapparat (SVV, 2022, s.51). Ved fjerning av enten brannslukningsapparat eller nødtelefon skal VTS varsles automatisk (SVV, 2022, s.52). Ifølge den NVDB (nasjonale vegdatabanken) benyttes automatisk varsling ved fjerning av brannslukningsapparat i 532 Norske tunneler og det er mulighet for manuell varsling til VTS i 495 (SVV, u. årb). For resterende tunneler vil det være behov for at trafikantene kontakter nødetater med egen mobiltelefon.

### 3.2.2 Reaksjonstid

Reaksjonstid defineres etter modellen som “tiden fra varsling oppstår til forflytning starter” (SINTEF, 2016a, s.1). Første del av reaksjonstiden er fortolkningstiden. Dette er tidsrommet personen bruker fra varsling er gitt, til personen har oppfattet varslingen og den starter å reagere. Siste del av reaksjonstiden handler om å forberede seg på forflytning, samt å velge hvordan man skal evakuere. Det er flere faktorer som kan påvirke reaksjonstiden. Dette kan være gjennom kjennskap av brannobjektet, da en person som er kjent med tunnelen vil vite raskere hvordan man skal handle enn en som har mindre kjennskap. Andre faktorer som kan spille inn er risikopersepsjon som er beskrevet i kapittel 3.3. Hvor lang tid en person bruker på å oppfatte situasjonen og reagere vil kunne variere. Noen vil kunne oppfatte den raskt og starte forflytning med en gang, mens andre trenger kanskje mer tid på å forstå situasjonen. Dette kan vi se fra tidligere hendelser slik som brannen i Gudvangatunnelen i 2013, sammenlignet med

brannen i Skatestraumstunnelen. Ved Gudvangahendelsen ble flere av trafikantene sittende i bilene sine til de ble reddet av nødetatene. Hadde samme handlinger blitt tatt ved Skatestraumhendelsen hadde de ikke overlevd. Her er det mulig at de involverte i brannen i Skatestraumstunnelen hadde en bedre forståelse av alvorligheten av situasjonen og dermed valgte å evakuere.

Handlingsmønsteret til personer i brannsituasjoner er ikke lett å forutse, men har en stor påvirkning på reaksjonstiden. Dette vil bli utdypet i kap 3.4. Hvordan reaksjonstiden kan påvirkes av tekniske systemer vil være en sentral del av denne oppgaven.

Figur 1 tar utgangspunkt i at trafikantene starter forflytning, noe som ikke er garantert. Figuren er derfor en forenkling av situasjonen, men er fortsatt nyttig for å danne en forståelse av evakuering.

### **3.2.3 Forflytningstid**

Forflytningstid defineres som “tiden det tar for personer å forflytte seg til sikkert sted” (SINTEF, 2016b, s.1). *Byggforsk* gir ulike faktorer som påvirker forflytningstiden. Disse faktorene er originalt for bygninger, men justeres for tilpasning til tunnelscenarier. Disse faktorene er: (1) hvordan personene og kjøretøyene er fordelt i tunnelen, (2) om involverte personer har mulighet for å evakuere selv eller har behov for assistanse, (3) tunnelens belysning og eventuelle ledesystemer og (4) antall utganger og rømningsveier (SINTEF, 2016b, s.5).

Hvordan personer og biler er fordelt vil påvirke ulike handlingsalternativer, slik som mulighet for å snu biler og kjøre ut, eller om evakuering til fots er beste alternativ. Om det skulle være behov for assistanse for enkelte personer, er de avhengige av personene rundt. Dette da nødetatene ikke vil være på stedet før det kan være for sent. Den tredje faktoren er belysning og er viktig når det kommer til sikt. “Sikt er ofte det dimensjonerende akseptkriteriet når personer må rømme gjennom røyk” (SINTEF, 2016a, s.5) og belysning er en viktig faktor for å bedre sikten. Antall utganger og rømningsveier er ofte begrenset i en tunnel, og det er dermed viktig at disse er godt skiltet og merket ved hjelp av belysning. Ifølge håndbok N500 skal “Dør til rømningsvei utføres og utstyres slik at den sikrer rask evakuering” (SVV, 2022, s.54). Dette gjennom for eksempel fargebruk for lettere gjenkjennelighet blant personene. I norske tunneler er det krav om grønne dører (SVV, 2022, s.54). Dørenes utforming er også en faktor som er med på å påvirke forflytningstiden. Dette med bakgrunn i at kødannelse og gangehastighet som også er relevante faktorer (SINTEF, 2016b, s.6). Kødannelsen vil bli påvirket av dørenes utforming og hyppighet og tunneler må utformes etter dette. En stor faktor for forflytningstiden

er hvilken metode trafikantene velger å evakuere på. Om dette gjøres til fots vil det kunne ta lenger tid, enn om de har mulighet til å snu bilen og kjøre ut. Forsøker de å evakuere med bil, men det viser seg å ikke være mulig, har de mindre tid til å evakuere til fots. Disse valgene trafikantene tar under evakuering er sentrale og vil bli sett nærmere på i delkapittel 3.3.

### 3.3 Risikopersepsjon og risikokommunikasjon

Risikopersepsjon og risikokommunikasjon er to begreper som er tett koblet. For å kunne oppnå ønsket risikokommunikasjon er det nødvendig for de involverte partene å ha en forståelse for risikopersepsjon (Svartdal, 2020). Begrepene vil blir forklart i dette delkapittelet, og for å få en god forståelse av begrepene vil det være hensiktsmessig å først forklare begrepet risiko.

#### 3.3.1 Risiko

Risiko er et vanskelig begrep å definere og det finnes derfor mange ulike definisjoner. Den «vanlige» definisjonen av risiko er *produktet av sannsynlighet og konsekvens* (Engen et al., (2021), s. 92). Problemet med en slik teknisk definisjon er å finne gode mål for sannsynlighet og konsekvens. En annen definisjon fra Aven og Renn (2010, referert fra Engen et al., (2021)) definerer risiko som «usikkerheten om alvorligheten av hendelser og konsekvenser av en aktivitet med hensyn til det mennesker verdsetter» (s. 94). Denne definisjonen skiller seg fra den første med at den spesifiserer at det må være verdsatt av mennesker for å kunne regnes som risiko. Dette kan være i form av liv og helse, miljø eller økonomiske verdier (Aven, 2023a).

#### 3.3.2 Risikopersepsjon

Renn (2008) definerer risiko som en mental modell som handler om at mennesker responderer på risiko etter egne oppfatninger av risiko (s.93). Denne subjektive oppfatningen av risiko blir kalt for *risikopersepsjon*. Risikopersepsjon handler generelt om hvordan man prosesserer fysiske signaler og/eller informasjon om mulige skadelige hendelser, og hvordan man vurderer alvorlighetsgraden av hendelsen, sannsynligheten for hendelsen og hvorvidt man aksepterer den (Slovic et al., 1980; Brehmer, 1987; Renn, 1990, 2004; Rohrman, 1999 referert i Renn, 2008, s. 98). Vanlige personers risikopersepsjon er viktig når det kommer til beslutninger. De tar vurderinger ut ifra sin egen oppfatning og følger ikke nødvendigvis eksperters råd. Forskning som «beviser» at enkelte handlinger som å bo ved et atomkraftverk er mindre risikofylt, enn å bo ved et kullkraftverk, fører ikke nødvendigvis til at flere bosetter seg ved atomkraftverket. Det viser seg slik at flere ser på det som mer negativt å jobbe eller bo ved et

atomkraftverk. Det samme kan vi se når det kommer til personers risikopersepsjon om risiko ved å fly – sammenlignet med å kjøre bil. Det er flere personer som ser på det som mer risikofylt å ta fly, selv om eksperter sier det motsatte (Njå et al., (2020), s. 44).

Et viktig aspekt er at menneskers handlinger er hovedsakelig basert på persepsjon og ikke på fakta (Renn, 2008, s.93). Opplevd risiko og hvordan mennesker forholder seg til risiko henger tett sammen (Boyesen, 2003, s. 4). Kognitive psykologer mener at risikopersepsjon blir påvirket av sunn fornuft, personlige opplevelser, sosial kommunikasjon og kultur (Brehmer, 1987; Drottz-Sjöberg, 1991; Pidgeon et al., 1992; Pidgeon, 1998, referert i Renn, 2008, s. 93). Det er vist at personer kobler enkelte forventninger, ideer, håp, frykt og følelser med enkelte aktiviteter og hendelser som har usikre konsekvenser. De følger også konsistente mønster for å få et risikobilde og evaluere det (Renn, 2008, s.93).

### **3.3.3 Risikokommunikasjon**

Som tidligere nevnt er risikopersepsjon tett koblet til risikokommunikasjon. «Risikokommunikasjon er utveksling og deling av risikorelaterte data, informasjon og kunnskap mellom og blant forskjellige grupper» (Aven. T, 2021).

Ved tunnelhendelser er risikokommunikasjonen viktig. En av de viktigere sidene ved risikokommunikasjon er tillit (Engen et al., 2021, s. 392). Personene som mottar informasjon, må ha full tillit til informanten og dette vil være viktig i en tunnel. Det vil være viktig at trafikantene har forkunnskap om hvordan selvredningsprinsippet praktiseres og at de kan stole på eventuell informasjon de blir gitt. Dette vil ha stor betydning for hvor raske beslutninger de tar, og vil dermed spille en stor rolle i å påvirke rømningstiden.

Det vil også være viktig at sentrale aktører veksler informasjon seg imellom. For å oppnå nødvendig koordinering og informasjonsutveksling vil kommunikasjon mellom responsaktører være avgjørende. Som tidligere nevnt hviler samvirkeprinsippet på at involverte aktører kommuniserer med hverandre (Engen et al., 2021, s. 368). Denne utvekslingen av informasjon er en fortløpende prosess med formål om at de ulike aktørene kan ta hensyn til andre aktører ved sin respons til krisen (Engen et al., 2021, s. 369).

## **3.4 Menneskers handlinger ved brann**

Når man skal se på sikkerhet i tunneler er det flere ting som gjør dette krevende. Et av disse problemene er usikkerheten rundt menneskers handlinger. Gjennom ulik forskning er det dannet flere teorier om ulike handlingsmønstre til mennesker i krisesituasjoner. Denne



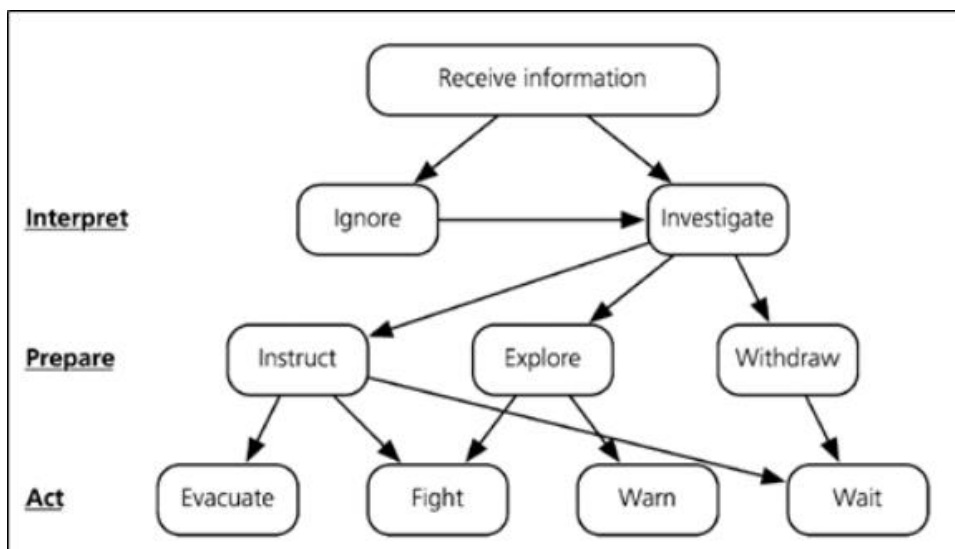
oppgaven vil ta for seg ulike slike teorier som er relevante ved snakk om evakuering fra brann i tunneler.

### 3.4.1 Handlingsmønster

For å bedre forstå menneskers handlinger under brann hendelser er det valgt å se på enda en modell. *Figur 1* illustrerer en modell utviklet av Canter et al som et forsøk på å forstå menneskers handlinger ved brann eller på engelsk behaviour sequence. Dette var en modell som ble utviklet i etterkant av en brann ved et sykehus. Her ble de involverte partene intervjuet, og data ble analysert. Det ble etterspurt detaljer rundt handlingsavgjørelsene de involverte tok og ble grundig undersøkt.

Etter denne undersøkelsen ble modellen utviklet. Dette resulterte i en modell med tre hoveddeler; analyse (interpret), forberede (prepare) og handling (act). De ulike delene samsvarer med handlingsmønstrene til menneskene under sykehus hendelsen og illustrerer hvordan ulike handlinger henger sammen. Denne sammenhengen viser at ettersom det blir tatt avgjørelser vil det dannes flere grener, det vil si flere alternativer for ulike handlinger. Effekten av de ulike valgene har også stor ulikehet.

Analyseringsfasen er viktig ved alle typer evakuering. Her har mangel på informasjon og valgene man tar stor grad av usikkerhet. Denne usikkerheten kan reduseres ved å gi involverte parter informasjon om situasjonen (Fridolf et al., 2013, s.453).



*Figur 3 Modell over menneskers handlingsmønster under brann (Fridolf et al., 2013)*

Modellen er tett koblet til modellen for rømningstid. Den illustrerer usikkerheten med den forrige modellen og alle de ulike handlingene personer kan ta ved brannhendelser. Dette viser til at modellen for tilgjengelig rømningstid er noe forenklet.

### **3.4.2 The role-rule model**

En annen modell presentert av Canter et al er “role-rule modellen”. Dette er en modell som illustrerer hvordan menneskers daglige rolle påvirker deres handlingsvalg under en hendelse. Årsaken til dette er at rollen deres som en «vanlig» person eller en ansatt er med på å bestemme om de er vant til å dirigere folk eller å bli fortalt hva de skal gjøre. I vanlige situasjoner i samfunnet blir dette grunnlagt, og det dannes en form for «regler» for hvem som skal ta styringsrollen. Forskning viser at de relative rollene som var viktige før brannen oppsto vil ha en stor effekt på hvem som endre opp med å lede evakueringen (Fridolf et al., 2013, s. 454).

### **3.4.3 Tilknytningsmodellen**

Tilknytningsmodellen (The affiliative modell) er en modell utviklet av Sime som antok at folk ville benytte seg av ruter de hadde kjennskap til fra før over andre ruter. Dette betyr i hovedsak at det er større sannsynlighet for at folk vil benytte samme veien ut som de kom inn. Denne modellen motbeviser en tidligere modell med navn “physical science model”. Den påstod at folk alltid ville benytte seg av evakueringsalternativene som lå nærmest, noe som da ble motbevist. En annen faktor som ble oppdaget av Sime var at folk ofte ville prioritere å bevege seg mot hvor de hadde nære bekjente som familiemedlemmer, ovenfor å bevege seg ut av bygningen (Fridolf et al., 2013, s. 454).

### **3.4.4 Sosial innflytelse**

En annen stor faktor som spiller inn på menneskers handlinger er sosial innflytelse. Personer blir påvirket på flere måter av å være rundt andre mennesker i krisesituasjoner. Denne effekten kan deles inn i to hovedkategorier; normativ og informativ sosial innflytelse. Normativ sosial innflytelse viser til at folk er redde for å gjøre feil fremfor andre mennesker og ender dermed opp med å ikke gjøre noe. Informativ sosial innflytelse viser til at valg av handlinger ofte kopieres fra andre hvis folk er usikre på hva de skal gjøre (Fridolf et al., 2013, s. 455).

Det er også observert at folk føler seg som en del av en gruppe under evakuering, da alle står ovenfor samme faren. Denne følelsen av å være en del av gruppen fører til at folk hjelper hverandre i form av; evakueringshjelp, emosjonell hjelp, sosial hjelp og reduserer sin egen evakueringstid for å hjelpe dem (Zhang et al., 2021, s. 2).

### 3.5 Menneskers handlinger ved brann i tunnel

Flere av modellene beskrevet over er tatt fra forskning utført ved brann i bygninger. Årsaken til dette er at det er noe mer begrenset informasjon rundt brann i tunneler, da det er utført mer forskning rundt bygninger. Dette kommer av at det oppstår flere brann i bygninger og at tunnelsikkerhetsfronten ikke startet skikkelig før på starten av 2000-tallet. Dette kom av at det mellom 1999-2001 oppstod flere tragiske tunnelbranner i Europa som økte fokuset på temaet.

Modellene for handlingsmønsteret til personer vil ha mange likheter ved brannhendelser uavhengig av om det er i en tunnel eller en bygning. Det er derfor valgt å også benytte erfaringer fra brann i bygninger. Selv om handlingsmønsteret under brann i tunnel er begrenset, finnes det fortsatt interessante observasjoner.

#### 3.5.1 Bli værende i bilen

Da brann i tunnel er et sjeldent scenario som folk flest ikke opplever er det mye usikkerhet i hvordan man skal håndtere situasjonene når den oppstår. Når brannen oppstår eller blir oppdaget vil de fleste være sittende i bilene sine. Dette vil være et sted hvor de føler seg trygge, da dette er en kjent situasjon. Dette er det motsatte av tunnelen. Å bevege seg ut i ukjente omgivelser i en ukjent situasjon vil være krevende for mange. Det vil også være krevende å forlate eiendeler i en slik situasjon. Handlingsmønsteret er observert gjennom flere evakueringstester og øvelser og er noe som går igjen i tidlig fase av evakuering. Det er vist at det kan ta personer mellom 5 og 15 minutter å ta en avgjørelse om hva de skal gjøre. En vanlig faktor som påvirker dette, er den sosiale innflytelsen nevnt i delkapittel 3.4. Personer velger å gjøre det samme som andre, spesielt hvis det ikke er en åpenbar grunn til å gjøre noe annet (PIARC, 2016, s. 10).

### 3.6 Affordance theory

“Affordance theory” handler om at systemer skal designes for å gi brukere den informasjonen de har behov for. Denne ideen ble først introdusert av Gibson (1977, referert i Zhang et al., 2021), som den originale “theory of affordance”. Denne besto av fire typer: fysisk affordance (physical affordance), sensorisk affordance (sencory affordance), kognitiv affordance (cognitive affordance) og funksjonell affordance (functional affordance). Ronchi et al (2016, referert i Zhang et al., 2021) poengterer at fysisk affordance kan ses vekk ifra ved evakueringsystemer, da de eneste verktøyene som benyttes er dørhåndtak ved åpning av dører (Zhang et al., 2021, s. 4).

Sensorisk affordance er det som skjer før evakueringen starter. Her skal det tekniske systemet gi sensorisk informasjon i form av syn, hørsel, lukt, osv. Dette gjøres for å få de involverte oppmerksomhet og gi dem en forståelse av hva som skjer. Dette er et veldig viktig steg for å utføre en rask og effektiv evakuering. Tekniske systemer som benytter seg av sensorisk affordance bør aktiveres fortløpende etter en hendelse og være enkle å gjenkjenne for hver enkelt (Zhang et al., 2021, s. 4).

Kognitiv affordance handler om å gi de involverte partene en forståelse av situasjonen og kan også gi forklaringer. De fleste tekniske systemene som benytter kognitiv affordance forklarer hva som har skjedd, hvordan det skjedde og hvordan situasjonen er nå. Dette kan gjøres i form av alarmer, høyttalersystemer som benytter enkle setninger, ved hjelp av lys eller andre metoder. Informasjonen som fordeles må på samme måte som sensorisk affordance være raskt og presist. Dette for å spre informasjonen raskest mulig, samtidig som at det skal være vanskelig å misforstå (Zhang et al., 2021, s. 5).

Funksjonell affordance handler om å hjelpe de involverte til å oppnå målene deres ved evakuering. Dette kan være ved å gi dem informasjon om hvor de skal gå, hvor langt de må gå og lede dem til sikkerhet. Tekniske systemer har ofte flere roller innen de ulike typene affordance og de benytter seg ofte av hverandre (Zhang et al., 2021, s. 5).

## 4 Metode

I dette kapittelet skal det redegjøres for valg av metode for oppgaven. Det vil først presenteres forskningsstrategi og forskningsdesign. Det vil så gis informasjon om hvordan dataene til oppgaven er innhentet ved hjelp av dokumentanalyse og intervjuer. Til slutt i kapittelet vil det reflekteres over oppgavens reliabilitet og validitet, samt overførbarhet og utfordringer.

### 4.1 Forskningsstrategi

Problemstilling er et presist spørsmål som stilles med et formål og presist nok til at det er mulig å belyse det gjennom bruk av samfunnsvitenskapelige metoder (Halvorsen, 2008, s. 35). Formålet med problemstillingen til oppgaven er å se nærmere på informasjonsbehovet til trafikanter i tunneler, samt hvordan tunnelers tekniske infrastruktur er i stand til å opprettholde dette behovet. For å kunne svare på denne problemstillingen var det ønskelig å samle inn data for analyse ved bruk av en kvalitativ forskningsmetode. Valg av forskningsstrategi tar utgangspunkt i innsamling og analyse av datamaterialet som kom frem. Ved bruk i en komparativ casestudie var det ønskelig å innhente informasjon rundt hvilke tekniske systemer som benyttes i Norske tunneler i dag.

Ved valg av forskningsstrategi er dette gjerne delt inn i fire ulike metoder, nemlig abduktiv, deduktiv, induktiv og retroduktiv (Blaikie & Priest, 2019, s. 89-93). Deduktiv forskningsmetode benytter teori som grunnlag for oppgaven og undersøker hvordan innsamlet data kan støttes opp mot denne teorien. Den induktive metoden danner en tese ved å ta utgangspunkt i innsamlet datamateriale. Abduktive forskningsmetode er en samling av disse metodene. Her er hensikten med studie å undersøke hvordan data kan bygge opp under teorien (Thornberg, 2012). Ved denne oppgaven er det derfor valgt å benytte den abduktive metoden. Dette vil da si at det er valgt å benytte teori som gjør det mulig å forstå datamaterialet. Samtidig vil datamaterialet også kunne utfordre teorien i lys av problemstillingen (Blaikie & Priest, 2019).

#### 4.1.1 Forskningsprosess

Proessen med å utvikle masteroppgaven startet allerede våren 2022, hvor vi i et av fagene skulle skrive en oppgave om tunnelsikkerhet. Her skrev jeg om hvordan PA-systemer (public address) kunne bidra til å øke sikkerheten i tunneler. Jeg benyttet denne muligheten til å undersøke temaet og utforske hva jeg ønsket å skrive masteroppgave om. Under prosjektarbeidet fattet jeg stor interesse for tunnelsikkerhet og dette valgte å gå videre med.

Høsten 2022 ble det utarbeidet en skisse for prosjektet, etter at det ble foreslått av universitetet å se på flere av kommunikasjonssystemene i tunneler og hvordan disse kunne påvirke tunnelens trafikanter. Denne oppgaven bygger dermed videre på den tidligere oppgaven fra våren 2022. I vedlegg 5 ligger det en mer detaljert oversikt over selve forskningsprosessen. Dette er illustrert i en tabell med et hendelsesforløp over oppgavesemesteret 2023.

## 4.2 Forskningsdesign

Forskningsdesignet valgt for denne oppgaven er kvalitativ forskningsmetode, da dette var det foretrukne designet slik at det kunne tas et dypdykk i analytiske beskrivelser om kommunikasjonssystemer i tunneler. Hensikten med kvalitative studier er ofte å kunne få en helhetlig forståelse av spesifikke kontekster (Grønmo, S., 2023), som i denne oppgaven vil være funksjonalitet av kommunikasjonssystemer. Dataene i denne oppgaven vil bli samlet inn ved hjelp av intervju og dokumentanalyse. Disse dataene vil kunne supplere hverandre og gi informasjon fra ulike synspunkter.

### 4.2.1 Casestudie

For å kunne besvare oppgavens problemstilling valgte jeg å benytte en komparativ multipl casestudie. Hensikten med casene var å få en underliggende forståelse av hvordan kommunikasjonssystemer fungerer i norske tunneler og hvilke begrensninger som settes av dagens systemer. «Et case studie er en empirisk undersøkelse som studerer et moderne fenomen i dybden og innenfor den virkelige konteksten når grensen mellom fenomenet og virkeligheten er uklar» (Yin, 2009, s.18, oversatt).

Komparativ casestudie benytter flere casestudier som presenteres uavhengige av hverandre for å så kunne dra linjer mellom dem for å se sammenhenger mellom dem. I denne oppgaven vil casene være scenarioanalyser av enkelte hendelser plassert i enkelte tunneler utstyrt med dagens kommunikasjonssystemer. Det vil da undersøkes hvordan disse systemene påvirker situasjonene. Det vil hjelpe for å gi en forståelse for hensikten med systemene og hvilke begrensninger de har.

En av fordelene ved å benytte komparativ casestudie er at det gir mulighet for «å etablere en referanseramme for å karakterisere og måle fenomener som ikke har noen gitt målestokk» (Andersen, 2013, s. 92). Ved bruk av en slik metode har man bedre analytisk kontroll (Sartori, 1991, s.244-245, sitert fra Anderssen, 2013). En av utfordringene ved bruk av en slik metode er å vite når man har studert tilstrekkelig med caser. Dette er noe som må avgjøres etter

oppgavens problemstilling. Det er ikke nødvendigvis antall caser som avgjør dette, men hvilken betydning de har innenfor det analytiske rammeverket (Andersen, 2013, s. 92). I denne oppgaven ble det innhentet informasjon fra informanter om et sett tunneler. Tunnelene viste seg å ha flere likheter når det kom til kommunikasjonssystemer. Det ble dermed valgt å også legge til Gudvangatunnelen som en case, slik at det analytiske rammeverket dekket et bredere spekter av tunneler.

Under de ulike scenarioanalysene er det beregnet hvor lang evakueringstiden til trafikanten vil være til fots. Her er det valgt å benytte 1,2 m/s som ganghastighet i røyk. En studie utført av Ronchi et al. (2018) viser det til flere ulike hastigheter og variasjon i disse. Her var den gjennomsnittlige hastigheten målt til 1,2 m/s, som legger grunnlag for oppgavens utregninger. Dette er en verdi som vil variere etter hvor tykk røyken i tunnelen er. Trafikantenes hastighet vil også bli påvirket av lengden på tunnelen, samt stigning. Da det er vanskelig å ta alle disse faktorene til betraktning er det valgt å ta utgangspunkt fra en tidligere studie.

#### **4.2.2 Scenarioanalyse**

Scenarioanalyse benyttes for å analysere hvordan fremtidige hendelser vil påvirke et system. Dette gjøres ved å se på ulike utfall, hendelser og fremtidig utvikling for å få en oversikt over ulike utfall med nåværende system. Scenarioanalyse er en metode for å se på fremtidige hendelser med et forventet utfall. Analysemetoden benyttes for å estimere hvordan systemet vil fungere under uforutsette hendelser og kan benyttes for å se om ting burde endres. Dette gjøres ved å se på hvordan situasjonen ville være i beste tilfelle og verste tilfelle (Balaman, 2019).

I denne oppgaven blir dette utført ved å sette ulike scenario inn i et utvalg av norske tunneler. Det er valgt å se på hvordan tunnelenes kommunikasjonssystemer er i stand til å opprettholde selvredning ved brann i vogntog og brann i tankbil. Brann i vogntog er valgt da dette er en av de vanligere årsakene til branner i norske tunneler. Brann i tankbil er valgt med bakgrunn i brannen i Skatestraumstunnelen. Dette var en hendelse hvor evakueringstiden var lav og handlingsrommet til trafikantene var lav.

Scenarioene som er utarbeidet er fiktive hendelser og fokuserer på kommunikasjonssystemene i tunnelen. Med dette menes det at det ikke er undersøkt hvilken effekt systemene vil ha kombinert med for eksempel ventilasjon. Ventilasjonsretning og hastighet er generell for alle scenarioene og stemmer ikke nødvendigvis med realiteten. Scenarioene er ellers utarbeidet fra erfaringer fra tidligere hendelser og rapporter av disse utarbeidet av SHK.

### 4.2.3 Vurdering av effekt

Et av forskningsspørsmålene i oppgaven utarbeider en oversikt over state of the art av dagens kommunikasjonssystemer i tunneler. Som en del av denne oversikten er det også gjort en vurdering av hvor effektive de ulike systemene er ved ulike hendelser. Dette inkluderer: dannelse av kø, motorstans, kollisjoner mellom kjøretøy og brann.

Effekten blir målt etter hvordan systemet er i stand til å gi trafikantene informasjonen de har behov for under situasjonen. Ved hendelser hvor det ikke er nødvendig å stenge tunnelen blir systemene vurdert etter hvordan de er i stand til å gi informasjon som hjelper med å opprettholde trafikflyten i tunnelen uten å øke risiko. Ved brann i tunnel vil systemene bli vurdert etter deres evne til å dekke trafikantenes informasjonsbehov. Dette vil bli forklart mer detaljert under kapittel 6.1.

*Tabell 4 Verdier benyttet for å måle effekt av system*

Effekt	Høy	Medium	Lav
--------	-----	--------	-----

### 4.3 Datainnsamling og -analyse

Oppgaven tar i bruk både primær- og sekundær data. «Primærdata er data samlet inn av forskeren selv, ved bruk av en eller flere datainnsamlingsmetoder» (Halvorsen, 2008, s. 114). Primærdataen benyttet i oppgaven er samlet inn gjennom intervjuer med nøkkelinformanter. Sekundærdata er «informasjon som allerede foreligger i en eller annen form, og som er mer eller mindre tilgjengelig» (Halvorsen, 2008, s. 114). I denne oppgaven er det benyttet offentlige dokumenter, rapporter og analyser som går under kategorien sekundærdata. De analyserte dokumentene danner grunnlaget for dokumentanalysen til oppgaven.

Ved å benytte både primær- og sekundærdata vil man styrke nærheten til fenomenet man undersøker. Dette danner en kobling mellom andrehåndsopplysninger og deltagende observasjoner (Ringdal, 2001, referert i Halvorsen, 2008, s. 98). Det har blitt analysert 35 ulike dokumenter. Disse består av granskningsrapporter fra SHK, SVV sine håndbøker og rapporter og tidligere masteroppgaver om tunnelsikkerhet. Det er også analysert tidligere studier om menneskers atferd i krisesituasjoner i tunneler, samt studier om kommunikasjonssystemer og hjelpemidler for innsamling av nødvendig informasjon. Det ble også gjennomført et intervju med to informanter. Formålet med datainnsamlingen var å få en forståelse rundt kommunikasjonssystemene benyttet i tunneler og hvordan disse påvirket evakuerende



trafikanter. Dette er i tråd med en abduktiv forskningsstrategi, da teorien danner en forståelse om informasjonsbehovet til trafikantene.

#### **4.3.1 Dokumentanalyse**

Dokumentanalyse eller også kalt innholdsanalyse handler om å samle inn tekster for så å analysere dem. Dette har blitt benyttet av samfunnsvitere for å belyse ulike samfunnsfenomener (Halvorsen, 2008, s. 213). Dokumentene som benyttes utgjør datakilden for innholdsanalysen. Ved bruk av en kvalitativ tilnærming vil det være mulig å supplere kildematerialet med nye tekster underveis i forskningsprosessen (Halvorsen, 2008, s. 140). Dette ble sett på som hensiktsmessig slik at ettersom jeg lærte mer om tema og hva som ville være nyttig for oppgaven, ville det være mulig å supplere denne informasjonen.

Tidlig i analyseprosessen ble det gjort et litteratursøk. Dette ble gjort for å få fundamental kunnskap om emnet som skulle undersøkes. Det første som ble gjort var å se på litteraturlisten til tidligere masteroppgaver som hadde et lignende tema. Dette gjorde at jeg fikk en god forståelse for hvilke kilder som var relevante og hvor jeg burde lete etter mer informasjon. Jeg benyttet også tidligere pensumbøker og undersøkte hvilken informasjon som var mulig å benytte fra disse. Videre benyttet jeg ulike databaser gjennom biblioteket til universitetet for å undersøke menneskers atferd i tunneler. Gjennom dokumentanalyse ble det funnet mye informasjon om tidligere hendelser gjennom SHK som ville være nyttig ved utarbeidelse av ulike caser. Det var ønskelig å undersøke flere av de lokale tunnelene og deres systemer, og det ble dermed avklart at det var nødvendig å supplere dokumentanalysen med intervju av nøkkelinformanter.

De analyserte dokumentene ble benyttet for å besvare de ulike forskningsspørsmålene til oppgaven. Dette gjennom utarbeidelse av ulike fiktive hendelser plassert i et sett med tunneler. Disse hendelsene ble utarbeidet fra tidligere hendelser i norske tunneler. Hendelsene ble valgt etter hvilke hendelser som stod bak de større ulykkene. Dokumentene ble også benyttet for å gi en forståelse for kommunikasjonssystemer i tunneler, både gjennom hvilke muligheter der er, til hvilke krav som settes.

#### **4.3.2 Intervju**

Under forskningsprosessen ble det sett som hensiktsmessig å gjennomføre intervju. Dette da en kombinasjon av primær- og sekundær data ville styrke oppgaven. Metoden ble også valgt da det gir mulighet for innsamling av data fra personer med førsthåndskjennskap vil være nyttig. I intervjuet ble det samlet informasjon om teknisk utrustning av et sett med tunneler.

Det ble også diskutert utfordringer med de ulike systemene og rollen informantene hadde. Intervjuet ble gjennomført i mars 2023 og ble gjennomført som et semistrukturert intervju.

Et semistrukturert intervju eller halvstrukturert, kan beskrives som en samtale mellom forsker og respondent, der forskeren styrer samtalen. Forskeren lager en intervjuguide i forkant av intervjuet som samtalen struktureres etter. Spørsmålene i intervjuguiden dannes etter ønsket informasjon som vil være hensiktsmessig for besvarelse av problemstillingen. Spørsmålene danner så et grunnlag for ulike tema som kan diskuteres under intervjuet (Andersen, G, 2020). Ved å benytte en slik intervjuform vil det være enkelt å danne nye spørsmål underveis i samtalen ettersom man samler mer informasjon. Det vil også være mulig å omformulere spørsmålene til senere intervju (Halvorsen, s. 137), men det var ikke et problem da det ikke ble utført flere intervjuer. Under intervjuet var det hensiktsmessig å kunne danne nye spørsmål underveis da det var uklart hvilken utrustning de ulike tunnelene hadde i forkant.

Intervjuet ble utført på en plattform for digitale møter, slik at det ble enklere for informantene å lage plass i deres hverdag. Det ble også enklere å endre på tiden intervjuet skulle utføres ettersom hver informant hadde det travelt. Intervjuet tok utgangspunkt i en intervjuguide som ble utarbeidet etter hvilken informasjon som var nødvendig i henhold til oppgavens problemstilling. Dette var hovedsakelig hvilke kommunikasjonssystemer de ulike tunnelene var utrustet med. Intervjuguiden for intervjuet ligger som vedlegg 3. Ved å benytte intervjuguiden var det enkelt å holde en rød tråd gjennom intervjuet og holde en slags struktur slik at det ikke ble glemt noe.

Før intervjuet ble det også utarbeidet et samtykkeskjema som skulle signeres av informantene. Dette ble utarbeidet for å informere informant om hvordan informasjonen fra intervjuet skulle benyttes og at deres personvern skulle ivaretas. Samtykkeskjema er lagt ved oppgaven som vedlegg 4.

### **4.3.3 Informanter**

Informantene til oppgaven ble valgt etter deres bakgrunn og erfaring innen tunnelsikkerhet og kjennskap til tunnelers kommunikasjonssystemer. Dataen samlet inn fra informantene blir benyttet som primærdata i oppgaven. Informantene kan karakteriseres som nøkkelinformanter, da de sitter med viktig informasjon om det emneområdet problemstillingen tar utgangspunkt i (Halvorsen, 2008, S.266). En oversikt over informantene ligger i vedlegg 2. Da det var ønskelig å undersøke hvilke systemer enkelte tunneler i Norge var utrustet med var det hensiktsmessig

å intervju praktisk tunnelforvalter. Under intervjuet var også tidligere praktisk tunnelforvalter med slik at det ble lettere å hente ut historiske data.

For å komme i kontakt med informantene laget jeg et notat om hva informasjon jeg var interessert i å finne mer informasjon om. Dette notatet ble sendt til en ansatt i SVV som veilederen til oppgaven hadde tidligere erfaring med. Vedkommende fra SVV tok så kontakt med meg for videre informasjon for så å koble meg sammen med relevant tunnelforvalter. Etter å ha kommet i kontakt med relevant tunnelforvalter og det ble vist en interesse for å delta på intervjuet, ble det planlagt tidspunkt og gitt mer informasjon om intervjuet. Det ble sendt ut et samtykkeskjema som ga informasjon om at de hadde rett til å trekke seg fra intervjuet når så helst. Dette da jeg ønsket å vise en forståelse for at de har travle arbeidsdager. Skjemaet ga også informasjon om at de kunne velge å svare på spørsmål de ikke ønsket å svare på, samt trekke tilbake informasjon i etterkant av intervjuet. Under intervjuet ble det tatt notater av samtalen som så ble skrevet om og levert til informantene for godkjenning i etterkant. Dette slik at informantene hadde mulighet til å legge til eller rette opp i eventuelle misforståelser.

For å kunne benytte datamaterialet fra intervjuet ble det tidlig i oppgave fasene bestemt å anonymisere informantene. Dette ble informert om i samtykkeskjema. Det ble valgt å ikke benytte seg av navn på informanter slik at personvernet deres sikres. Det var likevel hensiktsmessig å benytte nåværende og/eller tidligere arbeidsplass, slik at informasjonen var troverdig. Informanten til oppgaven blir henvist i vedlegg 2 og hvordan de refereres til. Da begge informantene ble intervjuet samtidig blir de stort sett referert til samlet.

#### 4.4 Kvalitetskriterier

Kvalitetskriterier er en fellesbetegnelse på kriterier som ligger til grunn for forskningsmetoden til oppgaven. Kapitlet vil drøfte hvordan oppgaven har blitt skrevet med tanke på forskningens kvalitet, samt refleksjoner over metodebruk.

##### 4.4.1 Relabilitet og validitet

Et forskningsdesign har som hensikt å presentere et sett med logiske påstander. Kvaliteten på disse påstandene kan vurderes etter et sett med logiske tester. De ulike konseptene brukt til dette om tekster er pålitelig, troverdig, mulighet for bekreftelse. Det er hovedsakelig brukt tre metoder ved vurdering av empiriske teksters validitet. Den første av disse metodene er konstruktvaliditet. Dette handler om å identifisere korrekte operasjonelle tiltak for å måle konseptet som studeres. Den andre metoden er intern validitet som benyttes for å eliminere

alternative forklaringer og løsninger. Tredje metoden er ekstern validitet som handler om generalisering av studie (Yin, 2009, s.40). Ved bruk av casestudier kan det være utfordrende å utdype den eksterne validiteten da en studie av for eksempel en tunnel, ikke nødvendigvis vil gjelde for flere. Det var derfor ønskelig å undersøke flere tunneler, og samle inn datamateriale fra ulike kilder for å øke troverdigheten til oppgaven. Konstruktvaliditet har også vært viktig ved gjennomføring av oppgaven. Årsaken til dette er at ved casestudier er det normalt at det dannes subjektive grunnlag som legges til grunn for målingene og utviklet case vil være annerledes i virkeligheten. Den interne validiteten blir styrket ved å se på mønster mellom de ulike caseene i oppgaven.

Den siste metoden benyttet for å vurdere kvaliteten på teksten er reliabilitet (Yin, 2009, s.40). Reliabilitet handler om at data som brukes er konsistente (Grønmo, 2020). Det handler om at resultatet til oppgaven skal være det samme hvis noen hadde gjentatt studie med samme data innsamlings metode (Yin, 2009, s.40). Det er forsøkt å sikre reliabilitet ved å forklare fremgangsmetoder. Dette vil hjelpe leser å utføre en tilsvarende analyse som vil kunne bidra til samme fremgangsmåte.

#### **4.4.2 Overførbarhet**

Målet til oppgaven er å sette lys på funn knyttet til temaene tunnelsikkerhet, selvredning og kommunikasjonssystemer i tunneler. Oppgaven består av mange avgrensninger i forbindelse med kompleksiteten til en tunnel, da den i hovedsak kun ser på informasjonsbehovet til trafikantene. Vinklingen til oppgaven går på å gi leser et læringspotensial om tema. Dette vil si at studiet hovedsakelig er deskriptivt, og har som formål å forklare kommunikasjonssystemer og deres rolle.

#### **4.4.3 Metodiske styrker og svakheter**

Store deler av forskningsprosesser møter på utfordringer i arbeidet. Å komme i kontakt med informanter var en tidkrevende prosess. Når det til slutt ble funnet informant viste det seg at de ikke kunne dekke all ønsket informasjon. Dette da det opprinnelig var ønske om å se på alle ettløpstunneler i Rogaland over 3 km. Det ble gitt informasjon om 3/6 tunneler. Tunnelene var laget eller oppgradert i nyere tid og ulikhetene mellom tunnelene var dermed små. For å dekke opp disse ulikhetene ble det valgt å benytte en større grad av dokumentanalyse i tillegg til intervjuet.

Oppgaven ønsket å undersøke tilstanden av norske tunneler og hvordan de var i stand til å dekke informasjonsbehovet til trafikantene. Det er flere tunneler som er utdatert og burde gjennomgå en oppgradering, og dermed var det ønsket å sammenligne slike tunneler med de som var oppgradert. Dette ble utfordrende da innsamlet informasjon hovedsakelig dekket oppgraderte tunneler. Det ble benyttet dokumentanalyse for å dekke manglende informasjon.

## 5 Analyse

Dette kapitlet vil presentere relevante data for tunnelutvalget til dette prosjektet. Dette vil hovedsakelig være hvordan tunnelen er teknisk utrustet i form av kommunikasjonssystemer. Hensikten med denne presentasjonen er å få en oversikt over hvordan norske tunneler dekker informasjonsbehovet til trafikanter og tunneloperatør. Dette vil være viktig for å kunne utdype problemstillingen senere.

Informasjonen innhentet i dette kapitlet er samlet ved hjelp av dokumentanalyse, samt intervju av praktisk tunnelforvalter. Oversikt over respondentene kan finnes i vedlegg 2. Dokumentutvalget som er benyttet er hovedsakelig rapporter fra Statens havarikommisjon for de respektive tunnelene. Oversikt over de ulike analyserte dokumentene ligger i vedlegg 1.

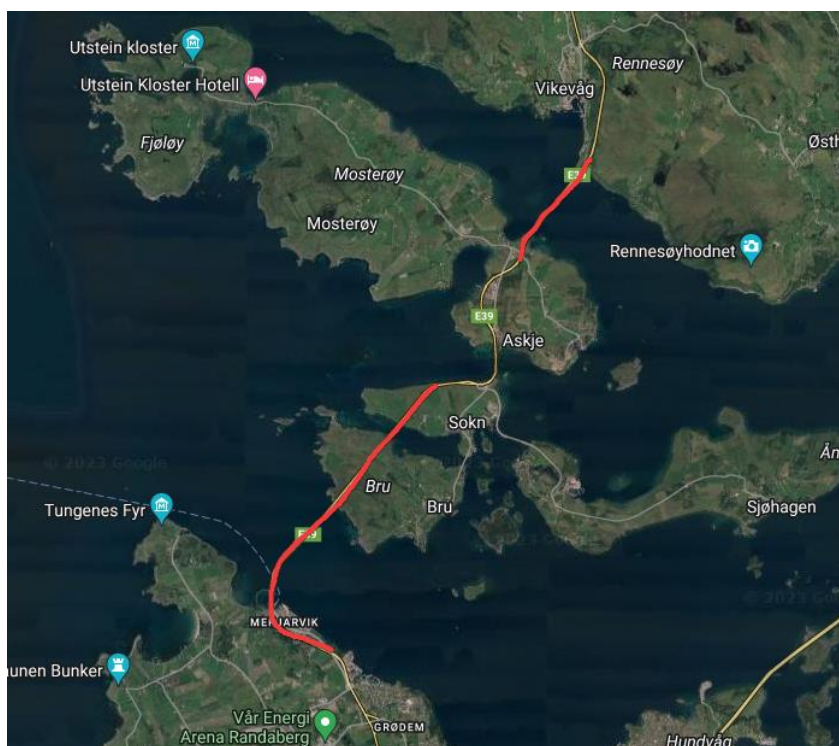
### 5.1 Tabelloversikt over utvalgte tunneler

Tabell 5 Tabelloversikt over utvalgte tunneler

Tunnel	Lengde (meter)	ÅDT/ Andel tunge kjøretøy (2022)	Tunnel klasse	Utforming av ettløstunnelen	Åpnet (årstall)	Fylke
Byfjord	5875	10773/ 14%	C	Undersjøisk	1992	Rogaland
Mastafjord	4424	9008/ 17%	C	Undersjøisk	1992	Rogaland
Svo	4733	1800/ 15%	C	Fjelltunnel	2013	Rogaland
Gudvanga	11428	2295/ 26%	B	Fjelltunnel	1991	Vestland

## 5.2 Rennfast

Rennfast er en fastlandsforbindelse som består av to undersjøiske tunneler. Dette inkluderer Byfjordtunnelen og Mastafjordtunnelen. Strekningen ble åpnet i 1992 og har hatt en sterk påvirkning på reisetiden mellom Rennesøy og Stavanger. Vegstrekningen tunnelene er en del av ligger på utkanten av Stavanger i retning Haugesund og Bergen. Tunnelene er en del av E39 som går langs kysten av Norge (SVV, 2020b). I forbindelse med tunnelene er det utført intervju med praktisk tunnelforvalter for å samle informasjon om kommunikasjonsutstyret tunnelene er utrustet med.



Figur 4 Byfjord- og Mastafjordtunnelen (Skjermdump av Kartdata ©2023 fra Google Maps, u.å.)

### 5.2.1 Grunnleggende informasjon om tunnelene

Byfjordtunnelen er 5875 meter lang med en stigningsgrad på 8%. I 2022 hadde tunnelen en ÅDT på 10773 med 14% andel lange kjøretøy. Mastafjordtunnelen er 4424 meter lang med en også med en maks stigning på 8%. Tunnelen hadde i 2022 en ÅDT på 9008 og andel tungtrafikk var 17% (SVV, u. årb).

Tunnelene er del av samme vegstrekning og ble dermed bygget på lik. Dette vil da si at tunnelene er utformet likt og benytter samme sikkerhetsutstyr. Tunnelene ble oppgradert rundt 2012-2013. Under denne oppgraderingen ble det gjort endringer på de fleste områdene i tunnelen (informant 1 og 2). Dette ble gjort da tunnelen var rundt 20 år gammel og kravene var endret.

Tunnelene er i dag utrustet med flere kommunikasjonssystemer. Dette både for å kunne gi trafikanter informasjonen de har behov for, samt trafikksentralen. Tunnelen er som alle tunneler i Norge utrustet med nødstasjoner. Disse stasjonene inneholder brannslukningsapparat, samt nødtelefon. Nødtelefonene kan benyttes for direkte kontakt med VTS. Brannslukningsapparatene gir også varsel til VTS om noen skulle fjerne dem. I tillegg til disse systemene er tunnelene utrustet med kameraovervåkning, noe som gjør at VTS har mulighet for å undersøke pågående situasjoner og validere varsler de kan ha mottatt. Et av systemene som kan varsle om noe skulle oppstå er «Vegvokteren». Dette er et system som kan vise tunneloperatør hvor i tunnelen en hendelse har oppstått. Systemet er koblet opp mot flere radarer som er plassert gjennom tunnelen og vil kunne identifisere hendelser ned til meternivå. Dette kombinert med kamera gir VTS god mulighet for å identifisere situasjoner raskt.

Etter at en situasjon er oppdaget vil kommunikasjonssystemene rettet mot trafikantene benyttes. Disse systemene inkluderer radiomelding, variable skilt, snuskilt og evakueringsbelysning. Radiomeldingen kan benyttes ved manuell innsnakk eller forhåndsinnspilte meldinger. Radiomeldingen sendes gjennom hele tunnelen og må derfor være veldig generell slik at den gjelder for alle trafikantene. De variable skiltene i tunnelen kan illustrere endring av fartsnivå, samt vise fritekst. Dette kan være for å informere om mindre hendelser, slik som stanset kjøretøy eller pågående arbeid. Snuskiltene i tunnelene er plassert ved snusjone i tunnelen og vil informere trafikantene om at de må snu. Da VTS har god oversikt over hvor i tunnelen hendelsen har oppstått vil det være mulighet for å benytte kun de snuskiltene som er relevante. Årsaken til dette er å unngå at enkelte trafikanter blir feilinformert og snur og kjører mot hendelsen. Det siste systemet i tunnelen er nødbelysning. Tunnelen er utrustet med to ulike typer nødbelysning. I taket er det montert generell nødbelysning og langs sidene av tunnelen er det montert ledelys. Lyset montert på veggen av løpet er montert 1 meter over kjørebane og går sammenhengende langs hele løpet (informant 1 og 2).

### **5.2.2 Styringsprosess**

Flertallet av kommunikasjonssystemene i tunnelene kan aktiveres både automatisk og manuelt. Ved fjerning av brannslukningsapparat vil tunnelen automatisk starte nødløsningene. Dette vil si at evakueringslyset og snuskiltene automatisk tennes. Systemene kan også aktiveres av VTS, da de har mulighet til å få en oversikt over situasjonen i tunnelen ved bruk av kameraovervåkning.



### 5.2.3 Tidligere hendelser

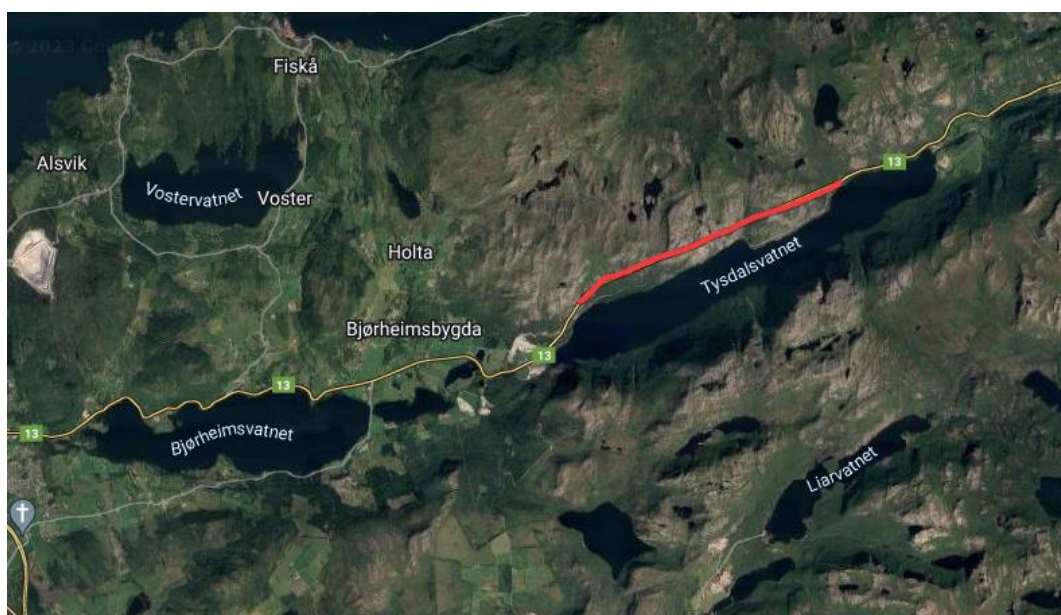
Det har vært flere branner i tunnelen gjennom årene. I 2013 oppstod det brann i et vogntog i Byfjordtunnelen. Her var det flere biler som ble fanget i røyk, inkludert to busser (Mitchell & Skretting, 2013).

Senere samme året ble det uttrykket bekymring fra brannvesenet over gjentatte branner i Byfjordtunnelen. «Det siste året har tunnelen vært stengt minst ni ganger på grunn av branner eller ulykker» (Sandø, 2013). Det har også i nyere tid oppstått branner i flere kjøretøy (NRK, 2020) (Sigbjørn Berentsen, 2022).

I Mastrafjordtunnelen var det i 2006 en brann i et vogntog. Det var flere kjøretøy i tunnelen, blant dem en buss og en lastebil med propan. Heldigvis ble ingen skadde under hendelsen, men brannvesenet hadde problemer med å komme seg ned til ulykkesstedet da det var stor utvikling av røyk (Berven, 2006). Tunnelen ble igjen stengt i 2015 som følge av et branntilløp i et vogntog (Askildsen, 2015).

### 5.3 Svtunnelen

Svtunnelen er en fjelltunnel i Strand kommune. Tunnelen ble åpnet i 2013 og kostet 480 millioner å bygge. Den var en del av et skredsikringsprosjekt langs Tysdalsvatnet (SVV, 2021). Tunnelen går langs riksveg 13 som er en veistrekning mellom Stavanger og Sogndal. I forbindelse med tunnelen er det utført intervju med praktisk tunnelforvalter for å samle informasjon om kommunikasjonssystemene i tunnelen.



Figur 5 Svtunnelen (Skjermdump av Kartdata ©2023 fra Google Maps, u.å.)

### **5.3.1 Grunnleggende informasjon om tunnelen**

Svotunnelen er en 4733 meter lang tunnel med en maks stigning på 2,1%. I 2022 hadde tunnelen en ÅDT på 1800 med 17% andel lange kjøretøy.

Tunnelen er nokså ny, noe som fører til at sikkerhetsutstyret er etter nyere standarder. Den har som flere andre tunneler nødstasjoner spredt jevnt gjennom hele tunnelen. Tunnelen er også utrustet med kamera som kan benyttes av VTS for å ha oversikt over pågående situasjoner i tunnelen. Den er også utrustet med radiomelding, variable skilt og evakueringsbelysning (Informant 1 og 2).

I 2021 ble det gjennomført en liten oppgradering av tunnelen for å gjøre den enda sikrere. Det ble da installert snuskilt for å kunne informere trafikanter om å snu. Det ble også montert blått lys i snunisjer slik at de blir mer synlige for trafikantene. Siste oppgradering var montering av nødnett (SVV, 2021). Dette er et digitalt samband for aktører med nød og beredskapsansvar.

### **5.3.2 Styringsprosess**

Flertallet av kommunikasjonssystemene i tunnelene kan aktiveres både automatisk og manuelt. Ved fjerning av brannslukningsapparat vil tunnelen automatisk starte nødløsningene. Dette vil si at evakueringslyset og snuskiltene automatisk tennes. Dette kan bli overskrevet av vurderinger gjort av VTS, men de vil også kunne få en rask oversikt over situasjonene ved hjelp av kameraene.

### **5.3.3 Tidligere hendelser**

Det har til nå ikke vært ukontrollerte brannhendelser i Svotunnelen. Før tunnelen åpnet ble den brukt til en brannøvelse for nødetatene i Strand og Hjelmeland. Dette ble gjort for å forsikre seg om at systemene i tunnelen fungerte før åpning (Knudsen, H.T., Bjorland, I, 2013).

## **5.4 Gudvangatunnelen**

Gudvangatunnelen er en fjelltunnel som ble åpnet i 1991. Tunnelen var ved åpning Norges lengste veitunnel på over 11km. Den ligger på E16 i Aurland kommune i Vestland og går mellom Gudvangen og Langhuso. Tunnelforbindeselen er en del av en ferjefri strekning mellom Oslo og Bergen. I forbindelse med tunnelen er det innhentet informasjon i form av dokumentanalyse, mer spesifikt rapporter utviklet av statens havarikommisjon. Dette er gjort for å samle informasjon om tunnelens kommunikasjonssystemer.



Figur 6 Gudvangtunnelen (Skjermdump av Kartdata ©2023 fra Google Maps, u.å.)

#### 5.4.1 Grunnleggende informasjon om tunnelen

Gudvangtunnelen er 11428 meter lang med en stigningsgrad på 3,5%. I 2022 hadde tunnelen en ÅDT på 2295 med 26% tunge kjøretøy.

Tunnelen ble oppgradert i 2016 og er utrustet med flere kommunikasjonssystemer. Tunnelen er lik som de to andre tunnelene utrustet med nødtelefoner og brannslukningsapparat. Disse er koblet opp mot VTS som gir den oversikt om noen benytter seg av dem. Tunnelen har også bommer på utsiden av tunnelen, slik at det er mulig å stanse trafikanter fra å kjøre inn i en tunnel under en krisehendelse. Bommen er også utstyrt med røde stoppblinksinal (SHT, 2020, s.20). Tunnelen har også noen kamera, men de dekker ikke hele tunnelen (SHT, 2020, s.40).

Det vil være mulig for VTS å gi trafikanter i tunnelen informasjon ved å benytte radiomelding. Det er ikke montert variable skilt som kan informere om å snu, men det er montert snuskilt.

Det var også planlagt videre oppgradering av tunnelen med deteksjonsradar, høyttaleranlegg og evakueringslys. Dette er valgt å se vekk i fra i oppgaven for å kunne gi et bilde av ulike tunneler med ulik utrustning (SHT, 2020, s.21).

#### 5.4.2 Styringsprosess

Kommunikasjonssystemene i tunnelen aktiveres gjennom VTS. Eneste systemet som kan gi VTS informasjon om situasjonen er nødtelefoner og fjerning av brannslukningsapparat. Dette gjør det utfordrende å verifisere hendelsen og vite hvilke tiltak som må gjøres.

### 5.4.3 Tidligere hendelser

Det har vært flere større brannhendelser i Gudvangatunnelen de siste årene. Det har vært 3 branner i større kjøretøy siden 2013 (SHT, 2020, s.4). I 2013 oppstod det en brann i en lastebil. Det ble berget i underkant av 70 personer, og flere ble sterkt røykeeksponert (DSB, 2014). I 2015 var det brann i en buss, hvor igjen flere personer ble skadet (Aftenposten, 2015). I 2019 startet det en brann i et vogntog (Veier24, 2019). Under hendelsene omkom det ingen personer, men flere ble sendt til sykehuset i etterkant.

### 5.5 Scenarioanalyse

I dette delkapittelet vil det bli utført flere scenarioanalyser over de ulike tunnelene nevnt tidligere. De ulike tunnelene vil benyttes som et grunnlag for å se på hvordan ulike Norske tunneler vil håndtere ulike hendelser. Hovedfokuset til analysene vil være hvordan kommunikasjonssystemene bidrar til å opprettholde trafikantenes evne til selvredning.

Det vil først bli sett på hvordan tunnelene vil håndtere brann i vogntog, som er en av de vanligere store hendelsene i Norge. Deretter vil det bli sett på hvordan tunnelene vil håndtere brann i tankbil.

Scenarioene som er utarbeidet er basert på tidligere hendelser, men er alle fiktive. De fokuserer på kommunikasjonssystemene til tunnelen og vil derfor ikke se på andre systemer slik som ventilasjon.

Tabell 6 Oversikt over utarbeidet scenarioanalyser

Kode	Tunnel	Hendelse	Utrustning
Analyse 1	Byfjordtunnelen og Mastrafjordtunnelen	Brann i vogntog	Dagens utrustning
Analyse 2	Svotunnelen	Brann i vogntog	Dagens utrustning
Analyse 3	Gudvangatunnelen	Brann i vogntog	Utrustning etter SHK rapport 2015
Analyse 4	Byfjordtunnelen og Mastrafjordtunnelen	Brann i tankbil	Dagens utrustning
Analyse 5	Svotunnelen	Brann i tankbil	Dagens utrustning
Analyse 6	Gudvangatunnelen	Brann i tankbil	Utrustning etter SHK rapport 2015

## 5.6 Brann i vogntog

Det er valgt å se på hvordan et hendelsesforløp med brann i vogntog i de ulike tunnelene kan se ut. Årsaken til det er at dette er en av de mer vanlige årsakene for større branner i tunneler.

Hendelsen som er valgt å undersøke er en dannelse av gnister fra et vogntog som frakter treverk. Vogntogføreren stanser kjøretøyet sitt når han oppdager varsellys i dashbordet sitt. Det starter så en flamme i høyre side av kjøretøyet som fører observerer i speilene. Han forlater så kjøretøyet for å undersøke hendelsen. Han antok at det var brann fra dieseltanken, men det viser seg å være fra undersiden av panseret. Han forsøker så å slukke brannen med et brannslukningsapparat han har liggende i bilen. Brannslukningsapparatet er ikke til hjelp og føreren må starte evakuering.

Etter at vogntoget starter å brenne tar det 15 minutter før det er overtent. Varmen fra brannen når en temperatur på 1000 grader, samtidig som luften i tunnelen fylles med røyk og giftige gasser.

Under hendelsen befinner det seg 25 biler med til sammen 35 personer i tunnelen, og en buss med 25 personer. Halvparten av de involverte bilene befinner seg foran brannen og har klar veg ut av tunnelen. De resterende bilene og bussen befinner seg bak brannen.

Klokkeslettet hendelsen starter er satt til 12.00.

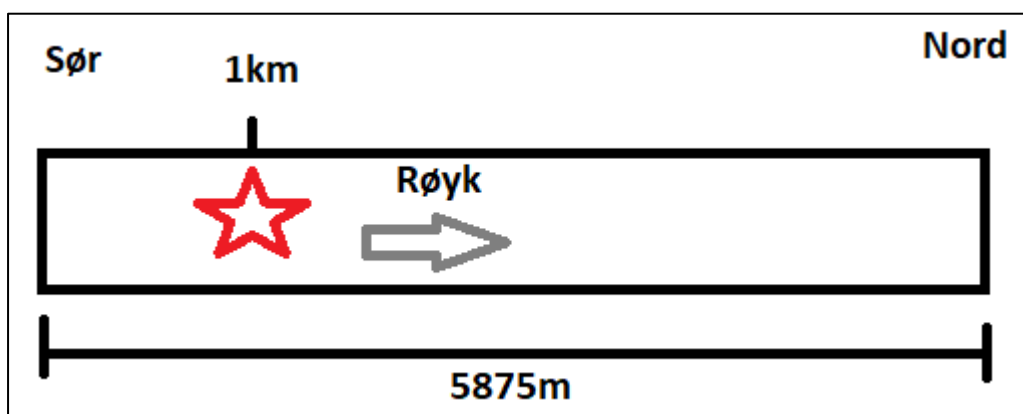
Det generelle hendelsesforløpet er utviklet med utgangspunkt i DSB risikoanalyse av brann i tunnel (DSB, 2014). De ulike scenarioene er fiktive, men etterlignes tidligere hendelser hentet fra ulike SHT-rapporter.

### 5.6.1 Analyse 1

Vi velger å se på hvordan hendelsen kunne sett ut i Byfjord- og Mastrafjordtunnelen. Det er valgt å gjøre en samlet analyse av nevnte tunneler, siden tunnelene er like både når det kommer til utforming og sikkerhetsutstyr.

Det vil være en buss og tolv biler igjen i tunnelen som vil ha behov for å snu eller gå ut av tunnelen. På sørsiden av hendelsen gjelder dette fem biler. De vil ha 1 km de må evakuere og har mulighet for å kjøre ut eller bevege seg til fots. Trafikantene på denne siden av hendelsen vil ikke bli påvirket av røyken da den styres vekk av ventilasjonen. På grunn av røyken fjernes føres andre vegen vil ikke trafikantene på denne siden av hendelsen være begrenset av tilgjengelig evakueringstid.

På nordsiden av hendelsen er resterende trafikanter. Dette inkluderer bussen, samt 7 biler. Kjøretøyene nærmest hendelsen har nærmere 5 km de må bevege seg for å komme ut av tunnelen. Til fots vil dette kunne ta opp mot 1 time og 20 minutter å gå. Farten på røyken vil være estimert til 3 m/s og dermed ta igjen de evakuerende om de beveger seg til fots. Etter bare 5 min og 30 sekunder vil den første kilometeren av tunnellopet være fullt av røyk. Dette viser hvor tidssensitiv hele situasjonen er.



Figur 7 Illustrasjon av brann i Byfjordtunnelen

#### *Bruk av nødstasjon*

Først vil vi se på hvordan hendelsen kunne sett ut om trafikantene valgte å benytte nødtelefon og fjerne brannslukningsapparat. Nødtelefonene vil gi direkte kontakt til VTS hvor det kan opplyses om situasjonen. Fjerning av brannslukningsapparatet vil automatisk igangsette nødbelysning og skur på skilt med informasjon om å snu og kjøre ut (informant 1 og 2). Dette vil gi VTS mulighet for å iverksette nødrutiner og benytte kommunikasjonssystemene i tunnelen. Videre vil hendelsen være lik som ved ikke bruk av nødstasjon og vil dermed forklares under neste delkapittel.

#### *Ikke bruk av nødstasjon*

Om trafikantene ikke tar kontakt med VTS eller fjerner brannslukningsapparat ville VTS fortsatt fått en oversikt over hendelsen. Dette kommer av at tunnelene er utrustet med kameraovervåkning, samt radarer. Radarene i tunnelen vil oppdage hendelsen på under 10 sekunder og gi informasjon til VTS (Navtechradar, u,åa). Radarene oppdager unormale kjøremønster i tunnelen, som stans av kjøretøy og unormalt fartsnivå (Navtechradar, u,åb). Når VTS mottar signal fra radarene om at det har oppstått en unormal hendelse i tunnelen vil dette undersøkes ved å benytte kameraene. VTS vil da få en forståelse over situasjonen og igangsette nødrutiner om nødvendig.



Igangsetting av nødrutiner vil være å aktivere nødbelysning, informative skilt om å snu, samt å sende ut radiomelding. For at radiomeldingen skal være effektiv er det forutsatt at trafikanten har på radioen slik at de mottar beskjeder fra VTS.

Om trafikantene benytter seg av radiosambandet og mottar meldingen, vil dette kombinert med skiltene gi dem informasjon om at de må evakuere. Radiomeldingen vil være generell og gi en enkel melding som «Brann i tunnel vennligst evakuer» (informant 1 og 2). Dette vil ikke gi informasjon om hvordan det skal evakueres og trafikantene kan dermed ende opp med å evakuere både i bil eller til fots..

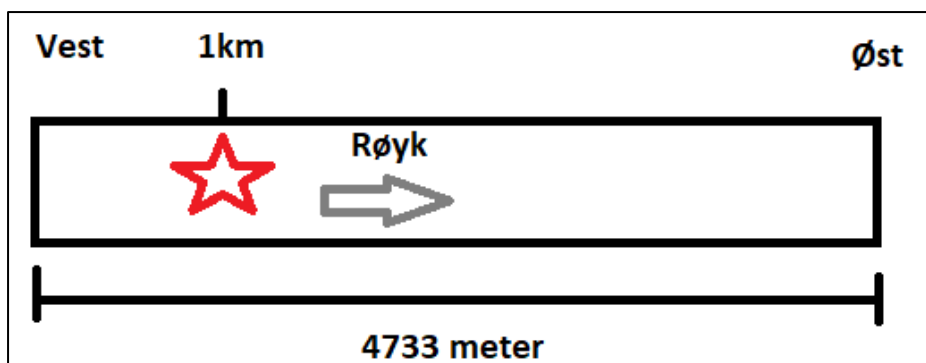
Da hendelsen er oppdaget tidlig vil det være mulighet for bilene i tunnelen å snu og kjøre ut. Tiden det tar for større kjøretøy å snu i en slik situasjon er varierende. Etter en hendelse i Oslofjordtunnelen tok dette opp til 7 minutter. Ved rask reaksjonstid vil dette være mulig i store deler av tunnelen, men noe mer utfordrende rett ved hendelsen.

En annen faktor er føreren til kjøretøyet som utløste brannen. Denne personen er også avhengig av evakuering og har ikke et kjøretøy å benytte. Han vil være avhengig av at enkelte av personbilene kommer nærme hendelsen slik at han kan sitte på med dem ut. Skulle føreren ikke være så heldig må han evakuere til fots. En annen faktor ved en slik situasjon er at føreren ofte vil forsøke å slukke brannen i vogntoget og må ved et tidspunkt gi opp om det ikke lar seg gjøre. Dette er tid føreren kunne benyttet til å evakuere. Evakueringstiden til fots vil være opp mot 1 time og 20 minutter. Personer som må evakuere slik, vil kunne få alvorlige skader av røyken, eller i verstefall ikke komme seg ut av tunnelen i live.

### **5.6.2 Analyse 2**

Velger vi å se på den samme hendelsen i Svtunnelen vil det være en lignende situasjon på vestsiden av hendelsen. Her vil trafikantene ikke bli påvirket av røyken, da den blir dratt andre vegen av ventilasjonen.

På østsiden av hendelsen vil trafikantene, en buss og 5 biler, være utsatt. De har 3,7 km de må bevege seg for å komme til sikkerhet. Dette vil ta 1 time og 2 minutter i omgivelser med røyk. Farten på røyken vurderes til samme som sist 3 m/s og etter bare 5 min og 30 sekunder vil de den første kilometeren av tunnellopet være fullt av røyk.



Figur 8 Illustrasjon av brann i Svtunnelen

### *Bruk av nødstasjon*

Først vil vi se på hvordan hendelsen kunne sett ut om trafikantene valgte å benytte nødtelefon og fjerne brannslukningsapparat. Nødtelefonene vil gi direkte kontakt til VTS hvor det kan opplyses om situasjonen. Fjerning av brannslukningsapparatet vil automatisk igangsette nødbelysning og skur på skilt med informasjon om å snu og kjøre ut (informant 1 og 2). Dette er likt som i Byfjord- og Mastrafjordtunnelen.

### *Ikke bruk av nødstasjon*

Skulle trafikantene ikke benytte nødstasjoner i tunnelen og informere VTS om hendelsen ville det fortsatt være systemer som kan oppdage situasjonen. Svtunnelen er ikke utrustet med radarer slik som Byfjordtunnelen. Tunnelen er derimot utrustet med kameraovervåkning. Hvor mye av kjørebanelen i tunnelen som dekkes av kameraene er usikkert. Dekker ikke kameraene alle punktene i kjørebanelene vil dette gi systemet blindsoner. I denne casen vil vi anta at vogntoget vil bli observert av kameraene. Kameraene vil være i stand til å oppdage situasjonen raskt, likt som radarene. Ved en rask oppdagelse, vil aktiveringen skje i noe samme hastighet som ved Byfjordtunnelen.

VTS oppdager situasjonen fortløpende og evakueringslys og snuskilt aktiveres. Det spilles også av en radiomelding til trafikantene som informerer om brann og at de må evakuere. Trafikantene starter å snu og kjøre mot utgangen.

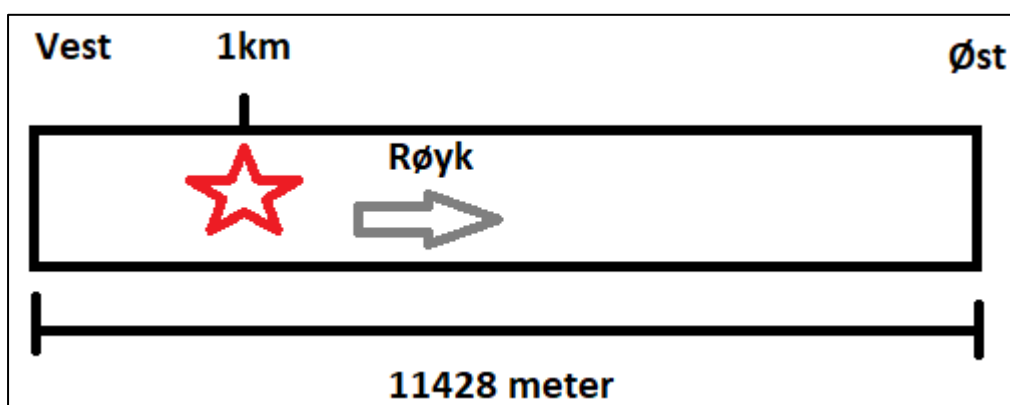
Situasjonen som oppstår, vil være noe lignende situasjonen i analyse 1. Det vil være flere usikre faktorer som påvirker hvordan hendelsen vil ende opp. For eksempel om trafikantene velger å evakuere til fots eller ved bruk av kjøretøy, snumuligheter for den involverte bussen og om noen har mulighet til å plukke opp vogntogføreren.



### 5.6.3 Analyse 3

Samme hendelse i Gudvangatunnelen vil skape en lignende situasjon på vestsiden av tunnelen. Her vil trafikantene ikke bli påvirket av røyken, da den blir dratt andre vegen av ventilasjonen.

På østsiden av hendelsen vil trafikantene, en buss og 5 biler, være utsatt. De har 10 km de må bevege seg for å komme til sikkerhet. Dette vil ta minst 3 timer i omgivelser med røyk. Farten på røyken vurderes til samme som sist 3 m/s og etter bare 5 min og 30 sekunder vil de den første kilometeren av tunneløpet være fullt av røyk.



Figur 9 Illustrasjon av brann i Gudvangatunnelen

#### *Bruk av nødstasjon*

Først vil vi se på hvordan hendelsen kunne sett ut om trafikantene valgte å benytte nødtelefon og fjerne brannslukningsapparat. Nødtelefonene vil gi direkte kontakt til VTS hvor det kan opplyses om situasjonen. Ved bruk av slike systemer bør VTS være i stand til å identifisere hvor i tunnelene hendelsen oppstår.

Tunnelen er ikke utrustet med kamera som kan observere hele tunnelen. Dette gjør at VTS ikke har mulighet til å verifisere hendelsen og få oversikt over hvor den har oppstått. Vogntoget i dette scenarioet har stanset i en av blindsonene til kameraene. Videre vil hendelsen utvikle seg likt som uten bruk av nødstasjon.

Scenarioet er utviklet etter brannen i Gudvangatunnelen 2015, hvor det ble observert en hendelse hvor fjerning av brannslukningsapparat ikke var nok for å starte nødsystemene i tunnelen. I dette tilfellet ble kun ventilasjonen aktivert (SHT, 2016).

#### *Ikke bruk av nødstasjon*

I dette scenarioet vil hendelsen være lik selv om nødstasjonene ikke benyttes, siden nødstasjonene ikke fungerte slik de skulle. VTS oppdager ikke at situasjonen har oppstått og det blir dermed ikke gitt beskjed til tunnelens trafikanter. Trafikantene fortsetter derfor innover

i tunnelen mot ulykkesstedet. Den første bilen som ankommer stedet, velger å ringe nødetatene. Dette blir gjort kort tid etter brannen oppstod.

Samme scenario blir benyttet her med at vogntogføreren benytter seg av brannslukningsapparatet montert i tunnelen og ventilasjonen aktiveres.

Bilene som nå ville kommet kjørende mot hendelsen vil ikke bli gitt noe informasjon om hva de skal gjøre. Dette betyr at flere kan bli sittende i kjøretøyene sine og vente å se hva som skjer. Andre vil velge å snu og kjøre ut. Et annet problem er bussen. Den fikk ikke oversikt over situasjonen raskt nok og fikk ikke snudd før den var omhyllet av røyk. Bussjåføren kontaktet dermed nødetatene og fikk beskjed om at han og passasjerene skulle puste gjennom våte håndkle og vente i bussen. Fører av vogntoget ble han sittende i bussen etter at han ikke kunne slukke brannen. Trafikanten ble sittende i tunnelen i 1,5 time før nødetatene var på stedet.

VTS oppdaget 12.07 at ventilasjonen til tunnelen har blitt skudd på. Snuskilt og radiomelding ble da spilt av. Det ble oppdaget enkelte biler på kamera. Etter mottatt informasjon gjennom radio, snudde disse bilene og kjørte ut. Bussen ble så eneste kjøretøy igjen i tunnelen.

## 5.7 Brann i tankbil

Det er også valgt å se på brann i tankbil. Årsaken til dette er brannen i Skatestraumstunnelen i 2015 hvor det var en tankbil som brant. Under denne hendelsen ble det dannet store mengder røyk og varme noe som gjorde at det ikke var mulig å komme seg inn i tunnelen. Hendelsen utviklet seg fort noe som ga trafikantene begrenset evakueringstid. Under hendelsen i Skatestraumstunnelen hadde trafikantene kun 2 minutter på å evakuere.

Hendelsen startet i et vogntog som kjørte i tunnelen. Vogntoget fraktet 19 000 liter bensin på trekkvognen og 16 500 liter bensin på tilhengeren. Ved midten av tunnelen løsner tilhengeren på tankbilen og krasjet deretter i tunnelveggen. Dette skapte et hull i tanken på tilhengeren, bensin starter å lekke ut i tunnelen og blir etter hvert antent.

### 5.7.1 Analyse 4

Ved brann i en tankbil i Byfjord-/Mastrafjordtunnelen vil radarene sammen med kamera gi VTS rask oversikt. Kameraene som tunnelen er utrustet med gir også gode bilder over situasjonen. Det vil dermed være mulig å skru på evakueringssystemer fortløpende.

Ved hendelsen i Skatestraumtunnelen hadde trafikantene 2 minutter på å komme seg ut etter at brannen startet. Ved rask informasjon til trafikantene vil personbiler ha mulighet til å snu og

komme seg ut, men det vil være vanskeligere for tungtrafikk. Hvis et vogntog blir nødt til å rygge for å komme til en snunisje for så å snu og kjøre ut vil dette kunne ta mye tid. Ved en hendelse i Oslofjordtunnelen tok en slik snuoperasjon 7 minutter. Det ville i dette tilfelle ikke være nok tid og trafikant vil omkomme.

### **5.7.2 Analyse 5**

Svotunnelen har bare kamera som kan observere hendelsen. Det er antatt at det likevel fortsatt gir en rask observasjon, men noe saktere enn ved radar. Responstiden vurderes igjen til å være rask og kunne hjelpe personbiler, men gi større utfordringer for store kjøretøy.

### **5.7.3 Analyse 6**

Hvis hendelsen settes i Gudvangatunnelen og oppstår i en blindsoner slik som ved brann i vogntog vil det være lite trafikkentralen kan gjøre. Ved scenario for brann i vogntog tok det VTS 7 minutter å aktivere sikkerhetssystemene. Dette i en situasjon med bare 2 minutter evakueringsstid etter antennelse vil ikke være tilstrekkelig. Ved en slik hendelse ligger alt ansvaret hos trafikanten. De vil selv måtte observere hendelsen og komme seg ut.

Dette vil være en nokså lik situasjon som ved Skatestraumtunnelen. Da var det også opp til trafikantene å komme seg ut på egen hånd.

## 6 Empiri

### 6.1 Hva er informasjonsbehovet til de ulike aktørene ved brann i tunnel?

Dette forskningsspørsmålet vil se på hvilken informasjon de ulike aktørene har behov for ved brann i tunnel. Forskningsspørsmålet skal sette lys på hvilken informasjon trafikanter har behov for under selve hendelsen, samt fordeler med forkunnskaper om evakuering. Det vil også undersøkes hvilket informasjonsbehov VTS har for å kunne benytte kommunikasjonssystemene, samt hvilke hjelpemidler de benytter til dette.

#### 6.1.1 Trafikanter

Under en hendelse er det trafikantene som står i selve faresituasjonen. De står midt i hendelsen, noe som kan føre til usikkerhet og uro. I en tunnel er det redusert hvilken informasjon man har tilgang på. Tunnelens utforming, lengde og trafikkmengde vil være viktige faktorer for hvilken informasjon trafikantene har mulighet til å motta. Brannhendelser i tunneler eskalerer raskt, noe som gjør at tidlig informasjon er viktig. «Å motta informasjon om å evakuere er den viktigste faktoren for trafikantene» (Zhang et al, 2021, s.1, oversatt).

Informasjonen om å evakuere må nå trafikantene så tidlig som mulig. En av årsakene til at dette er viktig er at brannen i tunnelen danner røyk. Røyken vil være et hinder for trafikanter og gjøre det vanskeligere å evakuere etter som mer tid går. Den er også farlig å puste inn, noe som kan føre til forgiftning. Dette gir trafikantene  $x$  antall minutter med tilgjengelig rømningstid. Dette blir illustrert i kapittel 3.2 om *tilgjengelig rømningstid ved brann*.

En av utfordringene ved å se på informasjonsbehovet til mennesker er at de er ulike. Som vi ser gjennom teorikapittelet, er det flere ulike måter trafikantene kan velge å handle på. For å redusere usikkerheten med disse ulike handlingene er det viktig å gi trafikantene informasjon om hva de skal gjøre, slik at de slipper å ta denne avgjørelsen selv. Dette er også en av grunnene til at det er viktig å gi trafikantene tidlig informasjon om at de må evakuere. Informasjon om hvilke handlinger som skal utføres er vist å være nyttig for igangsetting av rask evakueringen (Nilsson. D., 2009).

For å oppnå rask evakuering har trafikantene behov for informasjon om hendelsen som har oppstått og hva de skal gjøre. Det er hensiktsmessig å vite hvor i tunnelen hendelsen befinner seg slik at de vet hvilken veg de må evakuere (Bjelland. H, 2019).

## *Kunnskap*

En annen faktor som er sentral når man ser på menneskers oppfattelse av en situasjon er deres risikopersepsjon. Hva er deres eksisterende kunnskap om hva de skal gjøre ved evakuering av en tunnel? Forståelse av situasjonen kan være en vesentlig faktor for rask respons. Dette kan vi se fra brannen i Skatestraumstunnelen, hvor trafikantene kun hadde 2 minutter på å evakuere. De forstod raskt hva de skulle gjøre og kom seg raskt ut av tunnelen. Hvis vi sammenligner dette med andre hendelser slik som i Gudvangatunnelen kan vi se det motsatte. Her hadde trafikantene mer tid til evakuering, men flere ble sittende i bilene sine og ventet til det var for sent, fordi de ikke fikk informasjon eller forstod situasjonen.

En annen utfordring med trafikantenes kjennskap til tunnelbranner er deres respekt for tunnelens stengesystem. Det er opp gjennom årene registrert flere hendelser hvor tunneler er stengt på grunn av en pågående hendelse hvor folk velger å kjøre forbi bommen. Ved å se på artikler fra de siste 10 årene er det observert over 30 slike hendelser. VTS mener at rundt 20% av trafikanter velger å ignorere det røde lyset fremfor tunnelen og kjører inn (Jenssen et al, 2023).

### **6.1.2 Operatør**

Som nevnt i teorikapittelet er den første fasen under en brannhendelse varslingstiden. Dette er tiden det tar fra brannen har oppstått til den blir varslet. Under denne tidsperioden er VTS en viktig faktor. Det er nemlig de som styrer alarmsystemene for tunnelen og kan iverksette de ulike systemene som kan gi trafikantene informasjon.

For at VTS skal være i stand til å aktivere systemene er man avhengig av at de får informasjonen de har behov for. De har som oppgave å overvåke og oppdage forholdene i tunnelen, men også verifisere hendelsen. For å kunne gi trafikanter tilstrekkelig informasjon er det viktig at de har et klart bilde over situasjonen.

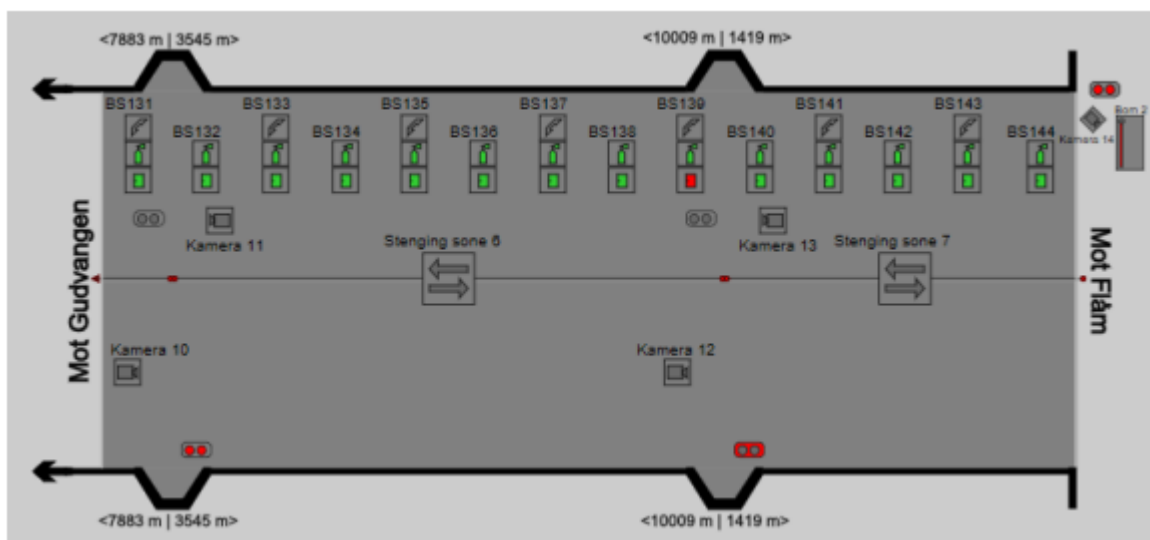
Det har i flere tidligere branner oppstått situasjoner hvor trafikantene har fått manglende informasjon. Bakgrunnen for dette har vært at VTS hadde manglende informasjon om situasjonen og kunne dermed ikke gi trafikantene instruksjoner. Dette ble sett i brannen i Gudvangatunnelen i 2013, da snuskilt ikke ble benyttet. Årsaken til dette var manglende informasjon om hvor i tunnelen brannen hadde oppstått (SHK, 2015). Ved å ikke vite hvor brannen var ble det vanskelig å si hvilke skilt som skulle benyttes, for å unngå feil informasjon. Dette kombinert med at det ikke ble gjort gitt melding over radio gjorde at trafikantene fikk minimalt med informasjon (SHK, 2015).

Ved brannen i Gudvangatunnelen i 2015 var det også manglende informasjon, samt dårlig kommunikasjon mellom operatør og nødetater. I dette tilfellet ble vogntoget stående i en blindsoner til kameraene i tunnelen, noe som gjorde at brannen ikke ble oppdaget med en gang.

Ved situasjoner som dette øker varslingstiden og gir trafikantene mindre tid for evakuering. Ved en brann er det alltid begrenset tid og muligheten for å kunne snu er viktige for å kunne evakuere raskt og enkelt. Disse mulighetene reduseres drastisk etter hvert som tiden går på grunn av at det dannes mer røyk i tunnelen. Dette er kritisk spesielt for større kjøretøy hvor snuoperasjoner er mer krevende. Det er derfor viktig å redusere varslingstiden og unngå slike feil.

### *Vegvokteren*

I dag benytter VTS et system med navn vegvokteren for å overvåke flere av tunnelene i Norge. Systemet benyttes for både drift, overvåkning og til å styre ulike anlegg. Det benyttes til å styre informasjonstavler og skilt, detektorer for luftkvalitet, vindforhold og trafikale hendelser. Det benyttes også til å styre objekter slik som veibommer og røde varsellys. Systemet er eid av SVV og har vært utviklet av Trafsys siden 1998/99 (SVV, 2018c).



Figur 10 Operatøren si oversikt over Gudvangatunnelen gjennom Vegvokteren (SHK, 2020)

Systemet gir en grafisk oversikt over tunnelen som vist på Figur 10. Denne oversikten gir VTS informasjon om hvor i tunnelen hendelsen har oppstått. Dette kan være ved å se på hvilke elementer som er endret fra grønn til rød. For eksempel når brannslukningsapparatet fjernes fra beholderen sin og viser et rødt lys, slik Figur 10 illustrerer. Dette kan også være at kamera oppdager noe og aktiveres, og gir informasjon om hvor hendelsen foregår.

Systemet benyttes også for å koble alle systemene sammen slik at de kan gi hverandre informasjon. Enkelte systemer blir satt til å automatisk starte om systemet oppdager en hendelse. Dette kan være automatisk start av ventilasjon eller variable skilt (SHK, 2020). Det vil også være mulig å automatisk stenge tunnelen, slik at man unngår at flere trafikanter kommer inn i tunnelen.

En annen nyttig funksjon ved systemet er at det logger alle handlinger som blir utført (SHK, 2020). Dette kan benyttes ved analyse i etterkant av en hendelse. Det gis nøyaktige tidsstempel på når de ulike handlingene ble utført.

### **6.1.3 Nødetater**

Nødetatene som har behov for informasjon om tunnelbrannen, er i første omgang brannvesenet. Hovedoppgavene deres er å slukke brannen og hjelpe trafikanter som enda er i tunnelen med evakuering. For å kunne utføre disse oppgavene vil det være nødvendig med informasjon om hvor i tunnelen hendelsen har oppstått, vite om det enda befinner seg trafikanter i tunnelen og hvor mange (Bjelland. H, 2019).

### **6.1.4 Oppsummering**

Ved oppstart av en brann er det VTS som er ansvarlige for varsling av hendelsen. Det kan oppstå flere ulike hendelser i en tunnel som ikke nødvendigvis er alvorlige. VTS må dermed verifisere hendelsen før de igangsetter nødsystemene til tunnelen. De har behov for systemer som er i stand til å gi dem nok informasjon slik at de kan verifisere at det brenner for så å gi denne informasjonen videre. De trenger informasjon om hvor i tunnelen hendelsen har oppstått, slik at de ikke feilinformerer trafikanter og sender dem mot brannen/hendelsen.

Informasjonsbehovet til trafikantene er tidssensitivt. De har behov for informasjon om hendelsen som har oppstått, samt hva som er forventet at de gjør. Situasjonen eskalerer raskt og det dannes røyk. Evakuering er mest effektiv om den kan utføres før røyken fyller tunnelen, slik at man har mulighet til å benytte syn. For å kunne opprettholde mulighet for selvredning vil det som et minimum være nødvendig med systemer som kan dekke dette behovet. Tunnelen må være utrustet med systemer som er i stand til å nå alle trafikanter uavhengig av deres forståelse av situasjonen.

Å øke trafikantenes risikopersepsjon når det kommer til tunnelsikkerhet vil derimot også være hensiktsmessig. Dette for å kunne øke deres responstid, samt at de benytter systemer som er tilgjengelige. Dagens kjøreopplæring burde ha krav om mer informasjon rundt tunnelsikkerhet, og som et minimum gi trafikanter en forståelse for punktene i 2.4.6. Dette vil kunne øke nyere

trafikanter forståelse, men ikke nødvendigvis eldre. Det vil derfor også kunne være hensiktsmessig å benytte kampanjer av ulike slag for å gi alle trafikanter nødvendig kunnskap.

For at brannvesenet skal kunne utføre sine oppgaver vil de ha behov for informasjon om hvor i tunnelen brannen har oppstått og om det befinner seg folk i tunnelen.

## 6.2 Hvilke muligheter har vi for kommunikasjon i vegtunneler i dag?

Dette forskningsspørsmålet vil se på hvilke muligheter vi har for sanntidskommunikasjons i vegtunneler i dag. Dette er noe som stadig er under endring, da teknologien er under utvikling. Det vil være hensiktsmessig å få en oversikt over state-of-the-art, med andre ord, hvilke systemer som er de siste og beste innen området (NAOB, u.å). Dette vil hjelpe med å få en forståelse av de ulike systemene og hvilke hendelser de er nyttige ved.

### 6.2.1 Kjørefeltsignal

#### *Oppgave*

Kjørefeltsignal er ofte en del av nasjonale retningslinjer for trafikkinstruksjoner. Disse signalene informerer trafikanter om hvilke felt de kan benytte. Dette blir illustrert ved: rødt kryss for stengt kjørebane, grønn pil for ledig kjørebane og blinkende gul pil for å indikere at felt stenges. Disse skiltene informerer om at trafikantene må bytte kjørefelt, eller stanse om ingen av feltene er ledige. Disse signalene kan benyttes sammen med veggmonterte trafikkllys.

#### *Kort beskrivelse*

Kjørefeltsignal er LED lyspanel montert over de ulike kjørebanene i en tunnel. LED panelene illustrerer et rødt kryss, grønn pil eller en gul pil. Signalene vil plasseres med jevne mellomrom, optimalt slik at man alltid kan se 2 sett med signal samtidig. Den gule pilen skal benyttes ved overgang fra grønn pil til rødt kryss. Hvis et felt stenges burde det stenges gjennom hele tunnelen, og helst litt før. Dette for å unngå unødvendig feltskifte i tunnelen og danne uønsket kø.

#### *Ønsket effekt*

Signalene gir trafikanter i tunnelen informasjon om hvilke felt som kan benyttes, om de må bytte felt eller kan bli værende. De kan være nyttige ved ulykker, hvor man da kan lede trafikken bort i fra feltet hvor ulykken har oppstått. Dette gjør det tryggere for nødetater eller andre tunnelarbeidere å gjøre jobben sin (PIARC, 2016, s. 17-18).



Tabell 7 Bruksområde og effekt av kjørefeltsignal (PIARC, 2016, s. 18-19).

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse	X (hvis nødvendig)		medium
Motorstans	X (hvis nødvendig)		medium
Kollisjon	X (hvis nødvendig)		medium
Brann (evakuering)		X	



Figur 11 Illustrasjon av kjørefeltsignal (SVV, 2017)

## 6.2.2 Variable trafikkskilt

### Oppgave

Hensikten med variable trafikkskilt (VMS) er å gi trafikanter skriftlig informasjon mens de kjører gjennom tunnelen. Dette kan også være gjennom symboler eller piktogram. Dette kan for eksempel være gjennom faresymboler, endring av fartsgrense, forbikjøring forbudt, osv.

### Kort beskrivelse

VMS viser en eller flere linjer med digital tekst på et montert panel over kjørebanelen. Skiltene kan variere i størrelse alt etter tunnelens størrelse og vil da igjen påvirke størrelse på teksten.

### Ønsket effekt

Målet ved å benytte variable trafikkskilt er å kunne gi trafikanter detaljert informasjon om kommende trafikk eller ulykker. Dette er noe de er effektive til.

En av fordelene med VMS er at man kan endre meldingen etter hvilken ulykke som oppstår og hvordan ulykken utvikler seg. Det er også viktig at meldingen som blir gitt er direkte, enkel å forstå og gir informasjon om å for eksempel evakuere (PIARC, 2016, s. 21).

Tabell 8 Bruksområde og effekt av variable skilt (PIARC, 2016, s. 22)

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse	X		Høy
Motorstans eller mindre ulykker	X		Høy
Kollisjon	X		Høy
Brann (evakuering)	X		Høy



Figur 12 Illustrasjon av variabelt skilt (SVV, 2020)

### 6.2.3 Radiomelding (FM eller DAB)

Å kunne sende meldinger over radio er et av kravene EU har satt til alle tunneler på Europaveger. Tunneler «hvor det er et kontrollsenter, må det være mulig å bryte inn på radiokanaler til tunnelbrukerne for å kunne gi nødmeldinger» (oversatt PIARC, 2016, s. 22).

#### Oppgave

Hovedoppgavene til radiomeldinger er:

- I vanlige situasjoner, å informere trafikanter om tunnelens sikkerhetssystemer og hvilke handlinger man skal ta ved kriser;
- Ved mindre ulykker, informere om hvordan man skal handle;
- Ved større ulykker, gi informasjon om situasjonen, gi instruksjoner til hva som må gjøres og gi informasjon om å evakuere (PIARC, 2016, s. 22).

### *Kort beskrivelse*

Radiomeldinger i tunnel bryter inn på et sett med radiokanaler som sendes i tunnelen. Det er montert spesielle kabler gjennom tunnelen, som gjør det mulig for trafikantene å få radiosignal. Når en operatør velger å benytte radiomelding under en ulykke, vil radiokanalens sending bli erstattet med meldinger fra operatøren. Dette kan være i form av forhåndsinnspilte meldinger, direkte melding eller andre former for nødvarsling. (PIARC, 2016, s. 23).

### *Ønsket effekt*

Dette systemets funksjonalitet er kun for å gi nødvarsling til trafikanter. Det vil ikke være mulig å benytte systemet for å gi arbeidere i tunnelen informasjon. Systemet benyttes for å gi detaljert informasjon til trafikantene på en enkel og klar måte. En stor andel av trafikanter vil med denne informasjonen starte evakuering. Dette gjelder spesielt hvis systemet er kombinert med andre systemer, slik som variable trafikkskilt.

Dette systemet er sammen med variable trafikkskilt et av de mer effektive systemene ved krisesituasjoner i tunneler. Trafikantene vil kunne få mer detaljert informasjon enn ved andre systemer, med instruksjoner for hvordan evakuering burde utføres. Meldingen bør være kort, enkel å forstå og med et autoritært tonefall.

Systemet benyttes derimot ofte med generelle meldinger for at det skal kunne være gjeldene for hele tunnelen. Dette vil gi mindre effekt, men fortsatt høy. Systemet er også avhengig av at trafikantene tar det i bruk. Systemet vil ha høy effektivitet, men vil ta med seg en form for usikkerhet da trafikantene selv må ha kunnskap om at de skal skru på radioen for å få informasjon.

*Tabell 9 Bruksområde og effekt av radio melding*

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse	X		Høy
Motorstans eller mindre ulykker	X		Høy
Kollisjon	X		Høy
Brann (evakuering)	X		Høy



Figur 13 Radio bruk i tunnel (Gustavsen, 2016)



Figur 14 Radio skilt utenfor tunnel (NRK Publikumsservice, 2016)

## 6.2.4 Mobiltelefoner

### *Oppgave*

Mobiltelefoner kan benyttes av trafikantene for å ringe nødetater ved ulykker i tunneler.

Et annet system er ved å sende ut nødvarslingsmelding på melding til trafikantene. Enkelte mobiloperatører tillater nødetater å sende ut nødmeldinger til alle mobiler knyttet til samme telefonmast. Tunneler er ofte utstyrt med egen mast, da vanlig dekning ikke rekker inn i tunnelen. Dette fører til at kun trafikantene i tunnelen får varslingen.

### *Kort beskrivelse*

Muligheten for bruk av et slik system vil være avhengig av hvordan tunnelen er designet etter dekning for mobiltelefoner. Mindre tunneler har ofte ikke behov for ekstra dekning, men lengre tunneler vil. Det må da installeres egne master eller andre løsninger for å kunne opprettholde dekning i tunnelen.

En ulempe med varsel på SMS er at det i utgangspunktet ikke er lov å lese meldinger når en kjører. Dette gjør at det vil være vanskelig å registrere informasjonen før det er for sent. .

### *Ønsket effekt*

Det blir mer og mer vanlig at trafikanter benytter mobiltelefoner for å kontakte nødetater istedenfor å benytte telefoner montert i tunnelen. Fordelen med å benytte de montert telefonene er at man kommer direkte til tunnelens operatør, som får informasjon om hvilken tunnel man befinner seg i, samt hvor i tunnelen. Denne informasjon får de ikke når mobiltelefon benyttes. Det kan derfor være hensiktsmessig at tunnelen utstyres med store numeriske skilt slik at trafikantene kan informere om lokasjon.

Det vil være vanskelig for en trafikant å gi operatøren et klart bilde av situasjonen og det vil derfor være mer gunstig å gi trafikanten instruksjoner, ikke be om for mye informasjon. En annen ulempe ved å benytte mobiltelefon fremfor tunnelens nødtelefoner er at det vil ta lenger tid før tunneloperatøren får informasjon.

Trafikantene vil ringe nødtelefonene som deretter må kontakte tunnelens operatører. Flere av de ulike tekniske systemene vil ikke være nyttige før operatøren skruer dem på. Fordelen med å ringe nødtelefon direkte er at deres responstid vil være raskere. Samtidig kan det ta trafikanten mer tid å komme seg ut av bilen og finne en nødtelefon fremfor å benytte sin egen. (PIARC, 2016, s. 25).

Tabell 10 Bruksområde og effekt ved bruk av mobiltelefoner (PIARC, 2016, s. 25-6).

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse		X	
Motorstans eller mindre ulykker	X		Høy
Kollisjon	X		Høy
Brann (evakuering)	X		medium

Effekten av mobiltelefoner er høy når det oppstår ulykker i tunneler. Fordelen med dagens teknologi er at det finnes andre systemer som også informerer. Ved hjelp av AID og videoovervåkning vil operatørene allerede vite om hendelsen. Mobiltelefoner vil derfor være mest effektive i tunneler uten slike system (PIARC, 2016, s. 26).

### 6.2.5 Tunnel stengesystem

#### Oppgave

Hovedoppgaven til tunnelens stengesystem er å advare trafikanter om at tunnelen er stengt, slik at de ikke går inn i tunnelen. Stengingen kan være planlagt ved vedlikehold eller ikke planlagt ved ulykker.

Avhengig av situasjonen vil systemet ha en eller flere oppgaver:

- Hindre trafikanter å kjøre inn i tunnelen;
- Hindre tunnelens trafikanter å kjøre lenger inn i tunnelen, ved for eksempel brann;
- Lage plass for nødtelefoner og/eller evakuerende trafikanter (PIARC, 2016, s. 26)..

### *Kort beskrivelse*

Systemet består i de fleste tilfeller av en bom og tilhørende lys. Da bommen er en fysisk gjenstand bør den kombineres med lys slik at den er enkel å observere for trafikanten. Bommen vil ofte dekke et felt, slik at det stanser kommende trafikk, men gjør det mulig for nødetater å passere om nødvendig samtidig som motsatt retning kan kjøre ut av tunnelen.

### *Planlagt stenging*

Ved planlagt stenging vil det være hensiktsmessig å benytte flere varselskilt som blir plassert i god tid før tunnelen. Dette kan være i form av fartsreduksjon, alternativ kjøreretning, osv.

### *Nødstenging*

Ved nødstenging av tunnel vil det ikke være tid til å informere kommende trafikanter i god tid, og det viktigste vil være å stenge tunnelen så fort som mulig (PIARC, 2016, s. 27).

Ved lengre tunneler vil systemet informere trafikanter som allerede befinner seg i tunnelen om at tunnelen er stengt og at de ikke burde fortsette inn i tunnelen. Dette kan være ved hjelp av røde kryss fra kjørefeltsignalene, samt informasjon fra variable trafikkskilt. Skiltene burde gi informasjon om situasjonen og hva som skal gjøres. Det kan også være bomber i tunnelen som fysiske barrierer, men må da også ha tilkoblede lys slik at de er lett synlige.

Ved ulykker i tunneler med to løp skal begge løpene stenges ved alvorlige hendelser. Løpet uten ulykke må bare stanses ved portalen slik at trafikantene som befinner seg i tunnelen kan komme seg ut. Dette gjør at det vil være klar bane for nødetater å komme seg trygt inn i tunnelen slik at de kan hjelpe de evakuerende.

Ved ettløpstunneler er det viktig at kun trafikantene som kjører mot ulykken blir stanset. Det er dermed viktig at trafikantene med klar kjørebane ikke blir informert om å stanse, men at de fortsetter «uforstyrret» ut av tunnelen.

### *Ønsket effekt*

Effekten av slike stengesystem er høyt, da det informerer trafikanter om at situasjonen ikke er normal og øker fokuset deres (PIARC, 2016, s. 28).

Systemet er essensielt, da uten stengingen ville det kunne kommet flere trafikanter inn i tunnelen, noe som ville gjøre en allerede dårlig situasjon dårligere. Bruken av bomber inni tunnelen kan også være effektivt, da det vil være med å redusere reaksjonstiden til trafikantene.

Tabell 11 Bruksområde og effekt av stengsystem (PIARC, 2016, s. 28).

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse	X (avhengig av situasjon, og normalt uten bom)		Høy
Motorstans eller mindre ulykker	X (avhengig av utvikling)		Høy
Kollisjon	X		Høy
Brann (evakuering)	X		Høy



Figur 15 Illustrasjon av trafikklys (Seglsten, 2019)

## 6.2.6 Høytaleranlegg (PA-system)

### Oppgave

Hovedoppgaven til et høytaleranlegg i tunnel er:

- Gi informasjon til trafikanter i tunnelen når trafikken er stanset. Burde også informere om årsak til stans;
- Gi informasjon til trafikanter som har motorstans, om at hjelp er på vei og om at de bør bevege seg til et tryggere område;
- Gi informasjon til alle trafikanter om å evakuere (PIARC, 2016, s. 29).

### Kort beskrivelse

Tunnelens operatør kan sende ut informasjon til trafikanter, enten gjennom forhåndsinnspilte meldinger eller direkte meldinger. Systemet må være designet slik at meldingen er forståelig og ikke blir forstyrret av andre systemer i tunnelen.



### Ønsket effekt

Effekten av et høyttaleranlegg i tunnel vil være varierende. Det vil ofte være krevende å gi forståelig informasjon på grunn av tunnelens utforming og andre systemer som ventilasjon. Dette er noe som jobbes med å forbedre og det finnes enkelte høyttalere designet spesifikt for tunneler. Eldre PA-system vil ikke ha noe effekt når ventilasjonen er på og burde ikke benyttes ved bruk av alarm. Alarm blir videre utdypet i kapittel 6.2.10. Det vil være mulig å kombinere sirenen med meldingen høyttaleren gir. Dette ved å rullere dem, slik at kun en er på om gangen.

Når systemet er designet korrekt vil det være like effektivt som radiomeldinger, men fordelene er at anlegget ikke er begrenset til inni kjøretøyene. Bruk av språk og stemmetyper vil være likt som ved radiomeldinger (PIARC, 2016, s. 29).

Tabell 12 Bruksområde og effektivitet av høyttaleranlegg i tunnel (PIARC, 2016, s. 29-30)

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse		X	
Motorstans eller mindre ulykker	Av og til	X	
Kollisjon	X		medium
Brann (evakuering)	X		medium



Figur 16 Illustrasjon av høyttaleranlegg i tunnel (PIARC, 2016, s. 30)



## 6.2.7 Ledelys langs veggen

### Oppgave

Hovedoppgaven til ledelys er (PIARC, 2016, s. 30):

- Gi god nok belysning for trafikanter som beveger seg til fots langs tunnellopet. Dette da hovedsakelig fra kjøretøyene sine til nødutganger, ved evakuering.
- Øke hastigheten på evakuering.
- Vise hvilken retning nærmeste nødutgang befinner seg i og hvilken side av løpet.

### Kort beskrivelse

Ledelys er lyskilder plassert langs løpet av tunnelen, som gir nok lys for å komme seg til nødutgangene. Dette er i de fleste tilfeller ekstra lys som kun blir benyttet ved evakueringsscenario. Lysene er ofte plassert lavt på veggen og peker mot nærmeste nødutgang.

Noen tunneler benytter lignende lys kalt «marker lights». Disse lysene er på konstant, men har fortsatt funksjonen av å lede trafikanter til nødutganger. De vil også være en hjelp for kjørende trafikk i vanlige tilstander. Belysningstypene kan også kombineres.

### Ønsket effekt

Ledelys gir trafikanter en visuell representasjon langs tunnellopet. Det gir ikke direkte informasjon om at de skal evakuere, men vil øke hastigheten på evakueringen når den starter. Det bør benyttes skilt som illustrerer avstand til nødutganger og retning i kombinasjon med lysene. Disse vil da være komplementære, da lysene gir trafikantene en trygg veg de kan følge og skiltene gir trafikantene informasjon om at de beveger seg i rett retning (PIARC, 2016, s. 31).

Tabell 13 Bruksområde og effekt av ledelys (PIARC, 2016, s. 31)

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse		X	
Motorstans eller mindre ulykker		X	
Kollisjon	Kun ved evakuering	X	
Brann (evakuering)	X		Høy

Effekten av lysene er høy, da det er enkelt for trafikantene å forstå lysenes betydning, og det dekker behovet for å vise veg til nødutganger.



Figur 17 Illustrasjon av evakueringslys (Amundsen, 2021)

## 6.2.8 Nødtelefoner

### Oppgave

Hovedoppgaven til nødtelefoner er:

- Gi mulighet for kommunikasjon mellom trafikant og tunneloperatør.
- Gi mulighet for kommunikasjon mellom trafikanter i evakueringsrom og tunneloperatør.

### Kort beskrivelse

Nødtelefoner fungerer på samme måte som en mobiltelefon, men er koblet direkte til tunneloperatøren. De er ikke utstyrt med noe form for tastatur, da de kun skal fungere mellom tunneloperatør og trafikant. Enkelte nødtelefoner benytter «hands-free» (ikke behov for å holde en fysisk telefon) og vil bli aktivert ved å trykke på en knapp. Det vil da spilles en forhåndsinnspilt melding om at trafikantene vil få hjelp. Det vil da dannes en direkte kommunikasjon mellom trafikant og operatør. Slike telefoner plasseres med jevne mellomrom gjennom tunnelen. Enkelte nødtelefoner er utstyrt med flere ulike knapper etter hvilken type hendelse som har oppstått. (PIARC, 2016, s. 31-32).

### Ønsket effekt

Jevnt plasserte nødtelefoner i tunneler er vanlig å benytte for å gi mulighet for varsling av hendelser. Ved nødrommer i tunnelen skal det være belyste skilt, som viser hvor nødtelefonen

befinner seg. Dette systemet er ved flere hendelser første leddet som varslet tunneloperatør ved en krisehendelse.

Nødtelefonene vil redusere responstiden i de fleste situasjoner. Ved mindre ulykker kan det gis informasjon som navn, registreringsnummer, forsikringsnummer, samt gi trafikant informasjon om hva den skal gjøre. Ved mer alvorlige hendelser som brann, vil slik kommunikasjon være vanskeligere. Det vil være vanskelig for trafikanten å gi tilstrekkelig informasjon om situasjonen over telefonen. Her vil operatørene være mer avhengig av andre systemer som CCTV og andre sensorer i tunnelen.

Nødtelefoner kan også plasseres langs evakueringsruter. Dette kan være etter de har kommet seg til sikkerhet eller på vegen dit. Årsaken til dette er for at trafikanten kan få instruksjoner underveis om noe er uklart (PIARC, 2016, s. 32).

Tabell 14 Bruksområde og effekt av nødtelefoner (PIARC, 2016, s. 32)

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse		X	
Motorstans eller mindre ulykker	X		Høy
Kollisjon	X		Høy
Brann (evakuering)	X		Høy

Effekten av nødtelefoner er høy når en trafikant rapporterer en hendelse til tunneloperatør og de så kan gi trafikanten nødvendig informasjon.



Figur 18 Illustrasjon av nødstasjon med nødtelefon (Catena, 2017, s. 8)

## 6.2.9 Blinkende lys ved nødutgang

### *Oppgave*

Hovedoppgaven til blinkende lys ved nødutgang er å indikere endring i situasjoner og gi trafikanter visuell informasjon om hvor nødutganger befinner seg. De vil også informere trafikanter om hvor det er gunstig å evakuere.

### *Kort beskrivelse*

Systemet består av et sett med lys rundt nødutgangene som ved behov for evakuering blinker. Lysene kombineres ofte med andre statiske lys også rundt nødutgangene for å øke synligheten deres.

### *Ønsket effekt*

Effekten av systemet ligger som nevnt i å lede trafikantene til nødutgangene. Når trafikantene har bestemt seg for å evakuere vil de starte å lete etter utveier. Da er det viktig at det ikke tar lang tid før de begynner å bevege seg. Lysene burde dermed alltid være mulige å se, uansett situasjon i tunnelen. Lysene ved korrekt utforming og intensitet, vil være et effektivt verktøy for de evakuerende. Det vil også være hensiktsmessig å kombinere systemet med statiske skilt som illustrerer avstand til nødutgangene, for å gi bekreftelse på at man beveger seg i rett retning.

Det vil være begrenset hvor effektivt systemet er i hendelser med røyk, men blinkende lys er vist å ha høy ytelsesgrad i brannsituasjoner (PIARC, 2016, s. 34-35).

*Tabell 15 Bruksområde og effekt av blinkende lys ved nødutganger (PIARC, 2016, s. 35)*

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse		X	
Motorstans eller mindre ulykker		X	
Kollisjon	(ved evakuering)	X	
Brann (evakuering)	X		Høy



Figur 19 Illustrasjon av blinkende lys ved nødutgang (PIARC, 2016, s. 35).

### **6.2.10 Sirener (alarm)**

#### *Oppgave*

Hovedoppgavene til sirener er å informere trafikanter om at det har oppstått en situasjon og at de er i fare. Systemet kan også benyttes for å indikere at trafikanten burde bevege seg ut av eget kjøretøy. Systemet fungerer likt som vanlige brannvarslingssystem og er enkelt å forstå for folk flest.

#### *Kort beskrivelse*

Systemet består av spesifikke høyttalersystemer som sender ut et brannvarslingssignal i hele tunnelen. Dette gjøres i form av lyd og ikke andre meldinger.

#### *Ønsket effekt*

Etter utførte tester er det vist at trafikanten ikke forlater egne kjøretøy med en gang de hører en slik varslingslyd. De velger heller å se seg rundt til de selv avgjør om situasjonen er farlig. Testen viser til at folk oppfatter signalet som et tegn på fare, noe som gjør at de blir mer bevisste og ser etter faren (PIARC, 2016, s. 36).

Systemet er effektivt for å øke bevisstheten til trafikantene ved starten av evakuering. Ulempen er at det bare er medium effekt på å faktisk starte selve evakueringen.

Tabell 16 Bruksområde og effekt av sirener (PIARC, 2016, s. 36).

Bruksområde	Ja	Nei	Effektivitet
Kødannelse		X	
Motorstans eller mindre ulykker		X	
Kollisjon	(ved evakuering)	X	
Brann (evakuering)	X		medium

### 6.2.11 Oppsummering

Effekten av de ulike systemene er samlet i *tabell 18* og de ulike effektene er illustrert ved ulike fargekoder. De ulike fargekodene kan ses i *tabell 17*.

Tabell 17 Fargekoder for tabell 18

Effekt av system	Høy	Medium	Lav
------------------	-----	--------	-----

Tabell 18 oppsummerer de ulike effektene ved ulike situasjoner for de ulike systemene. Her er det også valgt å ta med hvordan systemene fungerer under vanlige situasjoner, selv om dette ikke var nevnt tidligere (PIARC, 2016, s. 44). Dette er inkludert for å gi et bredere bilde, men ikke inkludert i teksten da det ikke gjelder de fleste systemene.

Tabell 18 Oppsummering av ulike systemer effekt (PIARC, 2016, s. 44)

System	Situasjon				
	Normal situasjon	Kødannelse	Motorstans eller mindre ulykker	Kollisjon	Brann (evakuering)
Trafikklys	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
Kjørefeltsignal	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei
Variabelt trafikkskilt	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
Radiomelding	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
Mobiltelefoner	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja
Tunnel stengesystem	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
Høytaleranlegg	Nei	Nei	Av og til	Ja	Ja
Evakueringslys	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
Nødtelefon	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja
Blinkende lys mot nødutgang	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
Blinkende lys ved nødutgang	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
Sirener (alarm)	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja

### 6.3 Hvilke muligheter har vi for fremtidig utvikling av kommunikasjonssystemer?

Dette forskningsspørsmålet vil se på muligheter for fremtidige kommunikasjonssystemer og muligheter til forbedring av dagens systemer. Dette gjelder systemer som har som formål å gi trafikanter informasjon, samt systemer som skal gi VTS informasjon.

#### 6.3.1 Fremtidige muligheter for kommunikasjon til trafikanter

##### *PA-system*

Utvikling av PA-systemer designet spesifikt for tunneler og deres omgivelser vil kunne ha en stor effekt på fremtiden innen tunnelsikkerhet. Dette er det flere som mener innen sektoren og for å oppnå dette lyste SVV tidligere ut en offentlig konkurranse for å utvikle en innovativ løsning som kunne gi trafikanter i tunneler informasjonen de har behov for under evakuering. Konkurransen var ikke direkte knyttet til PA-system, men det ble satt flere krav som pekte i den retningen.

Konkurransen gikk ut på å utvikle et system som var i stand til å oppdage hendelser, samt hvor i tunnelen hendelsen befant seg. Det skulle også være i stand til å gi trafikanter en situasjonsforståelse av hendelsen, samt hvilke tiltak som skulle utføres. Denne informasjonen skulle kunne nå alle trafikantene uavhengig av hvor i tunnelen de befant seg. Løsningen skulle operere i sann-tid, være fullstendig autonom, teknologisk robust og fungere sammen med allerede installerte systemer i tunnelene. En annen utfordring var at systemet skulle kunne håndtere ulike personers reaksjonsmønstre.

Evacsound var systemet som ble valgt å gå videre med. Dette er et evakueringsystem som utarbeides av Trafsys i samarbeid med SVV. Systemet er et lyd- og lysbasert kommunikasjonssystem som benytter moderne løsninger for å danne et lydfelt gjennom en tunnel. Dette lydfeltet skal være kontrollerbart og dannes av flere høyttalere spredt gjennom hele tunnelen. Hver høyttaler har innebygde noder som gir systemet autonom databehandlingskraft. Ved hjelp av denne kraften er systemet i stand til selvkalibrering slik at det kan kompensere for eventuelle endringer i lydshastigheten. I tillegg til høyttalerfunksjonen vil systemet også ha innebygd branndeteksjon og brannlokasjonssystemer. Systemet benytter også visuelle hjelpemidler for å informere om evakueringsretning. Hver av høyttalerne vil være sin egen enhet og vil ikke være avhengige av de andre. Dette gjør at man unngår at hele systemet settes ut av drift om det skulle oppstå en feil. Tidligere system benytter ofte et analogt kablingssystem som er koblet til en prosesseringsenhet. Her var det mulighet for at hele systemet ble satt ut av spill om en av kablene ble skadet.



Systemet vil kunne benyttes slik som radiosambandet benyttes i dag og vil kunne gi trafikanter informasjon ved bruk av talebaserte meldinger. Den vil også være i stand til å benytte psykoakustiske effekter for å lede trafikanter i situasjoner hvor synet er redusert.

Systemet har gjennomgått en test i Runehamartunnelen som er SVV sin egen forskningstunnel. Det ble installert 10 høyttalere på en total avstand på 250 meter. Tunnelen ble så fylt av røyk for å simulere en ekte hendelse. Her ble det oppdaget noen mindre feil med systemet, slik som manglende funksjonalitet rundt toveiskommunikasjon. Det var også noen problemer rundt detektering av brannen og igangsetting av evakueringen. (Statens vegvesen, 2020c).

### *Illuminerende håndløper*

Et annet nyere produkt kombinerer tunnelens langsgående belysning med en håndløper. Denne håndløperen fungerer som en langsgående list som trafikanter kan holde seg i under evakuering, samtidig som den gir belysning. Å ha noe å holde seg i ved en brannsituasjon vil være nyttig for trafikanter. Dette da ulike sanser vil kunne bli svekket av røyk.

I jernbanesektoren er det allerede blitt satt krav om å benytte slike systemer i deres tunneler. Det skal monteres 14000 meter med håndløpere i Drammenstunnelen i løpet av 2023. Løsningen har derimot enda ikke kommet seg til vegsektoren. Det er foreløpig kun krav om langsgående belysning, men ikke at den skal kunne benyttes som håndløper. En av årsakene til dette kan komme av at det er et relativt nytt produkt og det tar tid før det kommer inn i SVV sine håndbøker (Røhr-Staff. M. 2022).

### 6.3.2 Fremtidige muligheter for kommunikasjon til VTS

#### *DSS*

Tunnelsikkerhet er avhengige av 3 hovedfaktorer: tunnelens utforming, tunnelens styring og nødresponen. Sikkerhet langs dagens veger er basert på en mer tradisjonell metode, avhengig av tunnelens utforming, risiko- og beredskapsplaner. Disse metodene hjelper til å forhindre ulykker fra å oppstå, men vil ha redusert effekt når hendelsen oppstår. Beredskapsplanen vil være nyttig for å kunne øke effekten av nødresponen, men gir ofte protokoller tunneloperatøren skal følge som ikke nødvendigvis dekker alle mulige situasjoner (Alvear et al, 2012). For at tunneloperatøren skal kunne utføre sin jobb på best mulig måte kan en fremtidig løsning være utviklingen av et *decision support system* (DSS).

Fordelen med å benytte DSS for å håndtere risiko i komplekse situasjoner er ikke nytt innenfor samfunnssikkerhet (Yoon et al., 2008; Yu, 2011; referert fra Alvear et al, 2012). Systemet benyttes for å analysere pågående situasjon og gir informasjon om hvordan man bør håndtere hendelsen. Dette gjøres i sanntid og det kan bli gitt informasjon om nødvendig rømningstid, samt hvor lang tid det tar før nødetatene er på plass (Alvear et al, 2012). Dette er et system som vil kunne hjelpe VTS å samle informasjonen fra ulike kommunikasjonssystemer og raskt informere trafikanter om hva som vil være best måte å evakuere på.

De siste årene har det vært en stor utvikling innen flere områder når det kommer til kunstig intelligens (AI). Dette kombinert med en økt mulighet for prosesseringskraft fra dagens datamaskiner, gir nye muligheter for slike DSS (Khademi et al, 2023). Et slikt system er enda ikke utviklet da mye av teknologien som kan gjøre dette mulig er relativt ny. Det er utarbeidet en modell av Khademi (2023) som illustrerer et konsept for hvordan et slikt system kan settes opp.

#### *Lokalisering av trafikanter ved bruk av wifi*

Et annet system som undersøkes er å benytte trafikanter sine mobiltelefoner som noder som gir informasjon om hvor de befinner seg i tunnelen. I dagens samfunn har store deler av befolkningen ofte med seg mobiltelefonen sin. Å kunne ta nytte av dette og benytte det til å ha oversikt over hvor folk befinner seg i tunnelen kan være et nyttig verktøy for operatørene.

Testene utført på dette systemet ble utført i Sverige. Systemet som ble testet fungerer slik at ulike wifi noder er plassert gjennom tunnelen og sender ut signal til trafikantenes mobiltelefoner. Nodene vil være i stand til å samle informasjon om plassering uten å koble seg til telefonene. Dette gjøres ved at de stadig sender ut informasjon til telefonene om at det er

mulig å koble seg til nettet, men har ikke behov for en faktisk tilkobling. Systemet er ikke nøyaktig, men er målt til å ha et avvik på rundt 20 meter. Avstander i en tunnel kan være mye større enn dette og dette vil dermed kunne være et nyttig verktøy (Frantzich et al, 2023).

### *Modellering av tunnel i sanntid*

I dag blir ofte start av brann observert ved bruk av sensorer eller kameraovervåkning. Disse systemene er i stand til å observere at brannen oppstår, men vil ikke kunne si noe om hvor stor brannen vil kunne bli. Det er gjort en studie av Xiaoning Zhang (2023) på å benytte kunstig intelligens, kombinert med en sanntid modellering av tunnelen for å kunne forutse hvordan brannen vil utvikle seg. Hensikten med systemet vil være å kunne observere pågående hendelse i tunnelen i sanntid i en modell, eventuelt simulere alternative forløp før det faktisk skjer.

Utviklingen av et slik system vil kunne være nyttig for å få en oversikt over hendelsen som pågår. Det vil være mulig å observere risikoen for brannvesenet som skal dykke inn i tunnelen. Systemet er testet på en fullskala tunnelbrann hvor benyttet AI har en treffsikkerhet på 98% om brannens utvikling (Zhang et al, 2023).

Dette er nok et eksempel på hvordan AI kan benyttes i fremtidige løsninger for kommunikasjon i tunnel. Bruk av dette verktøyet vil kunne øke informasjonen til operatør om situasjonens utvikling. Dette vil gi dem mulighet til å vurdere utfallet av brannen og videre vurdering av hvilke handlinger trafikantene, samt brannvesenet burde ta.

## 7 Diskusjon

I dette kapittelet vil funnene fra analysen i kapittel 5 og empirien i kapittel 6 knyttet opp mot det teoretiske rammeverket til oppgaven. Dette blir gjort for å sette lys på funnene som vil være relevante for å kunne svare på oppgavens problemstilling. Kapitelet er strukturert etter spørsmål som dukket opp underveis i forskningsprosessen. Først diskuteres det hvordan kommunikasjonssystemene bidrar til trafikanters evne til selvredning. Videre diskuteres det hvilke begrensninger dagens kommunikasjonssystemer har og hvordan disse kan dekkes i fremtiden. Til slutt diskuteres det hvordan systemene er i stand til å håndtere ulike hendelser.

### 7.1 Hvordan bidrar kommunikasjonssystemer til trafikanters evne til selvredning?

Ved brann i tunneler er det mye usikkerhet og lite tid tilgjengelig for evakuering. Dette fører til at nødetatene ikke kan garantere å være på stedet før det allerede kan være for sent. Forutsetningen som da legges til grunn av myndighetene er at trafikantene selv må kunne komme seg ut av tunnelen (SHK, 2013, s.63). Trafikantenes oppfatning er at beredskapen skal være tilrettelagt slik at evakueringen skal være rask og enkel (SHK, 2013, s.63). Dette kan vi knytte til rule-role modellen som tilsier at folk vil oppføre seg etter hvilken rolle de har under en brann. I en trafikksammenheng er trafikanter vant med å få tildelt informasjon om hvilke handlinger de skal ta i trafikken. Dette blir gjort gjennom ulike typer skilt, som setter krav og veiledninger til hvordan de skal kjøre. Dette gjelder også i tunnelsammenheng, hvor trafikantene blir gitt informasjon om hva som er forbudt og hva som er lov gjennom hele tunnelen. Hvis det da skulle oppstå en situasjon ut ifra normalen, hvor trafikanten må se vekk i fra disse kravene og gjøre andre handlinger for å komme seg ut av tunnelen vil dette kunne være utfordrende.

Et av hovedfunnene i empirien er en oversikt over hvilken informasjon som er nødvendig for de ulike aktørene under brannhendelser i tunneler. Denne informasjonen er essensiell for å kunne oppnå en rask evakuering som er i stand til å opprettholde selvredningsprinsippet. Under kapittel 6.1 blir denne oversikten utarbeidet, og det viser til hvilken informasjon trafikantene sitter med og hva de har behov for. Dette bygger på trafikantenes behov om å bli gitt informasjon om hva de skal gjøre. Det vil også i tunnelsituasjoner kunne være utfordrende å observere hendelsen, noe som gjør det viktig å bli gitt informasjon.

Ved mangel på informasjon vil det være utfordrende å igangsette evakuering, da folk er redde for å gjøre noe de ikke har lov til, eller noe som er feil. De ønsker ikke å skille seg ut blant

andre trafikanter som befinner seg i tunnelen og velger dermed å ikke gjøre noe. Dette gjør at det er hensiktsmessig å informere trafikantene om situasjonen som har oppstått, hva de skal gjøre, og hvordan de skal gjøre det. Dette er en av hovedfunksjonene til kommunikasjonssystemer i tunneler.

### **7.1.1 Ulike systemer**

Det finnes flere systemer som gir informasjon på ulike måter og forskjellig detaljeringsgrad. Systemene jobber sammen for å dekke behovet trafikantene har, men har ofte ulike deler de skal dekke. Affordanceteorien handler om hvordan systemer skal designes for å være i stand til å dekke informasjonsbehovet til personer. Enkelte systemer bygger på sensorisk affordance, som handler om å gi informasjon i form av syn, hørsel, lukt, osv. Disse systemene er ofte kombinert med systemer som bygger på kognitiv affordance. De skal gi trafikantene forståelse over situasjonen. Systemene benyttes ofte for å igangsette evakueringen og gjøre trafikantene oppmerksomme på at situasjonen er utenfor normalen. Disse systemene benyttes for å redusere trafikantenes fortolkningsperiode.

Det benyttes også andre systemer som skal hjelpe trafikanter med selve evakueringen. Disse systemene bygger på funksjonell affordance og handler om å gi trafikanter informasjon om hvordan de skal evakuere. Dette kan være informasjon om hvor de skal gå, hvor langt de må gå eller hvordan de skal komme seg til sikkerhet. Disse systemene benytter også sensorisk affordance og finnes i flere varianter. Hovedoppgavene til systemene er å redusere beslutningsperioden til trafikantene og bidra til eventuelle valg som kan redusere forflytningsperioden.

Påvirkningen kommunikasjonssystemene vil ha på forflytningstiden er mindre enn på reaksjonstiden. De vil kunne påvirke hvilke handlinger som blir utført, men dette til en mindre grad. Systemene kan forsøke å oppfordre til evakuering ved bruk av kjøretøy, men mulighet for dette vil være varierende.

### **7.1.2 Delkonklusjon**

Ved brann i tunneler har trafikanter et informasjonsbehov som må dekkes for å kunne utføre selvredning. De må kunne omstille seg fra en vanlig situasjon til en unormal situasjon på kort tid. Hvor fort evakuering starter kan være avgjørende for om de kommer seg ut levende eller ikke. Det er flere faktorer som påvirker hvordan de vil handle i slike ukjente situasjoner og kommunikasjonssystemene må derfor være i stand til å dekke behovet deres slik at de ikke gjør

uforutsette handlinger som kan påvirke evakueringen negativt. Ulike kommunikasjonssystemer bidrar med å gi trafikanten forståelse over situasjonen og hvordan de skal evakuere. Denne forståelsen bidrar til at trafikantene utfører hurtige handlinger som vil øke tiden tilgjengelig for forflytning.

## 7.2 Hvilke begrensninger har dagens kommunikasjonssystemer og hvordan kan fremtidige systemer dekke disse?

Kommunikasjonssystemene som benyttes i dagens tunneler kan deles inn i to kategorier. Den ene kategorien er systemer designet for å gi informasjon til VTS og den andre er systemer designet for å gi informasjon til trafikantene. Systemene som er designet for å gi informasjon til trafikantene er hovedsakelig radiomelding, belysning og variable skilt. Det er flere begrensninger ved disse systemene.

Ved bruk av radiomeldinger for å kommunisere med trafikantene begrenses man til å gi informasjon til trafikantene når de er i kjøretøyene sine. Det vil dermed ikke være mulig å gi informasjon til en trafikant som velger å evakuere til fots. En annen begrensning ved bruk av systemet er at meldingen som gis må være veldig generell. Under intervju med informant 1 og informant 2, ble det gitt uttrykk for at det var utfordrende å kunne gi trafikanter informasjon om hvordan evakuering skulle utføres. Årsaken til dette var at informasjonen som ble gitt gjennom radiosambandet var en felles melding til hele tunnelen. Informasjon om hvilke handlinger som burde utføres vil variere fra hvor i tunnelen trafikanten befinner seg og hvilke alternativer den har. Et eksempel informant ga på dette var rundt å informere om å snu og kjøre ut. Dette var ikke en melding som kunne gis over radio da den ikke ville være relevant for hele tunnelens trafikanter. Noen steder i tunnelen vil dette være korrekt handling, men andre steder ville trafikanten da endt opp med å kjøre mot hendelsen.

Evakueringsbelysningen som benyttes er langsgående belysning som skrur på automatisk eller manuelt. Lyset vil hjelpe trafikantene med å ha bedre sikt og med dette kunne øke bevegelseshastigheten deres. Begrensningen er at lyset ikke direkte kommuniserer hvorfor det benyttes. For trafikanter som ikke har kjennskap til evakueringsbelysning trenger det ikke være selvforklarende at lyset som skrur på ikke er vanlige og at det kan være hensiktsmessig å evakuere. Systemet må benyttes sammen med andre systemer som kan gi informasjon.

Som tidligere illustrert ved hjelp av de ulike casene i kapittel 6.4 er det også noen begrensninger rundt variable skilt. Begrensningene her er ikke direkte knyttet til selve skiltene, men mer opp mot VTS. Dette systemet er avhengig av at VTS har informasjon de trenger. Hurtig bruk av

skilt som gir informasjon om å snu vil være hensiktsmessig. Ulempen er at informasjonen de gir er stedsspesifikk. Dette gjør at det er viktig å vite nøyaktig hvor i tunnelen hendelsen har oppstått for å kunne benytte systemet.

Alle de tre systemene har også en stor begrensning til felles. Dette er at alle systemene som er visuelle hjelpemidler. Problemet med dette er at ved brannhendelser i en tunnel vil det dannes store mengder røyk og synssansen vil kunne bli kraftig redusert. Dette gjør at systemene er tidsmessig begrenset noe som betyr at de må benyttes i de første minuttene etter at brannen har startet. Det vil derfor være hensiktsmessig å ha flere systemer som ikke alle baserer seg på samme sans.

### **7.2.1 Kommunikasjon til VTS**

I casestudien var det valgt å ikke benytte nødstasjonene i tunnelen. Årsaken til dette var for å illustrere begrensningene i tunnelene og hvor avhengig de var av at folk ringte inn. Å se på hvordan systemet er avhengig av trafikantene for å igangsette evakueringen. Problemet med å være avhengig av mennesker i en slik situasjon er at tiden det vil ta en person å gi denne informasjonen vil kunne variere veldig. Å kunne forutse om personer vil forsøke å slukke brannen og hvor lenge de vil forsøke på dette før de eventuelt kontakter VTS er vanskelig å antyde. Det vil derfor være hensiktsmessig å ha andre systemer som kan benyttes, slik som radarer og kameraovervåkning som noen av tunnelene hadde.

Ved bruk av slike systemer som kameraovervåkning er det viktig at hele tunnelen dekkes. Dagens teknologi har avanserte algoritmer som er med å gi mulighet for AID, men slike systemer vil ikke fungere om kamera ikke observerer hendelsen. Det står i håndbok N500 at ved tunnelklasser C, D, E og F skal kamerapunktene plasseres slik at 100% av tunnelbredden dekkes (SVV, 2022, s.53). Dette kravet sier ikke noe om at 100% av lengden på tunnelen også skal dekkes. Dette lager rom for at det kan dannes blindsoner for kameraene, noe som vil kunne ende med situasjoner som beskrevet fra Gudvangatunnelen.

### **7.2.2 Nyere systemer**

Et av de nyere systemene som benyttes i tunneler er PA-systemer som da er et lydassisterende system. Problemet med flere av disse systemene som benyttes i dag er at de ikke er laget for tunneler. PA-systemer har blitt brukt over en lenger periode i bygninger, men omgivelsene i en bygning og i en tunnel er ulike. Problemet som oppstår er at det dannes store mengder ekko, samt støy i overgangsområdene mellom de ulike anleggene. Ved bruk av et slik system vil

effekten kunne være negativ. Det vil være utfordrende for trafikantene å oppfatte informasjonen de blir gitt, noe som vil kunne øke stressnivået deres i en allerede stressende situasjon. En annen utfordring er kalibrering av høyttalerne. Luften i en tunnel er ikke konstant den samme og vil bli påvirket av andre faktorer slik som temperatur. Ved slike endringer vil det være nødvendig å kalibrere høyttalerne slik at det ikke skapes ujevnheter mellom de ulike anleggene. Dagens høyttalere krever at dette gjøres manuelt, noe som da ikke dekker disse endringene.

### **7.2.3 Fremtidig utvikling**

Under kapittel 6.3 blir det gitt informasjon om ulik forskning som blir utført for å fremme tunnelsikkerhet. Det blir sett på flere hjelpesystemer som kan benyttes av tunneloperatør for å raskere kunne ta beslutninger, samt ha oversikt over hendelsene. Utvikling innen dette feltet vil kunne sette nye standarder for hvordan vi utruker tunneler. I dag er det nødvendig med kamera for å ha oversikt over hendelser. Videre utvikling av grensesnitt fra radarer kan gi mulighet for sanntidsmodellering av hendelsen. Radarer har mulighet til å observere hva som skjer gjennom røyken, noe kamera ikke har mulighet til. Dette vil kunne hjelpe tunneloperatør med å ha en økt oversikt over tunnelen, samt hvor trafikanter befinner seg.

Overgang til slike systemer som DSS, systemer som informerer om trafikanters lokasjon eller forventet størrelse på brann vil også kunne ta med seg enkelte konsekvenser. Om systemene skulle miscalculere noe, eller ikke får observert en kritisk faktor vil dette kunne føre til alvorlige situasjoner. For eksempel at systemet informerer om at alle tunnelens trafikanter har evakuert, men det egentlig enda befinner seg noen i tunnelen. Overgangen til slike systemer vil kreve store mengder testing og kvalitetssikring før det er mulig å stole på dem. Systemene er enda under utvikling og æraen med AI har akkurat begynt.

### **7.2.4 Delkonklusjon**

Dagens kommunikasjonssystemer begrenses i stor grad av varslingstiden. For å kunne benytte kommunikasjonssystemene er man avhengig av at tunneloperatør oppdager hendelsen eller blir informert om hendelsen. Dette krever overvåking av tunnelen med rask hendelsesdeteksjon. Systemene benyttet for å informere trafikanter om hendelser er hovedsakelig skilt eller radiomelding. Effekten av radiomelding er avhengig av at trafikanten selv tar i bruk radioen og hører på meldingen. Resterende system baserer seg i stor grad på visualisering, noe som vil kunne svekkes om det dannes røyk. Det vil være hensiktsmessig å ha flere ulike systemer som



baserer seg på ulike sanser. Dette også da for eksempel skilt ikke kan ses fra alle steder i tunnelen, men informasjonen burde kunne nå alle uavhengig av plassering.

### 7.3 Hvordan vil kommunikasjonssystemene håndtere ulike hendelser?

I kapittel 5 ble det utført flere scenarioanalyser over hvordan ulike tunnelers tekniske utrustning ville være i stand til å håndtere ulike kriser. Det ble sett på brann i vogntog og brann i tankbil. Det som blir illustrert gjennom disse analysene er for at kommunikasjonssystemene skal være nyttige vil tiden det tar å benytte systemene være kritiske.

I dag er det varierende hvilke systemer ulike tunneler er utrustet med. Tunnelene i Norge har stor variasjon i alder og som vi ser etter kapittel 2.7 har dette mye å si for hvilke systemer tunnelene er utrustet med. En av de få tingene som har vært gjengående i alle år er nødtelefoner og brannslukningsapparat. Dette er selvfølgelig et bra verktøy som vil kunne benyttes for å gi VTS informasjon om situasjoner. Problemet oppstår når dette er det eneste systemet man er avhengig av for varsling. Varslingstiden vil være avhengig av menneskelige faktorer, noe som vil føre til store mengder usikkerhet. En annen observasjon fra analysene er at det er gjengående hvilke systemer som benyttes for å gi trafikanten informasjon. Det er hovedsakelig variable skilt og radiomelding som benyttes.

Tunneler etter dagens standard vil være i stand til å hjelpe trafikanter ved enkelte hendelser. De er i stand til å informere om hendelsen og igangsette evakuering. Dette ser vi gjennom analysene gjort for scenarioer for brann i vogntog. Dette er situasjoner hvor hastigheten på brannen ikke overstiger effekten av systemene. Ved brann i tankbil derimot vil det ikke være slik. Her oppstår situasjonen så hurtig at kommunikasjonssystemene vil få problemer med å løse situasjonen. Årsaken til dette ligger ikke nødvendigvis i kommunikasjonssystemene, men også i tunnelens utforming.

Ved evakuering av tunneler vil det være hensiktsmessig å snu kjøretøyet sitt for å kjøre ut av tunnelen. Dette vil være den hurtigste måten å komme seg ut. Problemet oppstår når tunge kjøretøy må gjøre dette. Etter erfaringer fra tidligere tunnelbranner kan slike snuoperasjoner ta mye tid, noe som vil overskride tilgjengelig rømningstid ved brann i en tankbil.

Det er utfordrende å si hvordan en slik situasjon kan løses, men bruk av kommunikasjonssystemene kan være en løsning. Gjennom analyser av tidligere hendelser er det observert gjentatte ganger at folk som ikke klarer å snu sitter på med andre personer ut av tunnelen. Å informere trafikanter om å hjelpe andre personer kan være et alternativ som kan løse en slik situasjon. Problemet med dette kan være at det blir for mye informasjon på en gang.

Meldinger gitt over radiomelding skal være konkrete og enkle å forstå. Ved å gi informasjon om å også plukke opp andre evakuerende trafikanter vil dette kunne forvirre trafikanter.

En annen løsning kan være opplæring om brannhendelser i tunnel og hvordan evakuering skal utføres. Bør det være slik at personbiler plukker opp tungbilførere generelt slik at de har høyere sannsynlighet for å kommes seg ut? Burde kravene fra nyere håndbøker om snumuligheter også settes som krav for eldre tunneler selv om dette vil øke kostnader i utbedring?

Selv med de fremtidige systemene sett på i denne oppgaven vil det komme en grense for effekten av kommunikasjonssystemene. Selv om trafikantene får informasjonen de har behov for med en gang, vil forflytningstiden fortsatt være en avgjørende faktor. Dette fører til at situasjoner som brann i tankbil, som har kort tilgjengelig evakueringstid, vil systemene ikke være nok for å få trafikantene trygt ut av tunnelen.

### **7.3.1 Delkonklusjon**

Norske tunneler er i dag i stor grad avhengig av at trafikanter informerer om hendelsen som har oppstått. Dette gir brannsituasjoner en grad av usikkerhet. Dette kan føre til at den totale evakueringstiden blir lenger, noe som kan være avgjørende for om trafikantene kommer seg ut av tunnelen. Effekten av kommunikasjonssystemer har også et maksimum hvor den avgjørende faktoren for evakuering er forflytningstiden. Ved enkelte hendelser vil tilgjengelig rømningstid være kortere enn nødvendig rømningstid, noe som vil gi et behov for andre systemer for å gjøre selvredningen mulig.

## 8 Konklusjon

Konklusjonskapitelet er det avsluttende kapitelet til oppgaven og har som hensikt å besvare følgende problemstilling:

*«Hvordan kan trafikanter få nødvendig/korrekt informasjon under krisehendelser i tunneler?»*

I de foregående kapitlene har oppgaven illustrert ulike sider av problemstillingen. Hensikten med dette var å undersøke trafikanters informasjonsbehov ved brann i tunneler, samt hvordan dette kunne dekkes. Dette både ved dagens metoder og fremtidige muligheter og utvikling.

Studien er bygget opp av en analysedel og tre forskningsspørsmål, som sammen gir gode bidrag til å kunne svare på oppgavens problemstilling. I en tunnel er det reduserte måter trafikanter kan få hurtig informasjon om hendelser uten hjelpemidler. Årsaken til dette er tunnelens utforming og restriksjonene den setter for hvor langt frem i tunnelen man kan se. Dette fører til et behov for kommunikasjonssystemer som kan benyttes for å gi trafikanter informasjonen de har behov for.

En av utfordringene trafikantene står ovenfor ved brannhendelser i tunneler er hvordan de skal omstille seg fra et vanlig kjøremønster til en evakueringssituasjon. Dette er et av de viktigere aspektene ved bruk av kommunikasjonssystemer, å hjelpe å redusere denne tiden. Trafikantene er i trafikken vant til å bli gitt informasjon om hva de skal gjøre og hvordan de skal gjøre det, og mangel på denne informasjonen vil kunne føre til usikkerhet. Informasjon om hendelsen som har oppstått og hvordan de skal komme seg ut spiller derfor en viktig rolle i trafikantenes behov. Denne informasjonen kan gis på flere måter ved bruk av flere ulike kommunikasjonssystemer.

Bruk av flere ulike kommunikasjonssystemer vil være hensiktsmessig med tanke på at tunnelen fylles med røyk fra brannen. Dette fører til at systemer som baserer seg på trafikantenes syn vil ha redusert effekt etter en periode. Denne tilgjengelige tiden viser også til hvor viktig det er at informasjonen som blir gitt er enkel og rask å forstå. Som nevnt er hovedoppgaven til flere av systemene å igangsette evakuering. Dette vil være enklere å utføre om trafikantene enda kan benytte synet sitt, noe som også vil være svært sentralt i hvordan de kan utføre selve evakueringen.

Hurtig informasjon slik at evakueringen kan starte før trafikantene er omringet av røyk er en av de større faktorene når det kommer til forflytningstiden deres. Dette vil avgjøre om det er mulig å snu kjøretøyene slik at trafikantene kan kjøre ut av tunnelen. Evakuering til fots i røyk blir også svært redusert sammenlignet med evakuering til fots uten røyk. For å kunne ta i bruk kommunikasjonssystemene i tunneler er det behov for at de blir aktivert. Dette gjøres av tunneloperatøren etter de mottar varsel om en hendelse og bekrefter den. Perioden det tar fra hendelsen oppstår til tunneloperatøren igangsetter kommunikasjonssystemene kalles varslingsstid.

I store deler av norske tunneler setter denne perioden store begrensninger på dagens kommunikasjonssystemer. For å oppnå en kort varslingsstid vil det være nødvendig med kameraovervåkning eller radarsystemer. Dette er noe kun oppgraderte og nyere tunneler er utrustet med. Eldre tunneler er avhengige av varsling ved bruk av nødtelefoner, noe som øker varslingsstiden og ikke gir operatørene mulighet for å bekrefte hendelsen.

Konsekvensene av økt varslingsstid vil variere etter hvilken type hendelse som har oppstått. Enkelte brannhendelser har en lenger oppstartsperiode, noe som gjør at det dannes mindre røyk i starten. Andre hendelser har derimot en kort oppstartsperiode, noe som gir mindre tid til evakuering. Ved enkelte situasjoner som for eksempel brann i tankbil vil hvert sekund ha noe å si for trafikantene. Det vil under slike situasjoner kunne være mindre enn to minutter tilgjengelig for evakuering. I en slik situasjon vil det ikke være forsvarlig for en trafikant å måtte benytte seg av en nødtelefon og kontakte tunneloperatøren. Hurtig informasjon om hendelsen og mulighet til å kjøre ut vil være nødvendig for å overleve en slik situasjon. Selv ved så hurtig informasjon som vil være mulig vil det fortsatt ikke være nok for tungbilførere. Dette ser vi etter scenarioanalysen hvor tilgjengelig rømningstid var 2 minutter, men snuoperasjonen kunne ta opp mot 7 minutter.

Scenarioanalysene i oppgaven viser til hvor utfordrende snuoperasjoner kan være for tungtrafikken i tunneler. For at trafikanter som benytter slike kjøretøy skal kunne utføre selvredning vil ikke informasjon alene dekke deres behov. Dette viser at kommunikasjonssystemene alene ikke er i stand til å opprettholde selvredningsprinsippet under alle situasjoner. Det vil kunne oppstå hendelser hvor tilgjengelig rømningstid er kortere enn forflytningstiden, noe som gir situasjoner hvor andre systemer eller metoder er nødvendige. Disse metodene blir ikke undersøkt i denne oppgaven, men kan for eksempel være bruk av evakueringsrom i tunnelen.

## 8.1 Anbefalinger

Oppgaven grunngir et behov for overvåkning av lengre ettløpstunneler. Årsaken er at dette gjør at en kan utnytte kommunikasjonssystemenes fulle potensial. Det anbefales derfor at tunneler utrustes med systemer som er i stand til å opprettholde tunneloperatørens informasjonsbehov for å også kunne opprettholde trafikantens behov. Tunneler burde minimum utrustes med kameraovervåkning om det ikke er andre systemer som kan oppfylle samme funksjonalitet er installert.

Det anbefales også at lange ettløpstunneler utrustes med systemer som er i stand til å informere trafikanter om situasjonen som har oppstått og hvordan de skal reagere. Selvredningsprinsippet har utviklet seg til å handle om et samarbeid mellom trafikanter, infrastruktur, operatører og nødetater. For å kunne opprettholde dette samarbeidet er informasjon om hendelsen viktig.

Dagens bruk av radiosamband setter begrensninger til hvilken informasjon som kan gis til trafikantene, samt er avhengige av at trafikantene tar den i bruk. Det anbefales at tunneler utrustes med systemer som ikke er avhengige av trafikantenes handlinger for å være effektive. Det beste systemet for å oppfylle disse kravene vil være bruk av PA-system designet for tunneler. Slike system dekker hele tunnelen og vil kunne informere alle trafikantene uavhengig av trafikantenes kunnskap.

## 8.2 Videre forskning

Videre forskning bør videreføre fokuset på tunnelsikkerhet i lange ettløpstunneler, spesielt hvordan man skal kunne opprettholde trafikantens evne for selvredning i slike tunneler. Videre studier og utvikling på kommunikasjonsmuligheter i tunneler, både for trafikanter og for tunneloperatør vil være viktig for å kunne øke tunnelsikkerheten i slike tunneler. Det kunne vært spennende å utføre en lignende studie koblet opp mot flere av systemene benyttet for å informere tunneloperatørene. Dette gjennom bruk av brannvarslere, CO<sub>2</sub> målere og lignende. Hvilken effekt slike systemer kan gi og hvor raskt disse kan detektere en hendelse målt opp mot for eksempel radarer.

Denne oppgaven har ikke tatt den økonomiske siden i betraktning ved vurderinger som er tatt. En studie hvor dette blir utført og det blir sett på hvordan ulike systemer blir målt opp mot kostnad vil kunne gi et interessant bilde av om hva som er kostnadseffektivt og ikke.

### 8.3 Avsluttende ord

Innledningsvis ble det trukket frem hvordan tunnelforskriftene og ulike krav er med på å sikre det laveste tillatte sikkerhetsnivået for trafikanter i tunneler. Underveis i studie kom det frem hvordan dette sikkerhetsnivået stadig er under endring og eldre tunneler ikke nødvendigvis opprettholder dagens sikkerhetsnivå. Kravene som settes for ulike tunneler er de som var gjeldene når tunnelen ble laget, noe som ikke nødvendigvis er i stand til å opprettholde sikkerhetsnivået til dagens trafikanter.

Dette er avgjørelser som må tas av økonomiske årsaker, men er en viktig faktor når man ser på tunnelsikkerhet. At tunnelforvalter holder seg oppdatert på risikobilde til tunnelen og vurderer om tunnelens tilstand er tilstrekkelig vil være en viktig del for å kunne opprettholde sikkerhetsnivået til trafikantene. Hvor viktig dette er kan vi se fra SHK (2013) etter Oslofjordtunnelen. Her får SVV kritikk for å ikke ha oppdatert risikoforståelsen og tilpasse sikkerhetsstyringen.

## Litteraturliste

- Aftenposten. (2015, 11. august). Bussbrannen i Gudvangatunnelen: Fire alvorlig skadet, stengt i seks uker. *Aftenposten*. <https://www.aftenposten.no/norge/i/24wa/bussbrannen-i-gudvangatunnelen-fire-alvorlig-skadet-stengt-i-seks-uker>
- Alvear, D., Abreu, O., Cuesta, A., Alonso, V. (2012). Decision support system for emergency management: Road tunnels. *Tunneling and Underground Space Technology*, (34). 13-21
- Amundsen, B. O., (2021, 21.mai). Tre tunneler på E6 langs mjøsa får nye evakueringslys, *Veier24*, <https://www.veier24.no/artikler/tre-tunneler-pa-e6-langs-mjosa-far-nye-evakueringslys/510373>
- Andersen, G. (2020, april. 16). *Kvalitative intervjuundersøkelser*, Hentet fra: <https://ndla.no/nb/subject:1:9bb7b427-3f5b-4c45-9719-efc509f3d9cc/topic:1:432baee9-5671-47ce-870e-48b8fc3b7a42/topic:1:1db7bf3c-3a7b-44af-b632-e3c5ff2a999e/resource:201ce19e-7011-49a6-b415-91fd42d5dfe9>
- Andersen, S, (2013). Casestudier (Forskningsstrategi, generalisering og forklaring 2. utgave). Fagbokforlaget
- Askildsen, A. (2015, 10.08). Mastrafjordtunnelen ble stengt på grunn av brann. *Bergens Tidende*. Hentet fra <https://www.bt.no/nyheter/lokalt/i/2P5zq/mastrafjordtunnelen-blestengt-paa-grunn-av-brann>
- Aven, T. (2021, 6. juli). Risikokommunikasjon. *Store norske leksikon*. <https://snl.no/risikokommunikasjon>
- Aven T. (2023a, 25. Januar). Risiko. *Store norske leksikon*. <https://snl.no/.versions/list/155504>
- Aven T. (2023b, 26. Januar). Usikkerhet. *Store norske leksikon*. <https://snl.no/usikkerhet>
- Balaman, S. Y. (2018). Decision-Making for Biomass-Based Production Chains: The Basic Concepts and Methodologies. (1. utg.). Academic Press
- Berven, S. B. (2006, 20.09). Brann i Mastrafjordtunnelen. *NRK*. Hentet fra <https://www.nrk.no/rogaland/brann-i-mastrafjordtunnelen-1.1023251>
- Bjelland et al. (2019) Emergency Preparedness for Tunnel Fires - A Systems-oriented Approach. *BOOK OF PROCEEDINGS Nordic Fire & Safety Days*
- Catena. (2017). Nødstasjon for vegtunneler [Brosjyre] [https://catena.no/files/2017/08/Catena\\_N%C3%B8dstasjonshefte\\_2017\\_v1.pdf](https://catena.no/files/2017/08/Catena_N%C3%B8dstasjonshefte_2017_v1.pdf)
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap,. (2014). Brannen i Gudvangatunnelen, Hentet fra: [https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/brannen\\_i\\_gudvangatunnelen.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/brannen_i_gudvangatunnelen.pdf)
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. (2014). Risikoanalyse av brann i tunnel – delrapport av Nasjonalt risikobilde 2014. Hentet fra:

<https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/risikoanalyse-av-brann-i-tunnel--delrapport-til-nasjonalt-risikobilde-2014.pdf>

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. (2014). Risikoanalyse av brann i tunnel. Hentet fra: <https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/risikoanalyse-av-brann-i-tunnel--delrapport-til-nasjonalt-risikobilde-2014.pdf>

Direktoratet for samfunnssikkerhets og beredskap. (2014). Brannen i Gudvangatunnelen. Hentet fra: [https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/brannen\\_i\\_gudvangatunnelen.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/brannen_i_gudvangatunnelen.pdf)

Direktoratet for samfunnssikkerhets og beredskap. (2011). Retningslinjer for saksbehandling og ivaretagelse av brann- og elsikkerhet i vegtunneler (ISBN: 978-82-7768-249-5). Hentet fra [https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/brann-og-redningbre/retningslinjer\\_saksbehandling\\_ivaretagelse\\_brann\\_elsikkerhet\\_vegtunneler.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/brann-og-redningbre/retningslinjer_saksbehandling_ivaretagelse_brann_elsikkerhet_vegtunneler.pdf)

Europalov. (2023). *Om EU-rettsaktene*. Hentet fra: <https://www.europalov.no/laer-mer/eu-rettsaktene> 20.05.23.

EU-tunnelsikkerhetsdirektivet. (2004). Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 29 april 2004 on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network. Hentet fra <http://data.europa.eu/eli/dir/2004/54/oj>

Falocchio, J. C. & Levinson, H. S. (2015). Road Traffic Congestion: A Concise Guide. Springer

Frantzich, H, Fridolf, K. Liljestrang, S. Henningsson, A. Lundin, J. (2023). Locating people in tunnels using Wi-Fi technology. *Tenth International Symposium on Tunnel Safety and Security*, 224-239

Fridolf, K., Nilsson, D., Frantzich, H., (2013), Fire Evacuation in Underground Transportation Systems: A Review of Accidents and Empirical Research, *Fire Technology*, (49), 451-475

Gandit, M., Kouabenan, D.R., Caroly, S., (2008). Road-tunnel fires: risk perception and management strategies among users. *Safety Science* (47), 105–114.

Google Maps (u.å.). Byfjord- og Mastafjordtunnelen. Hentet 23.05.2023 fra <https://www.google.com/maps/dir/59.0156155,5.6333851/59.0884397,5.7029079/@59.0533628,5.551331,19180m/data=!3m1!1e3!4m2!4m1!3e0>

Google Maps (u.å.). Svotunnelen. Hentet 23.05.2023 fra <https://www.google.com/maps/dir/59.0979511,6.1395435/59.0794324,6.0696773/@59.0899496,6.1032371,4790m/data=!3m1!1e3!4m2!4m1!3e0>

Google Maps (u.å.). Gudvangatunnelen. Hentet 23.05.2023 fra <https://www.google.com/maps/dir/Gudvangatunnel/60.8806763,6.8571432/@60.8561074,6.8796308,18164m/data=!3m1!1e3!4m9!4m8!1m5!1m1!1s0x463e11ab1fd09833:0x379e88917ca9094e!2m2!1d7.0546731!2d60.8931039!1m0!3e0>

Grønmo, S. (2020, 3. april). reliabilitet. Store Norske Leksikon. <https://snl.no/reliabilitet>



- Grønmo, S. (2023, 16. januar). kvalitativ metode. *Store Norske Leksikon*.  
[https://snl.no/kvalitativ\\_metode](https://snl.no/kvalitativ_metode)
- Gustavsven, T. M., (2016, 16. august). Derfor går vegvesenet for DAB, *NRK*.  
<https://www.nrk.no/ytring/derfor-gar-vegvesenet-for-dab-radio-1.13089397>
- Jenssen, G. D., Cerasi, I. R., Hoem, Å. S. & Grøv, E. (2017). Litteraturundersøkelse: Selvredning i vegtunneler (SINTEF Rapport 2017:00523). Hentet fra  
<https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2486271>
- Jenssen, G. (2023). Human behaviour during fires in tunnels, *Tenth International Symposium on Tunnel Safety and Security*, 63-76
- Khademi, N. Bjelland, H. Nilsson, E. G. Boletsis, K. (2023). RiskTUN: An ICT-based Concept for a Risk-aware Decision Support System for Tunnel Safety. *Tenth International Symposium on Tunnel Safety and Security*, 188-204
- Knudsen, H. T., Bjorland, I. (2013, 25. november). Stor brannøvelse i ny tunnel. *NRK*,  
<https://www.nrk.no/rogaland/stor-brannovelse-i-ny-tunnel-1.11378593>
- Meld. St. 10 (2016–2017). *Risiko i et trygt samfunn, samfunnssikkerhet*. Det kongelige justis og beredskapsdepartement. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-10-20162017/id2523238/?ch=1>
- Meld. St. 40 (2015-2016). *Trafikksikkerhetsarbeidet – samordning og organisering*. Det kongelige justis og beredskapsdepartement.  
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-40-20152016/id2513038/>
- Mitchell, U. & Skretting, T. (2013, 11.08). Brann i vogntog skapte trafikkaos i Rennfast. *Aftenposten*. Hentet fra <https://www.aftenposten.no/norge/i/OnEvB/brann-i-vogntogskapte-trafikkaos-i-rennfast>
- NAOB. (u.å). state-of-the-art. *Det Norske Akademiske Ordbok*. Hentet 14. mai 2023 fra  
<https://naob.no/ordbok/state-of-the-art>
- Navtechradar. (u.å.). Fast Response Time Hentet 05.05.2023 fra  
<https://navtechradar.com/explore/fast-response-time/>
- Nilsson, D., Johansson, M., Frantzich, H. (2009). Evacuation experiment in a road tunnel: A study of human behaviour and technical installations, *Fire Safety Journal* (44), 458-468.
- Nodland E. (2022, 4. juli). Skal bedre tunnelsikkerheten: – Viktig at transportbransjens stemme blir hørt. Hentet fra - <https://lastebil.no/Aktuelt/Nyhetsarkiv/2022/Skal-bedre-tunnelsikkerheten-Viktig-at-transportbransjens-stemme-blir-hoert>
- NRK (2022, 28. februar). Brann i kjøretøy i Byfjordtunnelen, Hentet fra:  
<https://www.nrk.no/rogaland/brann-i-kjoretoy-i-byfjordtunnelen-1.14922818>
- NRK Publikumsservice, (2016, 3. november). DAB i tunnel, *NRK*.  
<https://www.nrk.no/oppdrag/dab-i-tunnel-1.13209950>

- Nævestad, T. O. & Blom, J. (2023). Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008-2021 (TØI-rapport 1948/2021). Oslo: Transportøkonomisk Institutt
- Nævestad, T. O. & Meyer, S. F. (2012). Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008-2011 (TØI-rapport 1205/2012). Oslo: Transportøkonomisk Institutt
- Universitetet i Stavanger (2021, 7. april). Prosjektbeskrivelse: Kapasitetsløft tunnelsikkerhet. Hentet fra <https://www.uis.no/nb/samfunnssikkerhet-og-risikostyring/prosjektbeskrivelse-kapasitetsloft-tunnelsikkerhet>
- Purser, D. A., (2003). ASET And RSET: Addressing Some Issues In Relation To Occupant Behaviour And Tenability. *Fire Safety Science* (7). 91-102.
- Rake, E. & Rød, S. K. (2020). Beredskapsanalyse av vegtunneler (Statens vegvesen rapport nr. 260). Hentet fra [https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2671342/SVV\\_rapport260.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2671342/SVV_rapport260.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Regjeringen.no. (u.å). Statens havarikommisjon. Hentet 19. februar 2023 fra <https://www.regjeringen.no/no/dep/sd/org/underliggende-etater/statens-havarikommisjon-for-transport/id443413/>
- Ronchi, E. Fridolf, K. Frantzych, H. Nilsson, D. Walter, A. L. Modig, H. (2018). A tunnel evacuation experiment on movement speed and exit choice in smoke. *Fire Safety Journal* (97). 126-136.
- Røhr-Staff. M (2022, 05. september). Tilbyr muligheten til å holde seg fast til enden av tunnelen, *Brennaktuelt*. <https://www.brennaktuelt.no/bilbrann-bilbranner-brann/tilbyr-muligheten-til-a-holde-seg-fast-til-enden-av-tunnelen/114141>
- Samferdselsdepartementet. (2019). Instruks for Statens vegvesen. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/087954c97c8e47b7b2a733e350a25b4a/instruks-svv-pr.-17.12.19.pdf>
- Sandø, T. (2013, 29.09). Brannvesenet bekymret over alle brannene i Byfjordtunnelen. *Stavanger Aftenblad*. Hentet fra <https://www.aftenbladet.no/lokalt/i/xQ3Wp/brannvesenet-bekymret-over-alle-brannene-i-byfjordtunnelen>
- Seglsten, P. H. (2019, 30. August). Syv biler kjørte på rødt, og inn i en tunnelbrann. Nye lys skal få bilene til å stoppe. *Veier24*, <https://www.veier24.no/artikler/syv-biler-kjorte-pa-rodt-og-rett-inn-i-en-tunnelbrann-nye-lys-skal-fa-bilene-til-a-stoppe/472620>
- Sigbjørn Berentsen. (2022, 4. august). Røykutvikling i Byfjordtunnelen, *Bygdebladet*, <https://www.bygdebladet.no/roykutvikling-i-byfjordtunnelen/s/5-100-381727>
- SINTEF. (2016a). Tilgjengelig rømningstid ved brann (Byggforskserien 520.387)
- SINTEF. (2016b). Nødvendig rømningstid ved brann (Byggforskserien 520.385)
- Solberg, M. G. (2015, 20. nov). Ny EU-lov gjør det vanskeligere å ta lappen. *Teknisk ukeblad*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/ny-eu-lov-gjor-det-vanskeligere-a-talappen/276112>

Solvoll, G. (2022, 29. desember). Statens vegvesen. Store norske leksikon.

[https://snl.no/Statens vegvesen](https://snl.no/Statens_vegvesen)

Statens Havarikommisjon for Transport. (2013). Rapport om brann i vogntog på Rv 23, Oslofjordtunnelen, 23. juni 2011 (rapport vei 2013/05). Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport. Hentet fra: <https://havarikommisjonen.no/Vei/Avgitte-rapporter/2013-05>

Statens Havarikommisjon for Transport. (2015). Rapport om brann i vogntog på E16 i Gudvangatunnelen i Aurland 5. august 2013 (rapport vei 2015/05). Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport. Hentet fra: <https://havarikommisjonen.no/Vei/Avgitte-rapporter/2015-05>

Statens Havarikommisjon for Transport. (2016a). Rapport om brann i tanktilhenger i Skatestraumtunnelen i Sogn og Fjordane 15. juli 2015 (rapport vei 2016/05). Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport. Hentet fra: <https://havarikommisjonen.no/Vei/Avgitte-rapporter/2016-05>

Statens Havarikommisjon for Transport. (2016b). Rapport om bussbrann i Gudvangatunnelen på E16 i Aurland 11. august 2015 (rapport vei 2016/03). Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport. Hentet fra: <https://havarikommisjonen.no/Vei/Avgitte-rapporter/2016-03>

Statens Havarikommisjon for Transport. (2016c). Rapport om møteulykke mellom to vogntog på E39 ved Lavolltunnelen i Flekkefjord onsdag 22. oktober 2014 (rapport vei 2015/05). Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport. Hentet fra: <https://havarikommisjonen.no/Vei/Avgitte-rapporter/2015-05>

Statens Havarikommisjon for Transport. (2019). Rapport om brann i køyretøy på RV. 5, Fjærlandstunnelen, 17. april 2017 (rapport veg 2019/05). Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport. Hentet fra: <https://havarikommisjonen.no/Vei/Avgitte-rapporter/2019-05>

Statens Havarikommisjon. (2020). Rapport om brann i vogntog på E16 i Gudvangatunnelen i Aurland 30. mars 2019 (rapport vei 2020/04). Lillestrøm: Statens Havarikommisjon. Hentet fra: <https://havarikommisjonen.no/Vei/Avgitte-rapporter/2020-04>

Statens Havarikommisjon. (2022). Rapport om brann i vogntog på E134 i Oslofjordtunnelen 2. august 2021 (rapport vei 2022/05). Lillestrøm: Statens Havarikommisjon. Hentet fra: <https://havarikommisjonen.no/Vei/Avgitte-rapporter/2022-05>

Statens vegvesen (u, åra). Forvaltning. <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/tunneler/forvaltning/>

Statens vegvesen (u, årb). Vegkart. Hentet fra [https://vegkart.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/@600000,7176488,3/hva:!\(id~581\)~](https://vegkart.atlas.vegvesen.no/#kartlag:geodata/@600000,7176488,3/hva:!(id~581)~)

Statens vegvesen. (u.åc). Nullvisjon. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/trafikksikkerhet/nullvisjonen/>

Statens vegvesen, (2017, 19. Januar), Blir verdens sikreste undersjøiske tunnel, Hentet fra <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/europaveg/e39alesundmolde/nyhetsarkiv/blir-verdens-sikreste-undersjoiske-tunnel/>

Statens vegvesen, (2020b, 02. Juli), Tekniske krav til LED variable trafikkskilt, hentet fra <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/publikasjoner/na-rundskriv/na-rundskriv-2020-5-tekniske-krav-til-led-variable-trafikkskilt.pdf>

Statens vegvesen. (1992). Vegtunneler. Håndbok 021. Hentet fra <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/189845>

Statens vegvesen. (2002). Vegtunneler. Håndbok 021. Hentet fra [https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/189827/Handbok\\_021\\_2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/189827/Handbok_021_2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Statens vegvesen. (2006). Vegtunneler. Håndbok 021. Hentet fra <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2583418/HB021-2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Statens vegvesen. (2007). Rapport - Utarbeidet av bransjesammensatt arbeidsgruppe bestående av RIF, MEF, EBA og Statens vegvesen. Hentet fra <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/193670/Tunnelsikkerhet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Statens vegvesen. (2010). Vegtunneler. Håndbok 021. Hentet fra <https://nmfv.dk/wpcontent/uploads/2012/11/Statens-vegvesens-håndbok-021-Vegtunneler.pdf>

Statens vegvesen. (2012). Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008 – 2011 (rapport nr. 127). <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2632823/SVV%20rapport%20127%20Etatsprogrammet%20Modern%20vegtunneler%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Statens vegvesen. (2013). AID i tunnel: Teknologisammenligning. Hentet fra <https://docplayer.me/17583116-Aid-i-tunnel-teknologisammenligning.html>

Statens vegvesen. (2014a). Vegtunneler. Håndbok N500. Oslo: Vegdirektoratet Hentet fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2419303/Hb-N500-2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Statens vegvesen. (2014b). Ny føreropplæring 2005: Faglig grunnlag for forskrifts- og læreplanrevisjonen. Håndbok V858. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v858.pdf>

Statens vegvesen. (2016). Vegtunneler. Håndbok N500. Oslo: Vegdirektoratet Hentet fra: [https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2658583/HB%20N500\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2658583/HB%20N500_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Statens vegvesen. (2018a, 21. februar). Etterlyser nye ideer om tunnelredning. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/om-oss/presse/aktuelt/nasjonalt/etterlyser-nye-ideer-om-tunnel-redning/>

Statens vegvesen. (2018b, september). Sikker atferd ved hendelser i vegtunneler Informasjons- og opplæringstiltak. Hentet fra <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2617201/Sikker%20atferd%20ved%20hendelser%20i%20vegtunneler%20SVV%20rapport%20376.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Statens vegvesen. (2018c, august). Bilag for SSA-V - Bilag 1-10 for drift og vedlikehold, utvikling samt anleggsintegrasjon til Vegvokteren. Hentet fra [https://eu.eu-supply.com/app/rfq/publicpurchase\\_docs.asp?PID=306706&LID=359946&AllowPrint=1](https://eu.eu-supply.com/app/rfq/publicpurchase_docs.asp?PID=306706&LID=359946&AllowPrint=1)

Statens vegvesen. (2020a). Vegtunneler. Håndbok N500. Oslo: Vegdirektoratet. Hentet fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2760692/hb-n500-vegtunneler-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Statens vegvesen. (2020b, 10. mars). Fastlandsforbindelser gjør det attraktivt å bo på øyer, Hentet fra: <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/europaveg/ferjefrie39/nyhetsarkiv/fastlandsforbindelser-gjor-det-attraktivt-a-bo-pa-oyer/>

Statens vegvesen. (2020c). Innovasjonspartnerskapsprosjektet “0-visjonen i norske vegtunneler” 2019 – 2020.

Statens vegvesen. (2021a, 28. desember). Statens vegvesen har tatt tre grep for å gjøre denne tunnelen enda mer trafiksikker. Hentet fra: <https://www.vegvesen.no/om-oss/presse/aktuelt/2021/12/statens-vegvesen-har-i-host-tatt-tre-grep-for-a-gjore-denne-tunnelen-enda-mer-trafiksikker/>

Statens vegvesen. (2021b, 5. mai). Vegtrafikksentralene. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/om+organisasjonen/om-statensvegvesen/vegtrafikksentralene>

Statens vegvesen. (2022). Vegtunneler. Håndbok N500. Oslo: Vegdirektoratet.

Svartdal Frode. (2020, 27. mars). Risikopersepsjon. *Store norske leksikon*. <https://snl.no/.versions/list/155507>

PIARC, (2016). Improving safety in road tunnels through real-time communication with users, Road tunnel operations of world road association.

Tunnelsikkerhetsforskriften. (2007). Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften) FOR-2007-05-15-517. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2007-05-15-517>

Veier24, (2019, 30. mars). Gudvangatunnelen sterkt skadet etter brann i vogntog - mandag ble det satt inn ferge. *Veier24*. Hentet fra: <https://www.veier24.no/artikler/gudvangatunnelen-mye-skadet-etter-trailerbrann-ma-stenges-i-lang-tid/461810>

Yin, R. K. (2009). *Case Study Research – Resign and Methods (Fourth Edition)*, Sage Inc

Zhang, Y., Zhu, H., Guo, Q., Carvel, R., Yan, Z., (2021). The effect of technical installations on evacuation performance in urban road tunnel fires. *Tunneling and Underground Space Technology*, (107), 103608.

Zhang, X., Wu, X., Huang, X., (2023). An AIoT-based smart digital twin for real-time tunnel fire safety monitoring. *Tenth International Symposium on Tunnel Safety and Security*, 216-223

## Vedlegg

Vedlegg 1: Oversikt over analyserte dokumenter

<b>Tema</b>	<b>Dokumenttittel</b>	<b>Utgivelsesår</b>	<b>Utgiver</b>
<b>Granskningsrapporter</b>	Brann i vogntog på E134 i Oslofjordtunnelen 2. august 2021	2022	Statens havarikommisjon for transport (nå: Statens Havarikommisjon)
	Rapport om brann i vogntog på E16 i Guvangatunnelen i Aurland 30. mars 2019	2020	
	Rapport om brann i kjøretøy på RV. 5, Fjærlandstunnelen, 17. april 2017	2019	
	Rapport om brann i tanktilhenger i skatestraumtunnelen i sogn og fjordane 15. juli 2015	2016	
	Rapport om bussbrann i Gudvangatunnelen på E16 i Aurland 11. august 2015	2016	
	Rapport om brann i vogntog på E16 i Gudvangatunnelen i Aurland 5. august 2013	2015	
	Rapport om møteulykke mellom to vogntog på E39 ved Lavolltunnelen i Flekkefjord onsdag 22. oktober 2014	2015	
	Rapport om brann i vogntog på Rv 23, Oslofjordtunnelen, 23. juni 2011	2013	
	Risikoanalyse av brann i tunnel – delrapport av Nasjonalt risikobilde 2014	2014	
	Rapport – Brannen i Guvangatunnelen	2014	
<b>Håndbøker</b>	Håndbok 021: Vegtunneler	1992	Statens vegvesen, Vegdirektoratet
	Håndbok 021: Vegtunneler	2002	
	Håndbok 021: Vegtunneler	2006	
	Håndbok 021: Vegtunneler	2010	
	Håndbok N500: Vegtunneler	2014	
	Håndbok N500: Vegtunneler	2016	
	Håndbok N500: Vegtunneler	2020	
	Håndbok N500: Vegtunneler	2022	
<b>Statens</b>	Rapport nr. 450: Tiltak for å bedre brannsikkerhet i utsatte vegtunneler	2015	Statens vegvesen

	Innovasjonspartnerskapsprosjekt «0-visjon i norske vegtunneler» 2019-2020	2020	
	Rapport nr. 260: Beredskapsanalyse av vegtunneler	2020	
<b>Masteroppgaver</b>	Sikkerhetsstyring med mekanisk ventilasjon ved brann i til utvalgte ettløpstunneler i Norge	2020	Silje Marie Gusfre Angell
	En studie av selvredningsprinsippet, og hva sentrale aktører kan bidra med for å øke bevisstheten og kunnskapen om prinsippet for trafikantene.	2021	Celine Iversen
<b>Tekniske systemer</b>	Improving safety in road tunnels through real-time communication with users, Road tunnel operations of world road association	2016	PIARC
	Innovasjonspartnerskapsprosjektet “0-visjonen i norske vegtunneler” 2019 – 2020	2020	Statens vegvesen
	Decision support system for emergency management: Road tunnels.	2012	Alvear D., Abreu, O., Cuesta A, Alonso V.
	RiskTUN: An ICT-based Concept for a Risk-aware Decision Support System for Tunnel Safety	2023	Khademi N. Bjelland H. Nilsson E G. Boletsis K.
	Locating people in tunnels using Wi-Fi technology	2023	Frantzich H, Fridolf K, Liljestrang S, Henningsson A, Lundin J.
	An AIoT-based smart digital twin for real-time tunnel fire safety monitoring	2023	Zhang X. Wu X. Huang X,

<b>Menneskers atferd</b>	Road Traffic Congestion: A Concise Guide. Springer	2015	Falocchio, J. C. & Levinson, H. S
	Fire Evacuation in Underground Transportation Systems: A Review of Accidents and Empirical Research	2013	Fridolf, K., Nilsson, D., Frantzich, H
	Road-tunnel fires: risk perception and management strategies among users	2008	Gandit, M., Kouabenan, D.R., Caroly, S
	Evacuation experiment in a road tunnel: A study of human behaviour and technical installations	2009	Nilsson, D., Johansson, M., Frantzich, H
	Human behaviour during fires in tunnels	2023	Jenssen. G
<b>Kart- legging</b>	Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008-2011	2012	Transportøkonomisk Institutt



## Vedlegg 2: Nøkkelinformanter

<b>Kode</b>	<b>Respondent</b>	<b>Erfaring</b>
<b>Informant 1</b>	Respondent praktisk tunnelforvalter	Ansatt i Statens vegvesen som praktisk tunnelforvalter
<b>Informant 2</b>	Respondent Vegdirektoratet, tidligere praktisk tunnelforvalter	Ansatt hos vegdirektoratet med tidligere erfaring som tunnelforvalter.

## Intervjuguide

I forbindelse med en masteroppgave i Teknisk Samfunnssikkerhet ved UiS ønskes det å undersøke hvordan trafikanter kan få nødvendig informasjon ved krisehendelser i tunneler. Dette da hovedsakelig ved bruk av tekniske kommunikasjonssystemer. Nedenfor er det utviklet en intervjuguide som skal strukturere intervjuet. Hensikten vil være å få en oversikt over hvilke tekniske kommunikasjonssystemer som benyttes i Norske tunneler i dag, samt hvilke erfaringer som ligger til grunn for valgene.

### **Introduksjon**

Kan du fortelle om din bakgrunn og erfaring?

Kan du fortelle litt om ansvaret du har i forbindelse med krisehendelser i tunneler?

### **Systemer**

Hvilke systemer er de ulike tunnelene utrustet med?

- Informere trafikanter
- Informere VTS

Har det vært oppgraderinger av sikkerhetssystemer i de utvalgte tunnelene?

Hva var årsaken til disse oppgraderingene?

Hvilke forutsetninger var lagt til grunn ved valg av kommunikasjonssystemene?

- Kostnad
- Sikkerhet

### **Drift**

Hvordan benyttes systemene ved krisehendelser?

Vet du noe om informasjonsbehovet til en tunneloperatør for å benytte systemene?

### **Oppsummering**

Har informant noe å legge til?

Kan jeg kontakte deg om det kommer opp flere spørsmål?

## Samtykkeerklæring

### **Bakgrunn og formål**

I forbindelse med en masteroppgave i Teknisk Samfunnssikkerhet ved Universitetet i Stavanger (UiS), skal jeg gjennomføre intervjuer. Tematisk omhandler masteroppgaven hvordan trafikanter kan få nødvendig informasjon ved krisehendelser i tunneler. Formålet er å belyse hvilken rolle kommunikasjonssystemer har i tunnelsikkerhetsarbeidet og se på hvordan ulike systemer fungerer i praksis.

### **Mål for intervjuet**

Hensikten med intervjuet er å få en oversikt over hvilke kommunikasjonssystemer som benyttes i Norske tunneler, samt forutsetninger ved valg av systemer. Det er derfor ønskelig å snakke med sentrale aktører som har kunnskap om det som studeres.

### **Hva innebærer deltakelse i oppgaven?**

Det er ønskelig å sikre konfidensialitet for informantene, så intervjuene vil bli anonymisert. Det vil ikke samles inn personopplysninger, men stillingstittel/arbeidssted vil være ønskelig for å kunne styrke oppgavens validitet. Har du andre ønsker om hvordan du ønsker å bli henvist til i oppgaven kan dette diskuteres under intervjuet. Innhentet informasjon vil kun være tilgjengelig for meg og min veileder.

Ved å være informant for oppgaven, innebærer det at informasjonen som blir gitt blir behandlet som datamateriale for prosjektet. Under intervjuet vil jeg notere i et Word-dokument, fremfor å benytte lydopptak. Dette slik at informasjonen som blir notert kun er den viktigste og mest sentrale.

Notater fra intervju sendes til informant for kommentarer og godkjenning.

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Ved spørsmål kan du henvende deg på e-post eller på telefon (+47 \*\*\* \*\* \*\*\*).

Dersom du ønsker å henvende deg til prosjektets veileder ved UiS, kan du kontakte Henrik Bjelland. Veileder er ikke ansvarlig for masteroppgaven.

### **Hva skjer med opplysningene dine når jeg avslutter masteroppgaven?**

Da det ikke skal benyttes lydopptak har jeg ikke informasjon som kan knyttes til deg som person. Om det skulle være ønskelig kan notater i Word-dokumentet slettes etter masteroppgaven er godkjent.

### **Samtykke til deltagelse:**

Ved å signere erklæringen, eller bekrefte samtykke via epost, godtar du at opplysningene som er gitt under intervju kan benyttes videre i oppgaven.

.....

.....

Stig Østmoe

Respondent

Masterstudent i Teknisk Samfunnsikkerhet

Universitetet i Stavanger

## Vedlegg 5: Detaljert prosedyre for forskningsprosessen

<b>Når</b>	<b>Plan for aktivitet</b>	<b>Formål</b>	<b>Resultat</b>
<b>Januar</b>	<p>Lage en plan for masteroppgaven.</p> <p>Sette seg inn i tema ved å lese rapporter, dokumenter og bøker som var relevant.</p> <p>Justere og spisse problemstilling og forskningsspørsmål.</p> <p>Starte å samle inn teori og starte på teorikapittelet.</p>	<p>Formålet var å komme godt i gang med oppgaven tidlig. Det var viktig å få mer kunnskap om tema, for å kunne lage en plan for hvordan oppgaven skulle utføres. Det var ønskelig å videreutvikle problemstilling og forskningsspørsmål fra tidligere skisse. Det var ønskelig å danne et godt grunnlag som ville legge videre føring for oppgaven.</p>	<p>Dette resulterte i at jeg fikk kommet i gang med oppgaven og starte å lese meg opp på tema, samt teori. Dette ble brukt for å videre utvikling av problemstillingen og forskningsspørsmål.</p> <p>Utarbeidelsen av forskningsspørsmålene var noe utfordrende og det ble flere revisjoner. Disse ble endret flere ganger ettersom kunnskap om tema utviklet seg.</p>
<b>Februar</b>	<p>Fortsette på teori og start på innledning og systembeskrivelse.</p> <p>Begynne å undersøke om det vil være nødvendig med intervju og hvem som var relevante å kontakte.</p>	<p>Formålet var å starte på innledning og systembeskrivelsen slik at fundamentet for oppgaven var klart. Undersøke hvilken informasjon som ville være nødvendig for empirien til oppgaven.</p> <p>Utarbeide en liste over hvilken informasjon som var nødvendig og se på hvordan denne informasjonen kunne skaffes.</p>	<p>Dette resulterte at jeg fikk utarbeidet en midlertidig innledning, da jeg viste at det ville komme endringer senere. Systembeskrivelsen ble også utarbeidet med informasjon og kunnskap som var sentralt for team.</p> <p>Det ble bestemt at det var ønskelig å utføre scenarioanalyser av ulike tunneler i Norge og se på hvordan kommunikasjonssystemer i</p>

			Norge opprettholder selvredningsprinsippet.
<b>Mars</b>	Fortsette videre utvikling av systembeskrivelse og fortsette analysering av dokumenter for empirien. Starte kontakt av mulige informanter og eventuelt utføre intervju.	Formålet var å forsøke å komme i kontakt med informanter slik at det var mulig å starte på oppgavens analysedel. Det var også ønsket videre utvikling av informasjonsbehov fra informanter, slik at intervjuene inneholdt nødvendig informasjon.	Det ble sett på hvilke informanter som var hensiktsmessige å kontakte og disse ble kontaktet. Dette var en tidkrevende prosess da det tok lang tid å få svar fra informanter. I denne perioden ble videre utvikling av systembeskrivelsen utført. Intervjuet ble utført i slutten av måneden.
<b>April</b>	Utarbeide informasjon samlet fra intervju og danne utkast til ulike scenarioanalyser. Begynne på empirikapitlet, metodekapitlet og spisse teorikapitlet.	Formålet var å benytte innsamlet data fra informanter til å kunne starte på analysedelen. Det var også ønsket å utarbeide et metodekapittel nå som hoveddelen skulle utarbeides.	Det utførte intervjuet hadde ikke gitt all informasjon som var sett som ønsket. Det ble vurdert at det ville være krevende å komme i kontakt med flere informanter og valgt å hente resterende informasjon ved bruk av dokumentanalyse. Dette ble også en god løsning da det ga mulighet for å velge en tunnel som skilte seg fra de andre i form av kommunikasjonssystemer. Metodekapitlet ble også utarbeidet.

<b>Mai</b>	Ferdigstille empiridelen og starte på diskusjonsdelen, samt utarbeide et utkast for konklusjon.	Formålet var å ferdigstille de første delene av oppgaven slik at det ble mulig å fokusere på diskusjon og konklusjon.	Dette resulterte i et første utkast av oppgaven i slutten av måneden.
<b>Juni</b>	Ferdigstille diskusjon og konklusjon, samt gjøre nødvendige justeringer på resten av oppgaven. Få korrekturlest oppgaven.	Formålet er å lese gjennom oppgaven og finne skrivefeil og dårlige setninger. Forsikre at oppgaven har en rød trå, samt at kilder er ført korrekt.	Dette resulterte med en god oversikt over hva som måtte jobbes med den resterende tiden. Tidlig i måneden ble oppgaven korrekturlest, noe som ga en pekepinn mot hvilke deler av oppgaven som jobbes med og formuleringer som var mindre gode. Dette ble så jobbet med for å øke kvaliteten til oppgaven.

## Vedlegg 6: Søking og resultater

<b>Søkeord</b>	<b>Database</b>	<b>Antall treff</b>
Tunnel evacuation	Scopus	2500
Tunnel fire evacuation	Scopus	8982
Human behaviour fire evacuation	Scopus	2415
Communication system road tunnel	Scopus	15718
Communication system evacuation road tunnel	Scopus	8009
Technical installations fire evacuation	Scopus	4341
Affordance theory road tunnel	Scopus	4599
Decision making road tunnel	Scopus	2984
Decision support system road tunnel	Scopus	9323
Evacuation model road tunnel	Scopus	3874