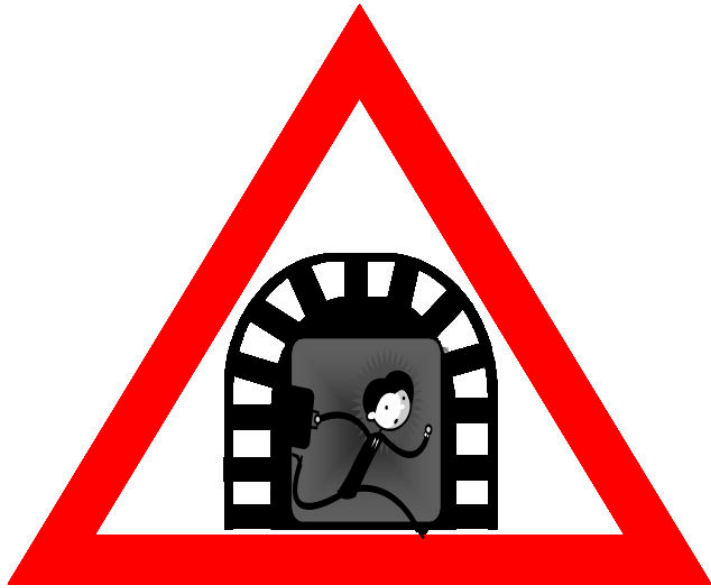


STF50 A06109 – Åpen

RAPPORT



***Vurderinger E39 Rogfast
Trygghet, monotoni og sikkerhet i
krisesituasjoner og ved normal ferdsel***

Gunnar D. Jenssen, Cato Bjørkli, Marianne Flø

SINTEF Teknologi og samfunn
Transportsikkerhet og -informatikk

Oktober 2006



SINTEF Teknologi og samfunn
Transportsikkerhet og -informatikk

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Klæbuveien 153
Telefon: 73 59 46 60
Telefaks: 73 59 46 56

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Vurderinger E39 Rogfast:

Trygghet, monotoni og sikkerhet i krisesituasjoner og ved normal ferdsel

FORFATTER(E)

Seniorforsker (Cand. Polit) Gunnar D. Jenssen,
Psykolog (Cand. Psychol) Cato Bjørkli,
Rådgiver (Siv. ing.) Marianne Flø,

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens vegvesen Region Vest

RAPPORTNR. STF50 A06109	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Ingar Hals	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN 82-14-03967-5	PROSJEKTNR. 50339001	ANTALL SIDER OG BILAG 61
ELEKTRONISK ARKIVKODE RAPPORT_E39Rogfast.doc	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Gunnar D. Jenssen	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Dag Bertelsen	
ARKIVKODE	DATO 2006-10-19	GODKJENT AV (NAVN, SPILLING, SIGN.) Trond Foss, Forskningsjef	

SAMMENDRAG

Basert på kunnskap fra Lærdalsprosjektet, EU-prosjektet UPTUN og andre tunnelprosjekter har SINTEF svart på følgende opprinnelige problemstillinger i denne rapporten:

1. Er undersjøisk tunnel mer ugunstig i seg selv?
2. Hvordan slår stigninger ut med tanke på utrygghet, og er det forskjell på 5, 7, 8 og 10 %?
3. Har stigningens lengde betydning?
4. Er kryss på tunnelstrekningen ugunstig eller gunstig?
5. Er det en fordel eller en ulempe med 1 eller 2 løp med tanke på opplevelsen av utrygghet?

I tillegg er det etter kommentarer fra Ove Njå på Universitetet i Stavanger tatt med momenter på hvordan trafikantene opplever tunneler i krisesituasjoner.

Rapporten konkluderer med at en undersjøisk tunnel vil være mer ugunstig i seg selv. Dette på grunn av lengde, helningsgrad samt frykt for å bli sperret inne, innsig av vann og drukning.

Når det gjelder helningsgraden er det ikke gjort mye forskning. Undersøkelser gjort omkring folks oppfatning av tunneler indikerer at det ikke er forskjell på 8 % og 10 % hva gjelder folks opplevelse av ubehag. En helning på 5-7 % vil være bedre for trafikantene på tanke på utrygghet.

Det finnes heller ingen forskning på betydningen av stigningens/helningens lengde hva gjelder utrygghet.

Det er ikke forskning omkring kryss i lange tunneler. I rapporten anbefales det at trafikantene får god varslingsom kryss ettersom dette er uventet brudd med monotonien. Kryss i lange tunneler kan gi et positivt bidrag for å forhindre monotoni.

En toløpstunnel vil ta bort utrygghetsmomentet med møtende trafikk. En toløpstunnell med evakueringstunneler mellom løpene vil føre til en sikrere tunnel. Det er viktig at trafikantene kjenner til hvordan evakuering skal foregå

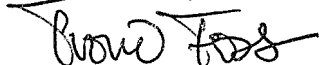
STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Transport	Transport
GRUPPE 2	Trafikksikkerhet	Transport safety
EGENVALGTE	Tunnel	Tunnel
	Tunnelsikkerhet	Tunnel Safety
	Utrygghet	Security

FORORD

Dette er et oppdrag utført av SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling for Transportsikkerhet og –informatikk, på forespørsel fra Statens vegvesen Region Vest. Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært Ingar Hals. Seniorforsker, Gunnar D. Jenssen, ble bedt om å gi svar på en del spørsmål knyttet til utrygghet i tunneler basert på hans kunnskap fra Lærdalsprosjektet, EU-prosjektet UPTUN og andre tunnelprosjekt.

Besvarelsene skulle opprinnelig leveres i notats form, men arbeidet ble etterhvert så omfattende at vi har valgt å levere det i en rapport. Det har vært en interessant prosjekt og vi vil benytte anledningen til å takke for en god dialog med oppdragsgiver underveis i prosjektet.

Trondheim, 2006-10-19



Trond Foss

Forskningsjef

SAMMENDRAG

Basert på kunnskap fra Lærdalsprosjektet, EU-prosjektet UPTUN og andre tunnelprosjekter har SINTEF svart på følgende opprinnelige problemstillinger i denne rapporten:

1. Er undersjøisk tunnel mer ugunstig i seg selv?
2. Hvordan slår stigninger ut med tanke på utrygghet, og er det forskjell på 5, 7, 8 og 10 %?
3. Har stigningens lengde betydning?
4. Er kryss på tunnelstrekningen ugunstig eller gunstig?
5. Er det en fordel eller en ulempe med 1 eller 2 løp med tanke på opplevelsen av utrygghet?

I tillegg er det etter kommentarer fra Ove Njå på Universitetet i Stavanger tatt med momenter på hvordan trafikantene opplever tunneler i krisesituasjoner.

Rapporten inneholder en begrepsavklaring på fryktreaksjoner og utrygghet. Ved besvarelsen av problemstillingene er det tatt utgangspunkt i tilgjengelig forskning, lignende prosjekt og rådende kunnskap på området.

Det gis konkrete anbefalinger for E39 Rogfast, og rapporten avsluttes med å gi forslag til oppfølgingsprosjekter.

Rapporten konkluderer med at en undersjøisk tunnel vil være mer ugunstig i seg selv. Dette på grunn av lengde, helningsgrad samt frykt for å bli sperret inne, innsig av vann og drukning.

Når det gjelder helningsgraden er det ikke gjort mye forskning. Undersøkelser gjort omkring folks oppfatning av tunneler indikerer at det ikke er forskjell på 8 % og 10 % hva gjelder folks opplevelse av ubehag. En helning på 5-7 % vil være bedre for trafikantene på tanke på utrygghet.

Det finnes heller ingen forskning på betydningen av stigningens/helningens lengde hva gjelder utrygghet.

Det er ikke forskning omkring kryss i lange tunneler. I rapporten anbefales det at trafikantene får god varsling om kryss ettersom dette er uventet brudd med monotonien. Et kryss i en lang og monoton tunnel kan ha positiv effekt på trafikanten med tanke på å bryte opp monotonien.

En toløpstunnel vil ta bort utrygghetsmomentet med møtende trafikk. En toløpstunnel med evakueringstunneler mellom løpene vil føre til en sikrere tunnel. Det er viktig at trafikantene kjenner til hvordan evakuering skal foregå slik at det bidra til en økt trygghetsfølelse.

SUMMARY

Based upon knowledge from the Lærdal project (worlds longest road tunnel), the Zongnan project (worlds longest twin tube tunnel), the EU project UPTUN and other tunnel projects SINTEF has answered the following addressed issues:

1. Is a sub sea tunnel disadvantageous?
2. How do the gradient affect security, and are there any differences in experienced security between gradients of 5, 7, 8 and 10 %?
3. Is the length of the gradient of important?
4. Are sub sea tunnel junctions an advantage or disadvantage?
5. Are one or two tunnel tubes an advantage or disadvantage considering road users experience of security?

In addition to the original questions above, the question of how the road-users respond to critical situations in tunnels has been addressed and considered, This was based on comments and suggestions from Ove Njå (University in Stavanger) based on the first draft..

The report contains definition of the road users reactions like fear and insecurity. The issues raised have been considered in relation to available research, similar projects and existing knowledge in the area.

Recommendations for the E39 Rogfast project have been given as well as suggestions for further research.

The report concludes that a sub sea tunnel in general is more disadvantageous than a similar tunnel above sea , due to the length, gradient and in addition the fear of being locked up, incoming water and drowning.

Little or no research has been done on the effect of the gradient. Surveys of road users opinions about sub sea tunnels indicates that there is no difference between a gradient of 8 % and 10 % in terms of the road users feeling of insecurity. A gradient between 5 % and 7 % would be preferable in terms of the road users' security.

Neither is there available research on how the length of the gradient affects the road users feeling of insecurity.

There is no research on the effect of junctions, roundabouts in long tunnels or sub sea tunnels. The report recommends that the road user is given a good prewarning about the junction or roundabout since the crossing is an unexpected break of monotony. Nevertheless, a junction or roundabout can have a positive effect because it wakes up the road user from the inherent monotony of a low stimulus tunnel environment.

Measures to increase tunnel attractiveness and comfort and reduce road user insecurity are suggested in relation to experience of gradient, length, monotony and insecurity due to being in a long sub sea tunnel per se.

A two tube tunnel will take away the insecurity about the meeting traffic. With escape tunnels between the two tubes, the tunnel will be safer than with only one tube. It is important that the road users know how to evacuate. This will lead to better security.

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD.....	III
SAMMENDRAG	V
SUMMARY	VI
INNHALDSFORTEGNELSE.....	7
1. BAKGRUNN	9
1.1 PROSJEKTBEKRIVELSE	9
1.2 PROBLEMSTILLINGER.....	9
2. TEKNISK BESKRIVELSE OG BEGREPSAVKLARINGER.....	10
2.1 NØKKELDATA	10
2.1.1 Trafikkgrunnlag	10
2.1.2 Hastighetsnivå	10
2.1.3 Kryssløsninger	10
2.2 VENTILASJON	10
2.3 BEGREPSAVKLARING: FRYKTREKKSJONER OG UTRYGGHET	11
2.3.1 Fryktreaksjoner.....	11
2.3.2 Utryggheit og tunnel	12
2.3.3 Behovshierarki for trafikanter	13
2.3.4 Bevegelse og utryggheit	14
2.3.5 Ethiske begrunnelser for tunnelutforming	15
3. BESVARELSE AV PROBLEMSTILLINGER.....	16
3.1 ER UNDERSJØISK TUNNEL UGUNSTIG I SEG SELV?.....	16
3.1.1 Begrensede handlingsmuligheter og utryggheit.....	16
3.1.2 Utryggheit i tunneler: Forskning på området.....	16
3.1.3 Utryggheit i tunneler: Mulige tiltak	20
3.1.4 Belysning og kontrast: Erfaringer fra Osloffjord, Hitra og Mont Blanc tunnelen.....	22
3.1.5 Tunneler og monotoni.....	26
3.1.6 Tunneler og orientering/navigasjon.....	27
3.1.7 Konklusjon: Problemer og tiltak i undersjøiske tunneler	28
3.2 VERTIKAL KURVATUR OG UTRYGGHET	28
3.2.1 Forskning på området.....	29
3.2.2 Lignende prosjekt.....	31
3.2.3 Rådende kunnskap	32
3.2.4 Konklusjon	32
3.3 HAR STIGNINGENS LENGDE BETYDNING?	32
3.3.1 Forskning på området.....	32
3.3.2 Lignende prosjekter	33
3.3.3 Rådende kunnskap	33
3.3.4 Konklusjon	33
3.4 ER KRYSS PÅ TUNNELSTREKNINGEN UGUNSTIG ELLER GUNSTIG?	34
3.4.1 Forskning på området.....	34
3.4.2 Lignende prosjekter	35
3.4.3 Tiltak.....	36
3.4.4 Konklusjon	36
3.5 UTRYGGHET VED 1 KONTRA 2 TUNNELLØP	37
3.5.1 Rådende kunnskap	37
3.5.2 Forskning på området.....	38
3.5.3 Aktuelle tiltak	38
3.5.4 Konklusjon	39

4	HVILKE TRAFIKANTREAKSJONER KAN VI FORVENTE I KRISESITUASJONER.....	40
4.1	ULYKKER I TUNNELER	40
4.2	KRISER OG MENNESKELIG ATFERD.....	40
4.3	STRESS OG AKTIVERING UNDER KRISER	41
4.4	KATASTROFEPYSKOLOGI - MENNESKERS EGENSKAPER, FORUTSETNINGER OG ATFERD.....	42
4.4.1	<i>Det biologiske perspektivet</i>	<i>42</i>
4.4.2	<i>Handler vi rasjonelt i en krisesituasjon?</i>	<i>43</i>
4.4.3	<i>Emosjonelle aspekter ved krisereaksjoner</i>	<i>45</i>
4.4.4	<i>Er vi styrt av sosiale mekanismer i en krisesituasjon?.....</i>	<i>45</i>
4.5	OPPSUMMERING: ATFERD VED EVAKUERING.....	46
4.5.1	<i>Erfaringer fra tunnelulykker.....</i>	<i>48</i>
4.5.2	<i>Erfaringer fra tester i vegtunneler.....</i>	<i>49</i>
4.5.3	<i>Faktorer som påvirker opplevelse, atferd og overlevelse</i>	<i>52</i>
4.5.4	<i>Design av informasjon</i>	<i>53</i>
4.5.5	<i>Konklusjon</i>	<i>54</i>
5	ANBEFALINGER FOR E39 ROGFAST	56
5.1	TILTAK FOR ØKT TRYGGHET.....	56
5.2	STIGNING.....	56
5.3	LENGDE PÅ STIGNING	57
5.4	KRYSSLØSNINGER.....	57
5.5	ETT ELLER TOLØPS TUNNEL.....	57
5.6	TILTAK I KRISESITUASJONER	58
6	ANBEFALTE OPPFØLGINGSPROSJEKTER.....	59
6.1	SIMULATORSTUDIER.....	59
6.2	STØTTESYSTEMER FOR OPTIMAL KJØRING I TUNNEL	59
6.3	STUDIER MED INSTRUMENTERT BIL (IN SITU).....	59
6.4	METODER OG VALIDITET	60
6.4.1	<i>Kriteria for validering</i>	<i>61</i>
6.4.2	<i>Ekstern validitet.....</i>	<i>61</i>
6.4.3	<i>Validering av SINTEF/NTNU simulatoren.....</i>	<i>61</i>
7	REFERANSER.....	63

1. Bakgrunn

1.1 Prosjektbeskrivelse

Prosjektet E39 Rogfast inngår i utviklingen av kyststamveien fra Trondheim til Kristiansand hvor intensjonen er å utbygge transportnettverket slik at det muliggjør sammenkoblingen av naboregioner i vest til en enhetlig og sterk landsdel. E39 Rogfast er et sentralt vegprosjekt for å forløse transportgevinster gjennom å styrke Boknafjordsambandet som er en nøkkelregion i nord-sør-trafikken mellom knutepunktene på Vestlandet.

Utbyggingen av Boknafjordsambandet arbeides med ut fra to alternativer, der en undersjøisk tunnel på 24 km fra Mekjarvik i Randaberg til Arsvågen i Bokn er alternativet til et økt fergetilbud. Den undersjøiske tunnelen vurderes også koblet sammen med en 2 km tunnelarm til Kvitsøy. Skulle tunnelalternativet gjennomføres, vil det bli verdens lengste undersjøiske tunnel.

I forbindelse med planleggingen av E39 Rogfast, som nå er inne i fasen med konsekvensutredning og kommunedelplan, har Statens vegvesen Region Vest kontaktet SINTEF for å få svar på en rekke problemstillinger knyttet til menneskelige faktorer.

1.2 Problemstillinger

Følgende problemstillinger ønskes vurdert ut fra erfaringene SINTEF sitter inne med fra Lærdalstunnelen og evt. andre forskningsprosjekter:

1. Er undersjøisk tunnel mer ugunstig i seg selv?
2. Hvordan slår stigninger ut med tanke på utrygghet, og er det forskjell på 5, 7, 8 og 10 %?
3. Har stigningens lengde betydning?
4. Er kryss på tunnelstrekningen ugunstig eller gunstig?
5. Er det en fordel eller en ulempe med 1 eller 2 løp med tanke på opplevelsen av utrygghet?

Basert på kommentarer fra Ove Njå fra Stavanger Universitet ble det lagt til momenter om trafikantene i krisesituasjoner.

2. Teknisk beskrivelse og begrepsavklaringer

2.1 Nøkkeldata

2.1.1 Trafikkgrunnlag

Følgende trafikk tall foreligger for E39 Rogfast:

Trafikk i åpningsåret:	7 000 kjt/d
Trafikk 20 år etter åpningsåret:	15 000 kjt/d
Tungtrafikkandel:	15 %

ÅDT i arm til Kvitsøy: 500 kjt/d.

ÅDT i Byfjordtunnelen er oppgitt til 1000 kjt/d.

2.1.2 Hastighetsnivå

Planlagt fartsgrense er satt til 80 km/t.

2.1.3 Kryssløsninger

Det vurderes påkobling til både Kvitsøy og Byfjordtunnelen.

Følgende alternativer foreligger for påkobling til Kvitsøy:

1. T-kryss
2. Fullstendig rampeløsning
3. Ramper opp til rundkjøring

For påkobling til Byfjordtunnelen er det planlagt enkle ramper uten mulighet til å svinge nordover fra Byfjordtunnelen.

2.2 Ventilasjon

Det foreligger et notat om ventilasjon for E39 Rogfast (Lotsberg, 2006). Notatet gjør rede for ulike alternativer for ventilasjon avhengig av hvilke påkoblingspunkt som blir valgt. Notatet tar for seg behov for renseanlegg for støv. I alternativ 1a er det beskrevet et behov for sluser i form av to kjøreporter på tunnelarmen fra Kvitsøy for å forhindre undertrykk i tunnelen.

Notatet inneholder ikke informasjon om prinsipper for ventilasjonsretning, kriterier for når ventilasjonen skal være i drift og hvordan ventilasjonssystemet skal brukes ved en brannsituasjon.

2.3 Begrepsavklaring: Fryktreaksjoner og utrygghet

2.3.1 Fryktreaksjoner

Menneskers følelser og atferd er regulert av deres oppfattelse av en situasjon. En situasjon er dermed ikke bestemmende i seg selv for hvilke opplevelser de gir opphav til, men heller gjennom de fortolkninger situasjonen gis (Beck, 1995). Sentralt for fortolkningsprosessene av en situasjon er *grunnleggende antakelser, tidligere erfaringer, holdninger, og kognitive attribusjoner*. Utfallet av fortolkningsprosessene i møte med den gitte situasjonen gir opphav til bestemte reaksjoner i form av atferd og ulike følelser.

Fryktresponser er en negativ reaksjon på en situasjon som oppleves som ubehagelig, truende og uønsket. Frykt gir seg utslag i et sett av reaksjoner hvor flere ulike kroppssystemer er aktive. De kroppslige fryktreaksjonene kan være hjertebank, svetting, skjelving og munntørrhet.

Psykologiske fryktreaksjoner kan være opplevd pustebevis, ensartet tenking, svimmelhet, katastrofetenking, og følelsen av å miste kontroll. Slike sterke fryktreaksjoner ledsages gjerne av unnvikelsesatferd for situasjoner som personen vet eller tror er utrygge. I den grad sterke fryktreaksjoner knyttes til spesifikke og avgrensede situasjoner, har man med fobier å gjøre.

Muligheten for å utvise fryktreaksjoner er medfødt for mennesket, og reaksjonene assosieres med opplevelser personer har. Likefullt er det slik at noen situasjoner synes å vekke mer frykt enn andre. Øhman (1992) har argumentert for at det her finnes en biologisk forankret forberedthet til å tilegne oss fryktresponser under noen betingelser framfor andre. Situasjoner som tenkes å ha en relevans for artens overlevelse i et evolusjonistisk perspektiv er lettere å knytte an frykt til. Eksempler her kan være begrensning av bevegelse, mulighet til å rømme, mørke, eller manglende oversikt i omgivelsene.

Forskning på hjernestrukturer og deres rolle i fryktresponser har vist at flere deler av hjernen er involvert i opplevelsen og moduleringen av fryktresponser (Le Doux, 1996). De kroppslige symptomene (hjertebank, svetting, skjelving, etc) ser ut til å kontrolleres av dypere hjernestrukturer (amygdala, hippocampus), mens de mer kognitivt (rasjonelle) opplevde symptomene (opplevd pustebevis, uro for å miste kontroll, katastrofetenking, etc) styres av hjernestrukturer i de ytre lag av hjernen (cortex). Dette betyr at inntrykk fra en situasjon vil aktivere instinktive reaksjoner, hvorpå de mer rasjonelle sidene av opplevelsene blir aktivert umiddelbart etterpå. Det kognitive systemet er med på å regulere hvordan fryktresponsene får utløp, samt bidra til en læringsprosess der situasjon lagres i hjernen som farlig – og dermed utløser frykt på et tidligere tidspunkt ved neste møte med situasjonen.

Dette betyr at mennesker reagerer med instinkt på situasjoner som oppleves som truende, hvorpå en opplevelse av kontroll og mening er med på å redusere frykt og organisere atferd og følelser.

Fryktresponser har da følgende grunntrekk:

1. et medfødt sett av fryktresponser i form av kroppslige og psykologiske symptomer
2. en biologisk forankret 'forberedthet' på enkelte situasjoner med evolusjonistisk relevans
3. et rasjonelt system for kontroll og moduleringen av frykt
4. innlæring av frykt gjennom assosiasjon mellom situasjon og reaksjoner.

Dette betyr at enkelte situasjoner og omgivelser vil ha en særegen evne til utløse frykt hos mennesker, der det innebærer at vedkommende utsetter seg for noe som ut fra en evolusjonistisk perspektiv var truende for artens overlevelse. En håndtering av frykt må da søke mot å redusere aspekter ved situasjonen som aktiverer frykten, samt gi god informasjon og mulighet til handling slik at frykten kan kontrolleres. Gjennom utforming og design kan ikke-truende omgivelser skapes, samt at tilrettelegging av sikkerhetstiltak og informasjon bidrar til å styrke muligheten til å takle eventuell frykt som dukker opp.

Fryktresponser og innlæring av disse er knyttet til situasjoner, mens mennesker også har forventinger som er langsiktige og mer generelle. Oppfattelse av risiko er grunnleggende for mennesker, og er en aktiv del av hvordan en organiserer sine liv. Noen mennesker søker risiko, andre søker seg bort fra det. Mennesker som utsettes for uønsket risiko opplever dette som negative erfaringer. Denne negative erfaringen har flere aspekter, hvor utrygghet, bekymring og frykt er typiske beskrivelser. Disse negative erfaringene varierer i grad av intensitet, helt fra lett ubehag og bekymring til sterk frykt, panikk og angst.

Utover variasjon i intensitet, så vil utrygghet vektlegge ulike aspekter av den negative opplevelsen. 'Ubehag' knytter seg til reaksjoner på luft, lys, og lydforhold. Mye eksos og dårlig belysning forsterker opplevelsen av et ugunstig miljø for trafikanten og gir ubehag. Angst og sterk frykt knytter seg mer til kroppslige og psykologiske prosesser hvor trafikanten frykter at "noe skal skje", f.eks. at tunnelen bryter sammen eller at de blir 'fanget' i tunnelen. Både ubehag og angst/frykt vil sammen påvirke det opplevde nivået av utrygghet/trygghet.

2.3.2 Utrygghet og tunnel

Utrygghet retter seg mot de omgivelsene vi befinner oss i, og er sentral for hvordan vår atferd tilpasses de faremomenter vi omgir oss med. Således blir utrygghet viktig for planlegging innen transportsektoren, hvor spørsmålet er i hvilken grad vegene og trafikken oppleves som en risiko.

Tunneler er en særegen vegstruktur som oppleves som annerledes og spesiell av trafikanten. De opplever en økt risiko og føler seg mer utrygge i tunneler enn på vanlig veg, til tross for at statistikk over ulykker og hendelser ikke underbygger dette. Sjåførere som bes rangere ulike vegstrukturer anser åpent landskap som mest ønskelig å ferdes i, mens tunneler rangeres lavt. Undersjøiske tunneler er ansett som minst foretrukket vegmiljø. Videre kommer det fram i dybdeintervjuer at trafikanten selv ønsker mer fokus på å gjøre tunneler til mer trivelige miljø å ferdes i (jmfør kap. 3) Det innebærer at spørsmål om utrygghet er spesielt viktige i planleggingen av undersjøiske tunneler.

Tunneler ser ut til å ha en særegen status som vegstruktur, hvor den 'biologiske forberedtheten' kan være en mulig forklaringsfaktor. Denne typen omgivelse er preget av begrenset bevegelsesmulighet, fravær av naturlig lys, dårlig luft, osv. Dette kan utløse følelser som gir grunnlag for økt bekymring. Trafikantene opplever ikke bare tunneler "rasjonelt" (statistikk/ulykker), men reagerer følelsesmessig på omgivelsene.

Trafikantenes handlinger er i stor grad styrt av hvordan vi forholder oss til risiko, men dette skjer gjennom en avveining opp mot de positive og nyttige aspektene ved risikosituasjonen. Nivået av utryggheten vil da på den ene siden være knyttet til de konkrete omgivelsene, men også balanseres mot nytten av å utsette seg for risiko. Dette betyr at utrygghet knyttet til tunneler vil relateres til tunnelens utforming, men også til den eventuelle nytten av å bruke tunnelen (f.eks. spart tid, økt mobilitet). De refleksjonene personer gjør seg om nytte kan slik bidra til å dempe frykt og motiverer til å kontrollere den.

Utrygghet påvirkes ikke bare av opplevelse og tanker omkring den aktuelle situasjonen. Utrygghet er også påvirket av kjennskap til andre hendelser i lignende situasjoner (Slovic 2000). For eksempel, så vil nivået av utrygghet øke ved bred mediaomtale av ulykker eller negative hendelser i andre tunneler, til tross for at individet selv ikke var innblandet eller at den tunnelen som benyttes har den samme utforming og funksjon.

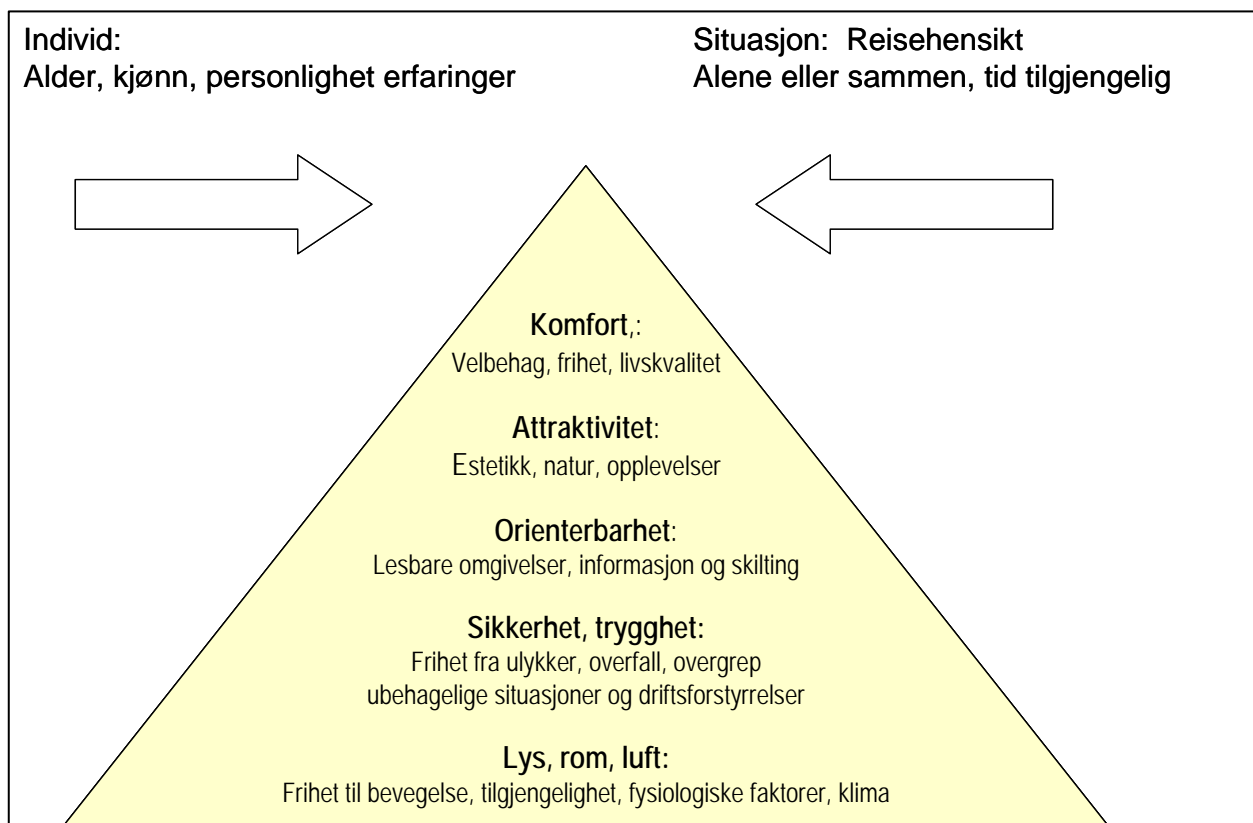
Et viktig poeng med opplevd utrygghet er at nivået ikke er statisk. Det forandrer seg og endres i takt med de samlede opplevelsene trafikantene har ved de konkrete situasjonene de befinner seg i, samt situasjoner som de får kjennskap til.

2.3.3 Behovshierarki for trafikanter

På bakgrunn av teori om komfort og trygghet og arbeid med disse begrepene i Lærdalsprosjektet (Jenssen, 1998) og Prompt prosjektet (Øvstedal et al., 2000) har vi satt opp følgende hypoteser:

- 1) Komfort og trygghet for fotgjengere er hierarkisk; slik at behov på et lavere nivå må oppfylles før behov på et høyere nivå har betydning.
- 2) Komfort og trygghetsfaktorene har forskjellige verdier og rangering i ulike trafikkmiljø, avhengig av våre forventninger.
- 3) Komfort og trygghetsfaktorene har forskjellige verdier og rangering avhengig av situasjonsfaktorer som formål med reisen, følge og tilgjengelig tid.
- 4) Komfort og trygghetsfaktorene har forskjellige verdier og rangering for ulike grupper trafikanter avhengig av alder, kjønn, og personlighet.

Vi har forsøkt å plassere de ulike komfort og trygghetsfaktorene i et behovshierarki:

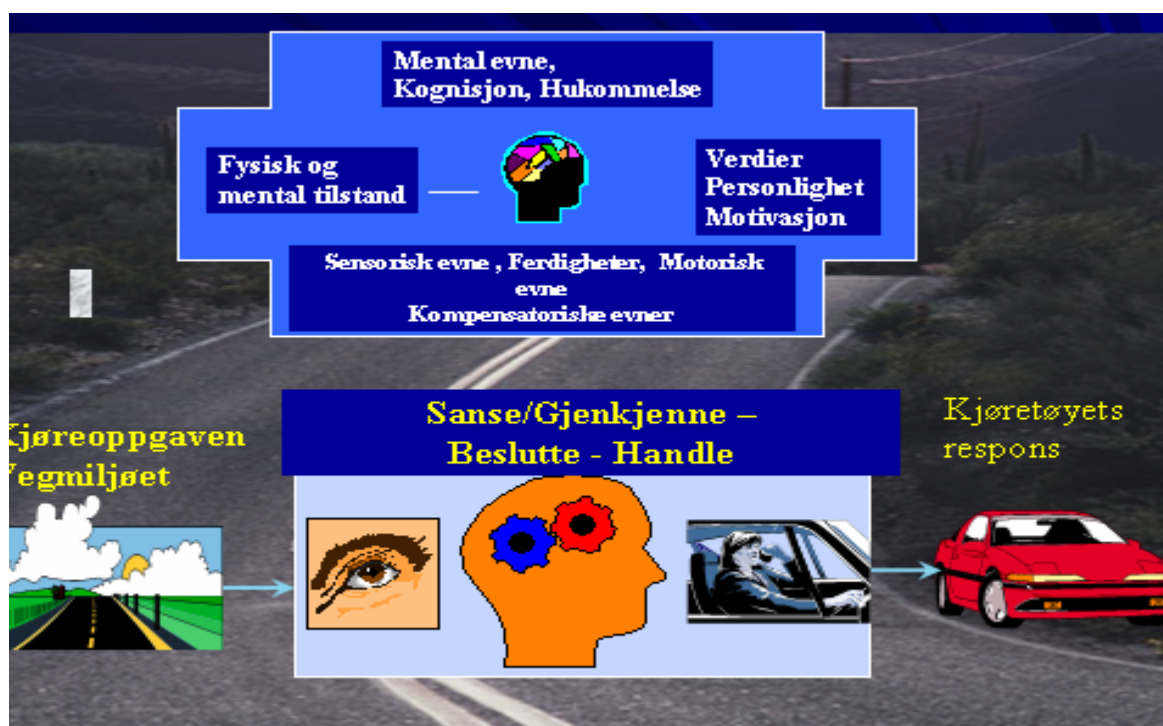


Figur 2-1: Hierarkisk modell av komfort og trygghetsfaktorer for trafikanter (Jenssen1998/Øvstedal 2000)

Behovshierarkiet er viktig i forhold til aktuelle tiltak for trafikanter. Behov på laveste nivå må være oppfylt før komfort eller trygghetsfaktorer på høyere nivå har betydning. Det gir ingen mening å investere i vegkunst eller sosiale møteplasser hvis det ikke er lys nok til å se, nok luft å puste i eller plass til å bevege seg.

Viktig for diskusjonen av trygghet/utrygghet i E39 Rogfast er det å merke seg at det er en teoretisk sammenheng mellom faktorer som *sikkerhet*, *trygghet* og *komfort* (Figur 2-1). De teoretiske sammenhengene har betydning for valg av tiltak. Rekkefølgen og sammenhengene mellom faktorene i behovshierarkiet er bekreftet gjennom faktoranalyse av 47 semantiske miljøvariable tilknyttet tunnel (Jenssen 1998) og et tilsvarende antall semantiske miljøvariable tilknyttet vegmiljø for fotgjengere (Øvstedal et al., 2000).

Ut i fra et systemteoretisk perspektiv er det ikke bare de fysiske omgivelsene som påvirker trafikantens opplevelse og atferd men et samspill mellom vegen, trafikanten og kjøretøyet. Figur 2-2 viser en teoretisk sammenheng mellom vegmiljø, fører og kjøretøy.



Figur 2-2: En systemteoretisk modell for samspillet mellom vegmiljø, fører og kjøretøy og de personrelaterte faktorer som påvirker opplevelse og atferd (Jenssen 2006).

I forhold til diskusjon av tiltak i E39 Rogfast er det viktig å merke seg at ikke alle trafikanter søker trygghet. I følge Zuckerman (1994) har folk ulikt behov for trygghet og ca. 10 % av befolkningen er såkalte risikotakere ("sensation seekers"). Risikotakere kjennetegnes ved at de oppsøker fare, spenning og bevisst bryter lover og regler. Tiltak som virker gunstig på engstelige trafikanter kan hypotetisk ha helt motsatt effekt på risikotakere. Særlig er dette viktig i forhold til tiltak som påvirker fart og fartsopplevelse.

2.3.4 Bevegelse og utrygghet

Den menneskelige opplevelsen av bevegelse er forankret i den biologiske utviklingen av mennesket som art. Menneskets bevegelse er begrenset i forhold til den utformingen kroppen har – vi beveger oss ved å gå eller løpe. Gjennom teknologi beveger vi oss langt forbi de begrensningene som kroppen naturlig har. Teknologien gjør oss raskere, og verden oppleves annerledes i de hastighetene transportmidler tillater.

Biologisk sett, så poengterer menneskelig bevegelse forholdet mellom omgivelsene (verden), hvor vi er (posisjon), hvor vi skal (retning), hva vi gjør (bevegelsen). Tunneler er her en meget utfordrende kontekst for opplevelse hvor vi utfordres på at vi befinner oss i en 'begrenset verden' som er lukket og bevegelsesalternativene er reduserte. Dette har flere konsekvenser for vår opplevelse av våre omgivelser, deriblant for opplevelse av utrygghet.

Ut fra et psykologisk perspektiv kan utforming av tunnel knyttes primært til to aspekter:

1. Negativ tilpasning ved monotoni grunnet et fattig sensorisk miljø (senket oppmerksomhet og/eller ubehag, desorientering)
2. Utrygghet ved begrensede handlingsmuligheter gjennom 'biologisk forberedthet'. (grad av utrygghet, redsel).

2.3.5 Etiske begrunnelser for tunnelutforming

Det er gode argumenter for at tunnelens utforming må rettes inn mot å redusere og minimere opplevelser av utrygghet, samt fremme positive opplevelser. Argumentene relaterer seg til en etisk problemstilling, der spørsmålet gjelder i hvilken grad vegprosjektet tilstreber å inkludere en bredest mulig andel av befolkningen. Dette gjelder særlig for et tunnelprosjekt der det ikke er omkjøringsmuligheter eller gode transportalternativ når tunnel erstatter ferge. Tunnelen kan bli en 'udemokratisk løsning' for de som har aversjon mot å kjøre i tunnel når det ikke finnes rimelige alternative kjøreruter/transportalternativ utenom tunnelene. Med dårlig lys i tunnelene er det et problem for eldre bilførere som trenger godt lys, hvor spesielt gruppen av eldre sjåførere blir rammet.

Målet er å skape vegmiljøer som oppleves som minst mulig truende og utrygge for de som ferdes der, og dermed inkludere flest mulig trafikanter. Og dette må gjenspeiles i den faktiske utformingen og dimensjoneringen av den gitte vegstrukturen.

Spørsmålet er da hvilke utforminger som kan bidra til redusert utrygghet og økt positiv opplevelse. For transportplanlegging blir dette et spørsmål om ta utgangspunkt i mennesket og dets opplevelse av bevegelse, samt inkludere den kunnskap man har om variasjoner mellom grupper av trafikanter.

3. Besvarelse av problemstillinger

3.1 Er undersjøisk tunnel ugunstig i seg selv?

E39 Rogfast aktualiserer noen helt konkrete utfordringer når mennesket og teknologi skal virke sammen. Vi søker her å gi svar på om undersjøiske tunneler er mer ugunstig enn andre typer tunneler. Vurderingen avgrenses til en psykologisk (opplevelsesmessig) forankret diskusjon, og tildels en sikkerhetsmessig vurdering som vil vektlegge utrygghet og frykt, men også kommentere andre aspekter kort.

Vurderingen gjøres med utgangspunkt i generell kunnskap omkring problemområdet, forskning på området og erfaringer fra lignende prosjekt.

Forhold knyttet til om undersjøisk tunnel er et ugunstig valg av transportløsning (tunnel versus, ferge, hyppigere ferge osv), og ulykkesrisiko (ROS analyse, rømningsmuligheter, brannrisiko og lignende) ligger utenfor mandatet, og vil bli besvart av andre som ledd i konsekvensutredningen av E39 Rogfast.

Selv om sannsynligheten for større ulykker er lavere i tunnel enn på vanlig trafikkert veg, er katastrofepotensialet høyere. En brannulykke i en tunnel vil kunne få svært alvorlige konsekvenser. Ekstrem varme og giftige gasser er de største truslene. Utover disse objektive risikofaktorene, finner man de psykologiske faktorene, og disse vil bli kommentert i det følgende.

3.1.1 Begrensede handlingsmuligheter og utrygghet

Tunneler representerer en begrensning av bevegelse, hvor sjåføren kan føle seg fanget og omringet. Tunnelveggene bestemmer og reduserer hvilke muligheter for bevegelse som sjåføren har – framover eller bakover. Denne restriksjonen av alternativer er en negativ opplevelse og aktiverer naturlige frykt og angst responser hos mennesket gjennom en 'biologisk forberedthet' (se pkt 2.3.1).

Utryggheten knytter seg til at sjåføren opplever begrensede handlingsmuligheter om de skulle konfronteres med en kritisk situasjon eller hendelse, samt at negative konsekvenser ved eventuelle uhell øker betraktelig. En naturlig reaksjon på fare er å kunne trekke seg unna og unngå skade. Tunneler blir her da noe som hindrer dette, og gir opphav til opplevelse av utrygghet og høy risiko.

Trafikanter kjenner kanskje til at det ikke er noen rasjonell grunn til at biler skulle krasje oftere i tunneler enn ellers, men i tilfelle det skulle skje – så oppleves mulighetene til å unngå dette eller verge seg betraktelig redusert.

3.1.2 Utrygghet i tunneler: Forskning på området

I argumenter og arbeid med å skape et effektivt og sammenhengende transportsystem for næringsliv og kystbefolkning (kystriksvei) er det lett å glemme at ikke alle trafikanter trives i tunnel, og særlig ikke undersjøisk tunnel.

Studier av reaksjoner til forskjellig type omgivelser viser at lukkede strukturer kan medføre ubehagelige erfaringer. Eksempelvis vil en åpen kulvert med høye støyskjermer på siden vekke ubehag og angst, men ikke like mye som en relativt flat og rett landbasert vegtunnel i fjell eller et underjordisk parkeringsanlegg. Der det underjordiske parkeringsanlegget ofte kan gir mer ubehag og angst enn de to førstnevnte (avhengig av utforming). Slike underjordiske anlegg har et annen bruksområde enn tunneler, og sammenligning blir dermed generell.

Tunnelen er også en type lukket struktur, som i tillegg til å være lukket også kan være undersjøisk. Dette kan være med på å gi ubehagelige assosiasjoner utover hva underjordiske anlegg gir.

For noen gir det så ubehagelige assosiasjoner at de ikke under noen omstendighet vil kjøre i en undersjøisk tunnel (avvisningseffekt). Andre vil klare benytte tunnelen til tross for det ubehag angst eller uro det vekker, men da benytte tunnelen minst mulig. Dette blir et spørsmål om nytteverdi, der alternative reisemåter er for kostbare og tidkrevende, eller fordi ubehaget, angsten tross alt ikke er mer alvorlig enn at det er til å leve med på en avgrenset del av reisen.

Utbredelsen av invalidiserende klaustrofobi i den norske befolkning er anslagsvis 1-6 promille. Undersøkelser anslår andelen trafikanter med sterk angst og fobi til å være i underkant av 1 % (Gøtestam et al., 1992; Rein, 1989). Videre opplever rundt 4 % av sjåførene tunneler som meget negativt (Midtland, 1992). Man forventer at det i ulik grad vil være en evne blant de med meget negative holdninger til tunnel og fobiske tilstander til å overvinne dette og faktisk bruke tunnelene.

Undersøkelser på undersjøiske tunneler viser at avvisningseffekten varierer fra promille (i underkant av en prosent) til i verste fall 5 %.(Christensen & Beckman, 1992; Amundsen, 1992). At hele 5 % kan avvises er relativt mye sett i forhold til europeiske retningslinjer for vegbygging, er målet er at vegsystemet skal være tilpasset 85 % av trafikantene.

Ser vi på hvordan forholdet til tunneler varierer over landegrensene, viser studier for:

- Norge Eksponering for tunnel

TNS Gallup (2004) viser i en landsomfattende undersøkelse at 43 % ferdes slik at de må passere en eller flere tunneler 2 eller flere dager i uken. Det betyr at nærmere 2 millioner nordmenn kjører gjennom flere tunneler flere ganger ukentlig, og at 1,2 millioner av dem ikke vet hva de skal gjøre hvis det begynner å brenne.

Redsel for vegtunneler generelt

TNS GALLUP (2004): viser at 15 % av trafikantene føler ubehag eller rett og slett er redde når de kjører gjennom tunneler. Flest frykter brann og tykk røyk (36 %), deretter møtende yrkestrafikk (23 %). Kvinner føler i størst grad ubehag med tunneler, og kjenner i mindre grad til forholdsregler ved brann.

Human Factors Solutions (1990): ca. 20 % kjenner angst og uro i tunneler
50 % av kvinnene i utvalget føler angst uro ved kjøring i tunnel, og
ca. 7 % kunne tenke seg å kjøre 5 km ekstra for å unngå en tunnel.

Statens vegvesen (1986-1995): 6-9 % av trafikantene opplever tunnelkjøring som negativt.

TØI (Midtland, 1992): 4 % opplever tunneler som meget negativt.

Høytrafikk tunneller

Statens vegvesen (Amundsen, Nielsen & Østenstad, 1995): 9-12 % negativ til tunnel.

Fordelt på:

- 12 % liker ikke køkjøring i tunnel.
- 39 % av kvinnene føler utrygghet når de passerer av tunge kjøretøy
- 20 % av menn føler utrygghet når de passerer av tunge kjøretøy

Lavtrafikk tunneler

Statens vegvesen (1986-1995) 6 % negativ til tunnel

Undersjøiske tunneler

Statens vegvesen (1992) 4-12 % av trafikantene negative til kjøring i undersjøiske tunneler

Lange tunneler

SINTEF (Jenssen et.al.1997): Ca 30 % av trafikantene (gjennomsnitt for utvalget) føler det er farlig å kjøre i lange tunneler. Fordelt på:

- 20 % norske menn frykter å kjøre i lange tunneler
- 40 % norske kvinner frykter å kjøre i lange tunneler
- 45 % eldre førere frykter å kjøre i lange tunneler

- Danmark

Undersjøisk tunnel

Odense Universitet (Christensen & Beckman, 1992): 38 % av danske førere er redd for å kjøre i tunnel under vann.

5 % vil ikke under noen omstendighet kjøre gjennom en undersjøisk tunnel.

- Sverige

Høytrafikkert tunnel

TFK (1994): Betalingsviljen for å unngå forsinkelse/kø er dobbelt så stor for tunneler sammenlignet med veg i dagen.

- Østerrike

Lang tunnel

Intervju av 1275 trafikanter i den 14 km lange Arlberg tunnelen

41 % mente turen hadde vært ubehagelig

8 % hadde en følelse av beklemthet/angst

Andelen som føler frykt angst og utrygghet ved kjøring i tunnel varierer fra land til land og med type tunnel. Spørsmålstillingen kan forklare noe av forskjellene, samt erfaringen trafikanter har med tunnel i de ulike utvalgsområdene eller land. Helhetsinntrykket indikerer likevel at tunneler og særlig lange undersjøiske vil utgjøre et betydelig problem med hensyn på trafikantenes opplevelse av trygghet. Tar vi utgangspunkt i den ferskeste undersøkelsen fra TNS Gallup (2004) så er 500.000 nordmenn redde for å kjøre i tunnel og 30.000 kjører aldri i tunnel på grunn av utrygghet.

Human Factors Solutions (1990) gjennomførte dybdeintervju av 50 trafikanter omkring forholdet til tunneler. Så mye som halvparten av kvinnene i utvalget ga uttrykk for at de var plaget av angst og uro ved kjøring i tunnel. Unge og middelaldrende menn ga overveiende uttrykk for at tunneler er morsomme å kjøre i, praktiske, tidsbesparende og en god løsning på trafikkmessige problemer. Eldre menn ga derimot uttrykk for et negativt forhold til tunneler. Med svekket syn oppleves de som mørke og trange. Plassering i vegbanen og passering av tunge kjøretøy blir vanskelig når vegkanten er vanskelig å se og tunnelveggen føles nær.

Selv om undersjøiske tunneler og særlig midtpartiet i undersjøiske tunneler objektivt og statistisk sett har lav ulykkesrisiko, viser intervjuene at trafikantenes frykt for lekkasjer og drukningsdød er tildels irrasjonell (Solutions, 1992). Det faktum at det har vært hendelser tilknyttet vannansamlinger i undersjøiske tunneler (eksempelvis Oslofjordtunnelen) forsterker frykt, angst, selv om det på verdensbasis hittil ikke er registrert trafikkulykker i undersjøiske tunneler på grunn av vannlekkasje.

Fra 1992 til 1995 gjennomførte Vegdirektoratet en serie undersøkelser av trafikantenes opplevelse av å kjøre i tunnel. Tre postkortundersøkelser ble gjennomført i tilknytning til Hvaler tunnelen, Flekkerøy tunnelen og Ålesund tunnelen.

Resultatene viste at 12 % av trafikantene i Hvaler tunnelen hadde en negativ opplevelse av tunnelen. Den tilsvarende andelen for Ålesund tunnelen var 4,5 % og for Flekkerøy 4 %. Like nyttig kan det være å se på andelen som er svært positiv eller positiv til de undersjøiske tunnelene.

Bare 10 % er positiv til å kjøre i Ålesund tunnelen 12,5 % til Hvaler tunnelen og 19 % til Flekkerøy tunnelen. Til sammenligning viser en spørreundersøkelse i en lang fjelltunnel på land (Gudvangen) at hele 60 % opplever det som positivt.

Kombinasjoner av lengde, stigningsgrad, veggutforming og lysforhold kan være medvirkende til forskjeller i opplevelse. Undersøkelser viser at 30 % av trafikantene føler ubehag ved kjøring i lange tunneler (Jenssen et al., 1997). Trafikanter i lange tunneler klager på dårlige lysforhold, utrygghet, klaustrofobi og savnet av en mulighet til å snu. Undersjøiske tunneler som er korte, lyse og har mindre stigning gir mer positiv opplevelse og mindre negativ kjøreopplevelse i form av ubehag/angst.

Forhold som forsterker de negative opplevelser var hovedsakelig at tunnelene ble opplevd som:

- Trange
- Lange
- Glatte
- Farlige
- Stressende
- Uoversiktlige
- Mørke
- Vond lukt

De som var positive til de undersjøiske tunnelene opplevde de som:

- Brede
- Godt belyste
- Avslappende
- Spennende
- Snarveger

Undersøkelsene omkring opplevelsen av de undersjøiske tunnelene overfor hadde en svarprosent på 30 % og var hovedsakelig besvart av menn (70 %). Svarene var ikke fordelt på alder. Generelt er unge og middelaldrende menn mye mer positive til kjøring i tunnel enn eldre menn. Kvinner generelt oppgir at de opplever mer angst og ubehag ved kjøring i undersjøiske og lange tunneler enn menn. Andelen eldre i trafikken er økende og eldre er generelt svært negative til å kjøre i tunnel.

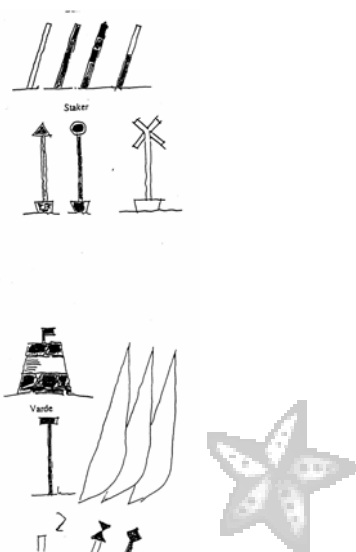
Det er derfor grunn til å anta at andelen trafikanter som er negative til undersjøiske tunneler er enda høyere enn vist i trafikantundersøkelsene gjennomført av vegdirektoratet i perioden 1992-1995.

Behov for tiltak som gjør undersjøiske tunneler attraktive og tilgjengelig for alle trafikanter er til stede.

3.1.3 Utrygghet i tunneler: Mulige tiltak

Kunst eller kunstnerisk belysning er et potensielt tiltak for å redusere utrygghet. Kunstneriske tiltak i undersjøiske tunneler kan virke både positivt og negativt. I den undersjøiske tunnelen "Boston Artery Tunnel" var det i en tidlig prosjektfase forslag om bruk av fisk og skalldyr i kunstnerisk utforming på tunnelveggene. Dette gikk man bort fra fordi det minnet trafikantene om at de var under havet og bidro til forsterket angst, utrygghet og fare for ulykker.

I Oslofjordtunnelen var det også i en tidlig prosjektfase et uttalt siktemål å bruke maritime elementer i veggdekorasjoner. Dette førte til diskusjon om temaet på flere tunnelseminar. Med bakgrunn i erfaringer fra Boston Artery Tunnel og faglige argument ble ideen om å bruke sjøstjerner sjømerker og lignede på veggene i Oslofjordtunnelen lagt på is.



Figur 3-1: Forslag til sjømerker, maritime figurer i Oslofjordtunnelen (Amundsen & Solli, 1996)

Vegkunst eller kunstnerisk belysning i tunnel kan på det psykologiske og estetiske plan være en positiv opplevelse som bidrar til trygghet og glede, men også i enkelte tilfeller angst. Så lenge angstfylte assosiasjoner kan unngås vil vegkunst eller kunstnerisk belysning være en vekker på lange turer i et ensformig vegmiljø. Kunstnerisk utsmykking kan bidra til å flytte fokus bort fra fryktinduserende assosiasjoner og derav redusere frykt.

Spesielle tiltak i form av bergrom, belysning og kunst kan føre til reduksjon av frykt og angst for lange tunneler. Slike tiltak bryter ensformigheten, monotonien. Tiltaket brukt i den 24.5 km lange Lærdalstunnelen gir en uteopplevelse og er et klart positivt brudd i reisen. Tre belyste bergrom bidrar til å dele tunnelen opp i 4 seksjoner.

Slike bergrom er også testet i simulator og fysisk lagt inn i verdens lengste toløps tunnel (Zhongnan tunnelen) gjennom fjellkjeden Qinling på strekningen mellom byene Xian og Ankang som er en del av den indre stamvegen mellom Nord og Sør-Kina. Det er en høytrafikkert toløpstunnel der hvert løp er 18 km langt og har to kjørefelt i hver retning.

De seks bergrommene i Zhongnan tunnelen har fått en annen fysisk utforming og kunstnerisk belysning enn i Lærdalstunnelen (Jenssen et al., 2006). Tiltaket er tilpasset envegs trafikk og kinesisk kultur. Planene og designet for bergrom med belysning er kvalitetssikret i kjøresimulator der 20 kinesiske sjåførere og 20 nordmenn har kjørt gjennom tre ulike design alternativ. Det mest

optimale tunnelalternativet med hensyn på opplevd kjørekomfort og sikkerhet er nå implementert i den virkelige tunnelen.

Basis



Interiørmessig design for 3 bergrom i tunnel alternativ 1 “Basis” Alle var identiske med bildet i midten. Bildet til venstre viser utløp i østlig retning. Bildet til høyre viser ubelyst rundkjøring utenfor tunnelaksen ved ventilasjons tunnel mot Tynjadalen.

Vann



Interiørmessig design av 3 bergrom i tunnelalternativ 2, “Vann”(Svv Sogn og fjordane ved Kåre Ljones). Tre ulike design med variasjon i farge og tekstur, men innen samme tematiske ramme. Første og siste bergrom kalt “Under vann,”. Midtre bergrom kalt “Under isbre”.

Bergkrystaller



Interiørmessig design av 3 bergrom i tunnelalternativ 3, “Bergkrystaller”(kunstner Brit Dyrnes). Tre ulike design med variasjon i farge og tekstur, men innen same tematiske ramme. Første bergrom kalt “Blå bergkrystaller”, Andre bergrom kalt “Grønne bergkrystaller”, Tredje bergrom kalt “Energi”.

Utendørs opplevelser



Interiørmessig design av 3 bergrom i tunnelalternativ 4, “Uteopplevelser”(Pir II arkitekter A/S). Tre ulike design med variasjon i farge og tekstur, men innen same tematiske ramme. Første bergrom ble kalt “Fjell”, andre bergrom kalt “høst” og tredje bergrom kalt “Grønnskog”.

Figur 3-2: Design alternative testet i kjøresimulator for Lærdalsprosjektet (Jenssen 1998))

Erfaringer fra St. Gotthard tunnelen i Sveits (16.5km lang) viser at andelen ulykker på grunn av trøtthet/sovning ble kraftig redusert etter at spesielle lyseffekter ble installert hver 1500 m.

Erfaringene fra Lærdalstunnelen er så langt også overveiende positive. Det har bare skjedd 3 ulykker i Lærdalstunnelen på de 6 årene den har vært i drift. En av disse ulykkene er utforkjøring der en av flere forklaringer kan være avsovning.

Under simulortestene av Lærdalstunnelen, fant SINTEF (Jenssen, 1998) signifikante effekter av tiltak. Blant annet mindre hastighetsvariasjoner, hvilket er positivt for trafikksikkerheten. Videre viste simulortestene at bergrom med visse former for kunstnerisk belysning evnet å skape trygghet uten å distrahere førere. Unntaket var bruk rødt lys som skapte en illusjon av brann i tunnelen. Enkelte førere bråbremsset når de oppdaget det rødlige lyset i tunnelen.

Videre viste forsøkene i simulator at enkelte førere vinglet eller mistet styringen når en ubelyst og uannonisert luftetunnel brått åpenbarte seg som et sort hull til siden uten forvarsel eller belysning. Lignende resultat med hensyn på sikkerhet og opplevd trygghet er oppnådd i simulortester av den kinesiske Zhongnan tunnelen der bruk av øyebevegelseskamera har dokumentert at designløsningene ikke virker distraherende for førere.

Det vil alltid være fare for at objekter (vegkunst) eller lys som tiltrekker seg menneskets oppmerksomhet kan virke:

- distraherende
- forvirrende
- trekke blikket bort fra kjøreretningen
- provosere og hisse opp
- kamuflere andre informasjonen tilknyttet kjøringen
- blende og irritere

Det er viktig å prøve ut tiltak før de iverksettes, hvor kjøresimulator er en kostnadseffektiv måte å prøve ut nye tiltak i realistiske hastigheter og dimensjoner.

3.1.4 Belysning og kontrast: Erfaringer fra Oslofjord, Hitra og Mont Blanc tunnelen

Belysning er en viktig faktor for trafikanters opplevelse av tunneler. Når trafikken er mindre enn ca. 4.000 kjøretøy pr. døgn blir tunnelene utstyrt med en minimumsbelysning som består av en 35 Watt lavtrykk natriumlampe plassert over senterlinja hver 25 m. Dette er blant annet tilfelle for Oslofjordtunnelen. Denne lampetypen gir et ensfarget gult lys. Alle fargede flater i tunnelen blir opplevd som grå. Lysnivået målt i candela pr. kvadratmeter er mindre enn en tiendedels promille av dagslys (0,5 cd/m² i tunnelen og over 10.000 cd/m² ute i dagen).

Formålet med belysning i lavtrafikk-tunneler er å gi trafikantene en optisk føring som viser kurvaturen framover i tunnelen. Belysningen er langt svakere enn normalt gatelys og er ikke ment å erstatte kjørelys.

I tunneler er det mørkekjøring hele døgnet. Tunnelkjøring byr på spesielle utfordringer på grunn av varierende kontrast. En gjenstand sett mot en lysere bakgrunn har negativ kontrast. Kontrasten er positiv når gjenstanden blir sett mot en mørkere bakgrunn.

Inne i en tunnel kan biler ha både negativ og positiv kontrast mot resten av tunnelen avhengig av bilfarge, veggkledning og lokale lysforhold. Kontrastforholdene kan skifte flere ganger på en tur gjennom tunnelen. I overgangene mellom negativ og positiv kontrast oppstår det situasjoner med null kontrast. Det vil si at en gjenstand blir helt usynlig selv på kort avstand. Dette kan skje når en mørk gjenstand gradvis blir opplyst av frontlyset på en bil. Ved kjøring bak en bil med null kontrast, blir omrisset av bilen borte, bare baklykter og eventuelt ekstra refleksutstyr vil være synlig.

Belysningen i Oslofjordtunnelen skiller seg ut fra vanlig praksis ved at en strekning i midtpartiet er utstyrt med en hul lysleder i forbindelse med kunstnerisk effektbelysning.

Denne belysningen gir lavere effekt enn normalt. Det medfører mindre mulighet til å oppdage gjenstander / hindringer i vegbanen som kan føre til uhell / ulykker. Episodene i Oslofjordtunnelen med nedfall fra tak og betydelig mengder vann i vegbanen understreket behovet for god belysning. Dette må selvsagt ikke gå på bekostning av gode vedlikeholdsrutiner inspeksjoner.



Figur 3-3: Tunnelbelysning i midtpartiet av Oslofjordtunnelen (Kilde Statens vegvesen)

Den kunstneriske ideen er god med hensyn på å skape en positiv opplevelse, et avbrett i kjøreturen og et landemerke å orientere seg etter. Men den generelle belysningen med hul lysleder og farget effektlys er for svak til å ivareta sikkerhetsmessige hensyn.

En dødsulykke i den undersjøiske Hitratunnelen viser betydningen av god belysning og kontrast. En lastebil med motortrøbbel seg framover i 5 km/t og fylte tunnelen med svart røyk. En fører som nådde den igjen i stigningen oppdaget den for sent. Passasjeren omkom i ulykken. En trafikant som passerte lastebilen i midtpartiet sa i sitt vitenprov i retten at det ikke bød på problemer å oppdage kjøretøyet i tide. Midtpartiet der han oppdaget lastebilen har imidlertid hvitmalt vegger som gir bedre kontrast og oppdagelsesmulighet. I stigningen er veggene grå/svarte. Svart røyk, mørk bil og svart vegg ga ikke nok kontrast under den rådende belysning til å oppdage kjøretøyet i tide.

Hvis det installeres kunstneriske tiltak i Rogfast bør det være med en tilstrekkelig belysning og lyshet på vegger slik at trafikantene har en rimelig mulighet til å oppdage hindringer / gjenstander i vegbanen tidsnok til å unngå uhell / ulykke.

For å bedre kontrastforholdene bør hvitmalt vegger eller lys duk (eks. Frøyatunnelen) vurderes. Det vil bedre det generelle lysnivået og føre til at hindringer raskere blir oppdaget. Bedre lys og kontrastforhold vil redusere sannsynligheten for ulykker med påkjøring bakfra og ulykker som følge av at parkerte kjøretøy, hindringer osv.. Tiltaket krever jevnlig vedlikehold / vask for at den ønskede sikkerhetseffekt skal opprettholdes.

Kantbelysning i form av LED-lys bør vurderes for å bedre trygghet og sikkerhet. LED lys gir god optisk føring og kantbelysningen kan føre til at hindringer raskere blir oppdaget. Vann i vegbanen vil f.eks. gi et brudd i belysningen som er lett å oppdage.



Figur 3-4: LED kantbelysning i Grilstadtunnelen (Kilde SINTEF)

På oppdrag fra Statens vegvesen har SINTEF (Augdal, 2004) studert trafikantatferd, og trafikantenes opplevelse av LED lys med hensyn til sikkerhet, trygghet, og kjørekomfort (som funksjon av belysning). Observasjoner over en ukes varighet viste at LED fungerer best ved 47 % lysintensitet og 100 % ordinær takbelysning. LED belysning hadde ingen signifikant effekt på hastighet, men ga en mer optimal plassering i kjørefelt. Trafikantene følte seg tryggere og kjørte nærmere vegkanten. Ved en brannøvelse i Grillstadtunnelen fant brannmannskapene at LED lys var gunstig for redning og evakuering i tett røyk.

Erfaringer med LED lys i høytrafikkert tunnel (E6 øst i Trondheim /Grilstadtunnelen) og for to lavtrafikkerte tunneler i Telemark har vist at slike lys er rimelige i drift og enkle å vedlikeholde. Batterier kan gi lys i 5 timer hvis strømforbindelsen brytes pga. brann eller lignende. Utstyr plassert lavt nede ved vegbanen krever erfaringsmessig oftere rengjøring enn installasjoner høyere opp. Rengjøring er nødvendig for at tiltaket skal ha den ønskede effekt. Ved installasjon i midtpartiet av Rogfastunnelen vil LED-lys imidlertid være mindre utsatt for nedsmussing fra vegsalt, støv, fukt osv. enn nærmere tunnelmunningene.



Figur 3-5: Kantbelysning (LED-lys) for økt komfort og sikkerhet (kilde SINTEF)

Gule LED lys med et blått plassert hver 150m slik som i Mont Blanc tunnelen kan gi trafikantene holdepunkt for sikker avstand til forankjørende. En avstand gitt ved avstanden mellom blå lys. Slike øker trygghet, reduserer andelen som følger med ubehaglig kort avstand og kan redusere risikoen for påkjøring bakfra. Ved kjøring i tunnel tekker trafikanten ubevist unna tunnelveggen, og legger seg nærmere midtlinjen. Det innebærer at kjøretøy passerer svært nær i en tunnel med toveis trafikk. Også i tunneler med enveistrafikk vil det være gunstig for trygghetsfølelse. Økt avstand mellom kjøretøy i flerfeltstunnel reduserer risikoen for hendelser, ulykker.



Figur 3-6: Gule og blå LED lys i Mont Blanc tunnelen (Ernst et al.2006))

Lysnivå og kontrast avhenger ikke bare av lyskilden, men også lyshet på vegger og vegbane. Bruk av brennbar hvitmaling som kan bidra til brannutviklingen og gi giftige branngasser bør unngås. Lyse vaskbare veggmaterialer som ikke er brennbare kan være et godt alternativ.

3.1.5 Tunneler og monotoni

Kjøring i lange tunneler med få møtende biler, svak belysning og grå/mørke vegger gir lite eller ingen stimulering til hjernen. Den jevne avstanden mellom lyspunkt over senterlinja, som gir et lysblink pr. sekund ved normal kjørefart, er med på å forsterke følelsen av monotoni. Når det skjer ett eller annet som krever rask reaksjon, vil sjåføren bruke mer tid enn normalt for å reagere. Dette kan kanskje forklare hvorfor det skjer en del uhell i tunneler som for eksempel møteulykker, utforkjøring og påkjøring bakfra på relativt oversiktlige strekninger. Internasjonale studier viser at avsovningsulykker er hyppigere i lange tunneler (Statens vegvesen, 1995b).

Tunnelløp utgjør en fattig perseptuell struktur å bevege seg gjennom hvor det er få holdepunkter for sanseapparatet. Variasjonen i visuell stimuli i forhold til åpne utemiljøer er kraftig redusert, og skaper et fravær av forandring i sansene. Dette gir en negativ tilpasning hos førerne i form av opplevelsen av monotoni med senket oppmerksomhet hos individet. Monotoni handler her om at førerne 'venner seg til' fraværet av forandring og senker graden av oppmerksomhet og påpasselighet. Tunneler med sin monotoni virker sløvende på sjåføren.

I dette tilfellet kan man se for seg at førerens reduserte aktsomhet gir en uforholdsmessig lav risikovurdering. Det fører til at avstand til bil foran ikke gjenkjennes som for lav, eller at hastighetsvalg er altfor høyt fordi man ikke har de vanlige holdepunktene for å vurdere farten. Resultatet er at førere er mindre aktsomme i en situasjon hvor hendelser eller ulykker får store konsekvenser. Undersøkelser har vist at førere selv ikke mener at det er vanskelig å vite når de kjører i vertikalkurvatur (stigning/helning), men likefullt ser man at flere ulykker og hendelser skjer i disse partiene av tunneler med vertikalkurvatur. Dette antyder at førere til tross for å oppleve seg som oppmerksom og påpasselig faktisk "tilpasser" seg ubevist og senker aktsomheten. Kunstnerisk belyste bergrom slik som i Lærdalstunnelen kan bidra til å redusere monotonien, gi trafikantene noe å se fram til, et pusterom i en lang tunnel.



På vei mot bergrom



Ved inngang til bergrom



Inne I bergrom

Figur 3-7: *Kunstnerisk belyste bergrom som et brudd i monotonien*

3.1.6 Tunneler og orientering/navigasjon

Tunneler med flere løp og forgreninger utfordrer sjåføren på navigasjon og orientering. Moderne tunneler har ofte flere inn- og utløp hvor sjåføren må navigere underveis i tunnelreisen. Dette antas å være spesielt utfordrende, da tunnelen har få eller ingen av de kvalitetene som mennesker benytter seg av i åpne miljøer når de orienterer seg. For eksempel vil fraværet av landemerker og begrensede siktinkler redusere evnen til å orientere seg, og muligheten til å danne seg såkalte 'mentale kart' (et indre bilde av omgivelsene dannet av sjåføren) av vegen blir mindre. Bruken av skilting som kompensasjon for fravær av naturlige ressurser for orientering vil ha konsekvenser for den mentale belastningen som sjåføren utsettes for, og bør derfor gjøres så enkle som mulig. Videre bør skiltingen tilpasses i forhold til avstand til avkjørsel, der sjåfører i tunneler trenger mer tid til å forberede sine handlinger. Et kryss i en tunnel vil fungere som et landemerke i tunnelaksen. Kunstnerisk belyste bergrom slik som i Lærdalstunnelen fungerer som landemerker i tunnelen. Likeledes kan en stedvis og markant silhuett av kunstig landskap på tunnelveggen fungere som landemerke som letter orienterbarhet. Slike landemerker kan være en støtte til rapportering og stedfesting for trafikanter som skal varsle hendelser og ulykker.

3.1.7 Konklusjon: Problemer og tiltak i undersjøiske tunneler

Forskning viser at mange trafikanter føler ubehag, frykt og angst for lange undersjøiske tunneler. Undersjøiske tunneler vekker mer frykt, angst enn andre typer tunneler på grunn av tanker følelser omkring innsig av vann, frykt for å bli sperret inne, drukningsdød. Ubeknag, frykt og angst forsterkes hvis tunnelen er lang har krappe svinger, bratt stigning, dårlig ventilasjon og svak belysning.

Tiltak som kan motvirke ubehag og angst i lange undersjøiske tunneler er stort tunnelprofil, lyse vegger, tørr vegbane og vegger, god belysning, kantbelysning (LED lys), bergrom/berghaller (romfølelse, luft, snuplass) kunstnerisk belysning (trygghet, komfort, landemerke, noe å se fram til).

Kvalitetssikring av tiltak med hensyn på sikkerhet og trafikantopplevelse bør foretas i kjøresimulator under realistiske hastigheter og dimensjoner.

Tydeliggjøring av sikkerhetstiltak og generelle henvisninger til hvor i tunnelen førere befinner seg kan være med på å avhjelpe negative erfaringer som følge av opplevde begrensede handlingsmuligheter. Tiltakene bør brukes med forsiktighet da de også kan føre til økt bekymring og frykt hos trafikanter som allerede er utrygge.

3.2 Vertikal kurvatur og utrygghet

Vi søker her å gi svar på om stigningsgraden i vertikal kurvatur (5, 7, 8, 10 %) påvirker utrygghet i undersjøiske tunneler. Vurderingen avgrenses til en psykologisk (opplevelsesmessig) og til dels sikkerhetsmessig vurdering.

Vurderingen gjøres med utgangspunkt i generell kunnskap omkring problemområdet, forskning på området, og erfaringer fra lignende prosjekt.

Vi vet at det ved kjøring i tunnel er en mangel på holdepunkter for vertikal kurvatur (stigning/fall). Tunnelløp er perseptuelt fattige miljø som er utfordrende for sanseapparatet som skal sette sammen alle inntrykk til en samlet opplevelse. Man vet at mennesker ubevisst vurderer samsvaret i de inntrykk som sanseapparatet formidler inn til hjernen. For eksempel vurderes synsinntrykk opp mot de bevegelsene som kroppen utsettes for (posisjon, retning av bevegelse).

For bratte tunneler med stor helning blir dette et spørsmål om bevegelsen av tilbakelagte høydemeter samstemmer med den vertikale bevegelsen. Vil sjåføren kjenne at bevegelsen nedover i et tunnelløp stemmer med de visuelle inntrykkene? Ofte kan dette føre til at sjåføren ikke oppfatter fart på kjøretøyet riktig, og generelt vil opplevelse av manglende kontroll skape utrygghet. Episoder der førere opplever tapt kontroll vil øke utrygghetsfølelsen.

3.2.1 Forskning på området

Ut fra vår kjennskap til forskning på området og et supplerende søk er det ikke gjort studier som direkte kan gi svar på problemstillinger knyttet til forholdet mellom stigning og opplevd utrygghet.

I forhold til sikkerhet viser ulike undersøkelser en klar tendens til at ulykkesfrekvensen øker med økende stigning (Hovd, 1987; Hvoslef, 1991). Spesielt ved stigningsgrad over 5-6 % øker ulykkesfrekvensen sterkt. Kjøring i nedoverbakke har større ulykkesfrekvens enn kjøring i motbakke. Kombinasjonen av stor fart pga fallet, men også store fartsforskjeller, påvirker ulykkesrisikoen.

I vertikalkurvatur oppstår lett hastighetsforskjeller mellom lette og tunge kjøretøy. Mange førere av både lette og tunge kjøretøy overser skilt som anbefaler nedgiring ved kjøring i tunnel med stor helning. Episoder der førere av tunge kjøretøy har mistet kontroll over kjøretøyet og rast nedover i høye hastigheter er rapportert fra sikkerhetsansvarlige i store transportfirma. Hittil har dette ikke ført til større ulykker, blant annet på grunn av tidspunkt og liten trafikkmengde ved hendelsene.

Kombinasjonen av unge uerfarne tungbilførere og tung last antydes som årsak. Problemet med unge uerfarne førere er økende. Transportbransjen sliter med stor turnover og problemer med rekruttering av erfarne sjåførere. Risikoen for brann i kjøretøy øker også med økt stigning. Ved stigning over 5 % øker faren for brann på grunn av varmgang i bremses ned bakke og på grunn av varmgang i motor opp bakke.

Kombinasjonen av horisontal kurveradius og stigning er ugunstig, der risikoen øker for mindre kurveradius og økende stigning. EU sitt nye tunneldirektiv setter krav om at stigning i tunnel ikke skal overstige 5 %.

Intervju av førere med angst for tunnel indikerer at det å kjøre ned i en bratt tunnel bidrar til å øke angst og utrygghet. Likeledes oppleves det som ubehaglig utrygt å ta igjen vogntog og lastebiler som gir store mengder svart dieselryk i bratte stigninger.

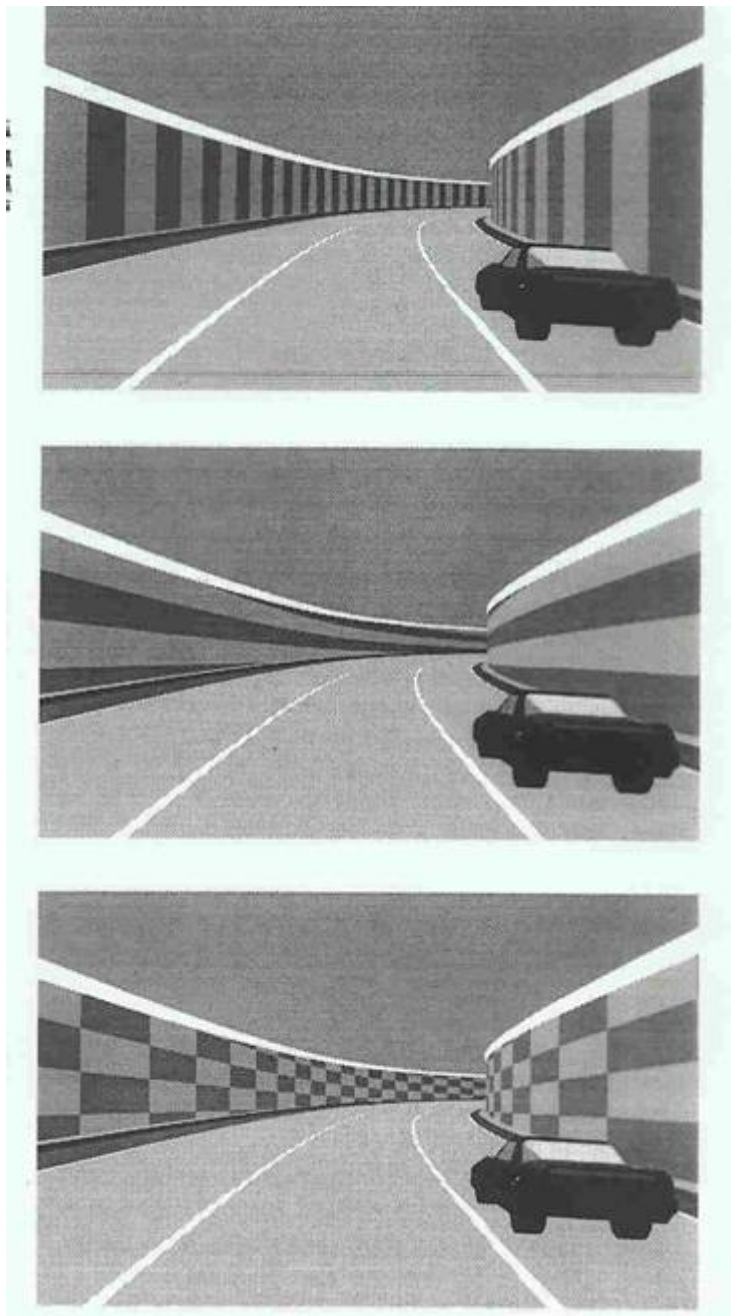
Det er imidlertid ikke gjort systematiske undersøkelser av hvordan stigningsgraden (5, 7, 8 eller 10 %) påvirker utrygghet, eller om det er en terskelverdi for når utrygghet inntreffer.

SINTEF har gjennom sitt kontaktnett i større EU prosjekt på sikkerhet i tunneler (UPTUN) med 42 partnere fra 16 ulike land, fått bekreftet at det i fagmiljøet ikke er kjennskap til undersøkelser som direkte ser på sammenheng mellom horisontalkurvatur og opplevd utrygghet i tunnel.

Forsker Martens ved TNO påpeker at de har gjort en studie i Nederland av hvilken retning keramiske fliser bør legges med hensyn på holdepunkter for stigning/fall og opplevd kjørekraft. Vi har ennå ikke mottatt kopi av studien, men Martens påpeker at konklusjonen fra studien var at fliser bør monteres med langsiden langsetter tunnelens løp for å gi best mulig kjørekraft og holdepunkt for vertikal kurvatur.

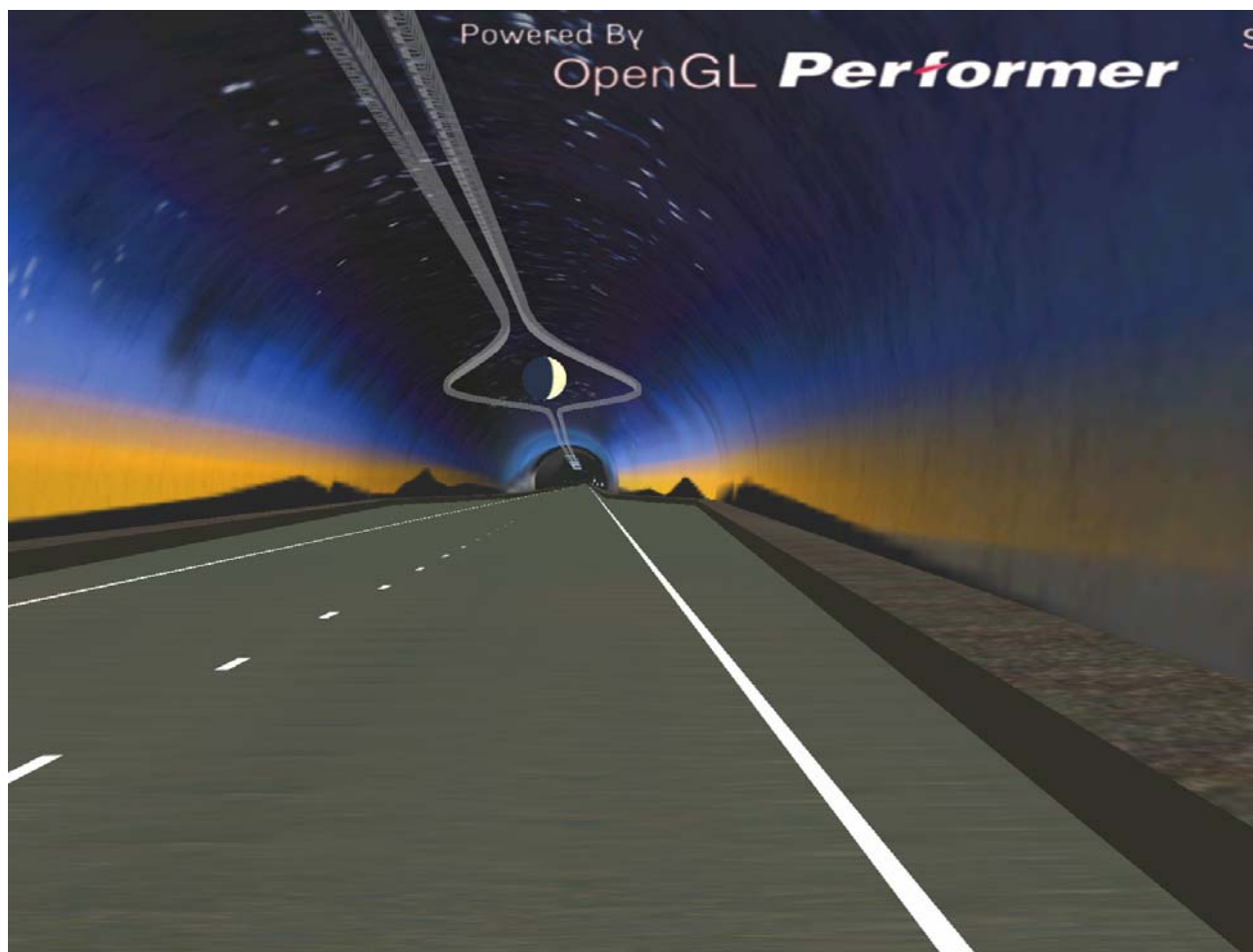
Den amerikanske forskeren Carmody (1995) gjorde i forbindelse med design av Lowery Hill Tunnel (Minneapolis) simulator studier av tunneldesign og virkemidler for å påvirke opplevelsen av kurver, fart, endringer i stigning/fall og plassering i kjørefelt. Fire mønstre ble testet. Vertikale element gir holdepunkt for kurvatur og fart og kan brukes som fartsreducerende tiltak. På den negative siden nevnes at slike mønstre er distraherende og kan føre til kvalme. Horisontale design mønstre gir et klart bilde av fall/stigning, men kan være distraherende og vanskelig å forstå i kurver. Tofarget sjakkmønster ga ikke et vellykket bilde av tunnelens linjeføring. Avhengig av fargevalg og fargetone/intensitet framheves bare det ene mønsteret og ikke det andre. Firefarget sjakkmønster med en kombinasjon av horisontale og vertikale element fungerte bedre enn tofarget sjakkmønster. Tunnelen hadde kun 2 % stigning. Andre variasjoner i stigning ble ikke testet. Det

er ikke kjent hvilke tiltak som ble implementert i Lowery tunnelen eller eventuelle erfaringer med disse.



Figur 3-8: *Test av mønster på tunnelvegg (Carmody 1995)*

SINTEF har i forbindelse med utprøving av design for den 18 km lange toløpstunnelen i Kina (Zhongnan) nylig gjennomført tester med bruk av en kunstig horisont (silhuett av fjell/landskap) på tunnelveggen.



Figur 3-9: "Timetravel" (Jenssen et al., 2006). En av flere tunnelvarianter med kunstig horisont testet for den kinesiske Zhongnan tunnelen, i kjøresimulator ved SINTEF (copyright SINTEF/Kadabra).

En kunstig horisont bidrar til å bryte opp monotonien, gi referanse for fart og skape en illusjon av større rom/bredde eller innsnevring (avhengig av design). Hvordan kunstig horisont kan påvirke opplevelsen av vertikalkurvatur er ikke testet i det kinesiske tunnelprosjektet fordi tunnelen er uten stigning/helning. Kunstig horisont kan være et kostnadseffektivt tiltak som gir trafikantene holdepunkter for stigning/fall og fart i Rogfast tunnelen. Ulike design bør eventuelt optimaliseres og testes i simulator under realistiske hastigheter og dimensjoner.

3.2.2 Lignende prosjekt

Indirekte gir Vegdirektoratet sine undersøkelser av trafikantenes opplevelse av å kjøre i Hvaler tunnelen, Flekkerøy tunnelen og Ålesund tunnelene en indikasjon på betydningen av stigning på utrygghet. Både Flekkerøy og Hvalertunnelen har 10 % stigning, mens Ålesundtunnelene har 8 % og 8.5 % stigning. I den grad det går an å sammenligne disse undersjøiske tunnelene ser det ikke ut til at de små stigningsforskjellene (8 % -10 %) kan forklare forskjeller i trafikantenes opplevelse av disse tunnelene. Det er her mulig at vi ser en takeffekt. Det vil si at stigning over et visst nivå oppleves likt og at ytterligere stigning fra 8 % til 10 % ikke er merkbart. Generelt er dette tunneler som alle får relativt lav skåre på positiv opplevelse.

3.2.3 Rådende kunnskap

Under ellers like forhold er det grunn til å anta at stigningsgrad i en undersjøisk tunnel isolert sett påvirker utrygghet. Det er usikkert i hvilken grad stigningsprosenten fra 5 % til 10 % vil utgjøre en forskjell for utrygghet.

3.2.4 Konklusjon

Det ikke gjort studier som direkte kan gi svar på problemstillinger knyttet til forholdet mellom stigning og opplevd utrygghet. Det er heller ikke gjort systematiske undersøkelser av hvilken betydning stigningsgraden (5, 7, 8 eller 10 %) påvirker utrygghet eller om det er en terskelverdi for når utrygghet inntreffer.

Forskning på sikkerhet i tunnel viser økt ulykkesrisiko for tunneler med bratt stigning/fall. Ulykkesfrekvensen øker med økende stigning og spesielt ved stigningsgrad over 5-6 % øker ulykkesfrekvensen sterkt. Kjøring i nedoverbakke har større ulykkesfrekvens enn kjøring i motbakke. Kombinasjonen av stor fart pga fallet men også store fartsforskjeller påvirker ulykkesrisikoen.

Forskning på perseptuelle virkemidler viser at mønstre som følger tunnelen (linjer) er bedre enn vertikale striper for å gi trafikantene holdepunkter om vertikalkurvatur og fart.

Generelt vil opplevelse av manglende kontroll skape utrygghet. Episoder der førere opplever at de kjører alt for fort, må bremse opp, får problemer i forhold til forankjørende osv. vil øke utrygghetsfølelsen. Likeledes oppleves det som ubehaglig/utrygt å møte vogntog eller ta igjen vogntog/lastebiler som gir store mengder ubehaglig dieseleksos i bratte stigninger. En høy andel tungtrafikk i Rogfast (15 %) vil forsterke problemet.

Tiltak i form av horisontale linjer eller en falsk horisont kan gi holdepunkter for både stigning og fart. Kunstig horisont kan være et kostnadseffektivt tiltak for å gi trafikantene holdepunkter for stigning/fall og fart i Rogfast tunnelen.

Kvalitetssikring av tiltak med hensyn på sikkerhet og trafikantopplevelse bør foretas i kjøresimulator under realistiske hastigheter og dimensjoner.

3.3 Har stigningens lengde betydning?

Vi søker her å gi svar på om lengden på stigning/fall isolert sett påvirker utrygghet i undersjøiske tunneler. Vurderingen avgrenses til en psykologisk (opplevelsesmessig) og til dels sikkerhetsmessig vurdering.

Vurderingen gjøres med utgangspunkt i generell kunnskap omkring problemområdet, forskning på området, og erfaringer fra lignende prosjekt.

3.3.1 Forskning på området

Det er i dag ingen studier som direkte tar opp spørsmålet om stigning/helningens lengde virker inn på utrygghet hos sjåførene så langt vi kjenner til. Sikkerhetsmessig er det imidlertid klart at lengden kan øke sannsynlighet for varmgang i motor eller bremses for tunge kjøretøy.

Studier fra Danmark og Norge angående sjåførers opplevelse av tunneler antyder at tunnallengde kan være med på å øke frykt hos de som allerede er utrygg for tunneler (Amundsen, 1992; Christensen, 1993). Sjåførene svarer at tunnelens lengde medfører at de må oppholde seg lengre i tunnelen. Denne utryggheten kan reduseres ved en tunnel utforming med lengre og slakere stigning/fall og slake svinger.

3.3.2 Lignende prosjekter

Det er få studier omkring effekten av lengde på tunnel og ingen studier som direkte har adressert spørsmålet om stigning/fallets lengde virker inn på opplevelser av utrygghet.

3.3.3 Rådende kunnskap

Det argumenteres faglig (Amundsen, 1992; Martens & Kaptain, 1997) for at en lang tunnel er akseptabel for trafikantene hvis tunnelen har liten horisontal kurvatur, en slak nedstigning og en brattere men kort stigning ved utgangen av tunnelen i det man ønsker å komme seg raskt ut. Men det finnes ingen systematiske studier som underbygger de faglige argumentene. Med en toløps tunnelloøsning er det mulig å legge inn en differensiert vertikal kurvatur i tråd med Amundsens funn knyttet til opplevelse av lengden på stigning. Dette må veies opp mot den effekt det eventuelt gir på hastighetsforskjeller mellom tunge og lette kjøretøy og valg av ett eller flere kjørefelt i hver retning/stigning.

3.3.4 Konklusjon

Det er i dag ingen studier som direkte tar opp spørsmålet omkring stigningens lengde virker inn på utrygghet hos sjåførene.

Det finnes noen få studier som knytter type stigning og lengde til opplevd ubehag.

Det argumenteres faglig for at slake lange nedstigninger og korte men noe brattere stigninger ved utkjøring foretrekkes av trafikanter.

Det er kun ved valg av toløpstunnel for Rogfast at det er mulig å differensiere lengden på vertikal kurvatur i tråd med hva trafikanter foretrekker (jamfør pkt 3.3.3).

3.4 Er kryss på tunnelstrekningen ugunstig eller gunstig?

Vi søker her å gi svar på om kryss isolert sett påvirker utrygghet i undersjøiske tunneler. Vurderingen avgrenses til en psykologisk (opplevelsesmessig) og til dels sikkerhetsmessig vurdering.

Vurderingen gjøres med utgangspunkt i generell kunnskap omkring problemområdet, forskning på området, og erfaringer fra lignende prosjekt.

Tunneler med flere løp og forgreninger utfordrer sjåføren på navigasjon og orientering. Moderne tunneler i by har ofte flere inn- og utløp hvor sjåføren må navigere underveis i tunnelreisen. Dette antas å være spesielt utfordrende, da tunnelen har få eller ingen av de kvalitetene som vi benytter i åpne miljøer når vi orienterer oss.

Når mennesker beveger seg i sine omgivelser danner de seg såkalte mentale kart, dvs et indre bilde av miljøet rundt som de orienterer seg ut fra. Et mentalt kart av omgivelsene inneholder flere typer informasjon som for eksempel:

- *Ruter* – typiske stier mellom punkter, der f.eks. et mentalt kart av en by vil inneholde hovedveger, toglinjer, mye brukte gangstier, osv.
- *Kanter* - avgrensinger mellom områder, f.eks. veger, elver, grenser.
- *Steder* – ensartede områder som er forskjellige, f.eks. bydeler, skog, boligfelt
- *Node* – sentrale knutepunkter mellom steder, ruter, kanter, f.eks. viktige vegkryss, rundkjøringer for flere veger.

Med disse elementene bygger mennesker seg et bilde av der de ferdes og organiserer sin reise gjennom dette. Fraværet av landemerker, utsikt og vide siktvinkler reduserer evnen til å orientere seg, og muligheten til å danne seg såkalte 'mentale kart' blir mindre. Tunnel er således et utfordrende miljø å orientere seg i.

Man vet også at bedømmingen av egen fart blir dårligere uten gode holdepunkter i omgivelsene. Kombinasjonen av høy fart og liten oversikt kan være negativt for sjåfører som skal orientere seg i kryssløsninger i tunnel. Helt konkret kan dette gi seg utslag i raske filskifter og plutselige oppbremsinger som vil ha negative effekter på sikkerheten.

Samtidig kan kryssløsninger inne i tunnelen ha positive effekter i forhold til å bryte opp monotoni. Den ensformige bevegelsen gjennom et ensartet utformet tunnellop kontrasteres med endring i vegstrukturen og sjåførene blir engasjerte. Krysset vil bidra til en sekvensering av tunnelen og framstå som et sted med egen identitet ("landemerke"). Problemstillingen her blir i hvilken grad man sørger for at overgangen mellom den monotone kjøringen og kjøring i kryss blir tilstrekkelig kommunisert til sjåføren slik at kryssløsningene ikke blir overraskelsesmomenter på vegen.

Intervju av personer med angst for tunnel indikerer at kryss i tunnel generelt vil oppleves som en negativ belastning (Jenssen, 1998). Selv om kryss vil bidra til å redusere monotonien er det ikke gitt at det vil virke positivt på kjørekomfort og opplevelse av trygghet. Utforming og belysning av krysset vil her kunne trekke resultatet i positiv eller negativ retning (se prosjekterfaringer, kap. 3.4.2).

3.4.1 Forskning på området

Det er ingen forskning omkring kryss i tunneler så vidt oss bekjent. Statistikk viser at ulykker i tunneler kan knyttes til sammenfall av flere negative faktorer (Hovd, 1987). For eksempel viser det seg at tunneler med skarpe horisontale kurver (kurveradius under 200-300 meter) og vertikal kurvatur på mer enn 6 prosent er mer utsatt for hendelser og ulykker. Trafikkmengde og trafikdens sammensetning er også antatt å forsterke eventuelle negative effekter, hvor fravær av gode siktlinjer som følge av horisontal og vertikal kurvatur gjør forskjeller i hastighet på

kjøretøyene i trafikstrømmen til en kilde til ulykker. Dette taler for at forskjeller i fart og reduserte siktlinjer må tas hensyn til i tilrettelegging av kryssløsninger i tunnel.

3.4.2 Lignende prosjekter

Konsekvensutredningen for trafikksystemet i Bjørvika, Oslo, påpekte utfordringen ved å tilrettelegge for kryssløsninger og rundkjøringer i et tunnelmiljø. På bakgrunn i en vurdering av vanskelighetene med å orientere seg uten landemerker og siktvinkler/stekninger ble løsningen med færrest kryss i tunnelen anbefalt (Sakshaug et al., 1996). Bjørvika opererer med helt andre estimat for ÅDT (90.000) og kan sånn sett ikke sammenlignes direkte. Lengden på tunnelsystemet er også vesentlig kortere enn i Rogfast.

Boston Artery Tunnel (Interstate 93) er tunnelsystemet under Boston, og er det største underjordiske vegsystemet i USA. Tunnelen har 24 avkjøringer og flere mulige reiseruter. Gjennom simulatorstudier har man kvalitetssikret skilting og tilrettelagt informasjon for å sikre at sjåførene gis mulighet til å orientere seg og tidlig omsette sine valg av reiserute til kjøreatferd. Målsetningen er å sikre en jevnt og stabil trafikflyt gjennom å styrke informasjonen til sjåførene. Prosjektet viser at selv i komplekse tunnelstrukturer med flere vegruter så kan skilting, lyssetting og informasjon bidra til en forbedret sikkerhet og økt trygghet.

Elbe tunnelen i Hamburg er et trafikksystem med 4 tunnellop og et sinnrikt system for å styre trafikken mellom de ulike løpene. Selv i et så komplekst og høytrafikert (ÅDT 120.000) tunnelsystem er erfaringene med hensyn på trafikksikkerhet og trafikantreaksjoner positive.

Stockholmsringen (Sødra lenken åpnet for trafikk 2004) er et annet eksempel på et høytrafikert tunnelsystem som fungerer godt til tross for en rekke av- og på-ramper. Et stort forskningsprosjekt der kryssløsninger for økt sikkerhet, komfort og attraktivitet ble prøvd ut i simulator og fullskala ligger bak de endelige løsningene.



Figur 3-10: Design av kryssløsninger i Stockholmsringen. Til høyre en 3-D modell testet i simulator. Til venstre et bilde av krysset slik det ser ut ved åpning av tunnelen (Sødra lenken).

Rundkjøring i tunnel er et relativt nytt element. Tromsø var først ute med rundkjøring i tunnel. Siden har vi fått et par nye og flere er prosjektert (eks Nordre avlastningsvei i Trondheim). Vi har ikke innhentet opplysninger om erfaringer fra disse rundkjøringene, men så langt vi kjenner til er erfaringene positive sikkerhetsmessig både for Bragernes tunnelen i Drammen og Trømsø. Trafikant reaksjonene på det belyste elementet ("perlen") i midten av rundkjøringen i Bragernes tunnelen svært positive (Andersen, 1997).

3.4.3 Tiltak

Bruken av skilting som kompensasjon for fravær av naturlige ressurser for orientering vil ha konsekvenser for den mentale belastningen sjåføren utsettes for, og bør derfor gjøres så enkle som mulig. Bruk av symboler og forenklete referanser er viktig, da oppfattelsen av skilt betyr økt mental belastning hos sjåføren. Belysningen av skilt bør også være god.

Skiltingen må tilrettelegges i henhold til den forventede trafikkmengde og type, der en økt andel tyngre kjøretøy vil ha konsekvenser for siktlinjer og luftkvalitet, som igjen påvirker synlighet av skilt.

Videre bør skiltingen tilpasses i forhold til avstand til avkjørsel, der sjåfører i tunneler trenger mer tid til å forberede sine handlinger. Utfordringen ligger i å integrere skiltingen slik at den gir informasjon i god tid, fordi siktlinjene i en tunnel kan være begrensede gjennom horisontal og vertikal kurvatur. Forsøk fra simulator studier har vist at tidlig skilting i kombinasjon med forenkling av skiltene gjorde at sjåførene bytter fil tidligere og la opp til et mer funksjonelt kjøremønster (Upchurch et al., 2002)

Videre bør skilting ved kryssløsninger støttes av tiltak som hjelper sjåføren til å avpasse hastighet. Her vet man at tiltak som ATK-kamera og 'fartsdumper /riller' i vegdekket fungerer. Videre bør kunstnerisk utsmykking og fartsreferanser vurderes, da dette gir visuell informasjon som kan nyttegjøres av sjåføren.

3.4.4 Konklusjon

Kryssløsninger utfordrer sjåfører da det innebærer en situasjon med trafikkinteraksjon, feltskifte, avkjøring, økt risiko, navigering, og orientering i et lukket miljø uten de landemerker, referanser for fart som vi finner på veg i dagen.

Erfaringer med sikkerhet og opplevd trygghet ved bruk av av/påkjøringsramper i tunnel (Stockholm, Elbe,) er overveiende positive såfremt trafikanten gjennom skilting og siktstrekninger gis tilstrekkelig tid til å orientere seg og skifte felt på en forutsigbar måte.

Erfaringer med rundkjøringer i tunnel er så langt vi kjenner til overveiende positive både med hensyn til sikkerhet (Tromsø) og opplevd trygghet (Bragernes).

Vi kjenner ikke til prosjekter med kryss i lange tunneler. Kommunisering av overgangen mellom den "monotone" kjøringen og kjøring i kryss blir her svært viktig for å unngå overraskelsesmomentet.

Tiltak i form av skiltingen må tilrettelegges i henhold til den forventede trafikkmengde og type, der en økt andel tyngre kjøretøy (15 %) vil ha konsekvenser for siktlinjer og for luftkvalitet som igjen påvirker synlighet av skilt.

Videre bør skilting ved kryssløsninger støttes av tiltak som hjelper sjåføren til å avpasse hastighet. Her vet man at tiltak som ATK-kamera og 'fartsdumper /riller' i vegdekket fungerer. Videre bør kunstnerisk utsmykking, fartsreferanser vurderes, da dette gir visuell informasjon som kan nyttegjøres av sjåføren.

3.5 Utrygghet ved 1 kontra 2 tunnellop

De to aktuelle hovedløsningene er:

1. Ett tunnellop med tre kjørefelt, tovegstrafikk samt en parallell separat evakueringstunnel
2. To tunnellop med to kjørefelt samt envegstrafikk i hvert av løpene

Ettløpstunnelen vil da få et større tverrsnitt enn hvert av løpene ved en toløpsløsning.

Vi søker her å gi svar på om ett eller to tunnellop isolert sett påvirker utrygghet i undersjøiske tunneler. Vurderingen avgrenses til en psykologisk (opplevelsesmessig) og til dels sikkerhetsmessig vurdering.

Vurderingen gjøres med utgangspunkt i generell kunnskap omkring problemområdet, forskning på området, og erfaringer fra lignende prosjekt.

Det finnes ingen kjente studier av hvordan opplevd utrygghet varierer i forhold til tunneler med ett eller to løp. Det finnes derimot en del studier av hvordan vegens bredde (og opplevde bredde) virker inn på sjåføren, og vi vil ta utgangspunkt i dette i besvarelsen av spørsmålet om utrygghet og ett/to tunnellop.

Det er gjort oppsummeringer av forskning omkring ulykkesrisiko og katastroferisiko for ett eller toløps tunnel i vurderinger av kriterier for ett eller toløps tunnel ved revisjon av Håndbok 021 (Bertelsen, 2001) og konkret i forhold til vurderinger av alternative løsninger for Rogfast (Bertelsen, 2001). Det er imidlertid ikke funnet referanser som direkte berører betydningen av ett eller to tunnellop for opplevd utrygghet.

Ved vurderingen av utrygghetsfølelsen er det naturlig å se på følgende to situasjoner:

- A. Opplevelsen til trafikanter som benytter tunnelen i en normalsituasjon, men som ikke har noe bevisst forhold til eventuelle krisesituasjoner
- B. Opplevelsen til trafikanter som frykter for at de kan bli utsatt for en situasjon som gjør det nødvendig å evakuere

Vegholderens informasjonsstrategi kan påvirke utrygghetsfølelsen på helt forskjellig måte i disse to situasjonene. Informasjon om hva trafikantene skal gjøre i en krisesituasjon, kan forsterke engstelsen hos enkelte trafikanter. Den samme informasjonen kan imidlertid øke tryggheten for de trafikantene som faktisk er bekymret for hva de skal gjøre i en krisesituasjon. I våre vurderinger har vi tatt utgangspunkt i at det både i forkant av og i en krisesituasjon gis nøktern og saklig informasjon til trafikantene om hvordan de bør opptre. Bagatellisering eller taushet for å unngå at trafikantene skal bli bekymret, vil høyst sannsynlig virke mot sin hensikt på lengre sikt.

3.5.1 Rådende kunnskap

Det er manglende kunnskaper om hvordan evakuering vil forløpe i praksis ved ulike løsninger i ulike situasjoner.

Valget mellom ett eller to tunnellop er tett knyttet til et økonomisk og teknisk spørsmål, der man hovedsaklig legger opp til å ta ut minst mulig masse. Dette medfører at avstanden til tunnelvegg er mye mindre enn til skjæring/skråning i åpent landskap. Konsekvensen for sjåførene er at vegen oppleves som smalere når det er liten lateral klarering, noe som fører til endret kjøremønster i form av redusert fart og plassering av kjøretøyet mot midten av vegbanen (Martens & Kaptein, 1997).

Vegens bredde og trafikens retning vil også samspille med type trafikk. Ved enkeltløp vil relativt stor andel tungtrafikk (15 %) være med på å gi inntrykk av en smalere vegbane hvor sjåføren endrer kjøremønster og opplever seg mer utrygg. Ut fra dette kan det argumenteres for at to

tunnelløp vil oppleves som tryggere enn ett enkelt tunnellop, og dette understøttes av statistikk over ulykker som viser redusert ulykkesfrekvens i toløps tunneler.

Norske trafikanter har generelt liten kunnskap om evakuering og rømningsmuligheter i tunnel. Det har hittil ikke vært del av teori pensum for førerkort klasse B. Kunnskap om rømningsmuligheter mellom tunneler i en toløps tunnel kan potensielt virke positivt på trygghetsfølelsen.

Intervju av førere i Tromsø med angst for tunneler som ledd i Lærdalsprosjektet (Jenssen, 1998), viser imidlertid at selv lokalkjente førere kun forholder seg til det ene tunnellopet, uten tanke eller kunnskap om at det kan være rømningsmuligheter mellom de to tunnelene.

Ett eller to løp blir således ikke utslagsgivende for trygghet/utrygghet. Derimot nevnes portalens utforming, tunnelprofil (høyde bredde), lengden på tunnelen og belysning som viktige for opplevelsen av tunnellopet de skal inn i.

3.5.2 Forskning på området

Flere studier viser at forventet ganghastighet ved evakuering i tunnel ligger mellom 0,2-1,2 m pr sekund. Ved en hendelse, brann midt i Rogfast tunnelen vil det ta trafikanter ca to timer å gå ut. Det kan forverres om det er personer i følget med lettere skade pga brannrøyk eller kollisjon.

Ved en toløpsløsning vil trafikantene kunne evakuere gjennom nødutganger til den parallelle tunnelen. De vil da i første fase før begge løp stenges møte kjøretøy som passerer i 80 km/t. Det positive er at det gir mulighet til å få haik ut. På den negative siden kan det føre til at de springer og presses av andre rett ut i trafikken som går i det parallelle løpet. En stor andel (15 %) av denne trafikken vil være tunge kjøretøy. Utforming av nødutganger med fysisk barriere mot kjørefelt bør vurderes.

Både i den kinesiske toløpstunnelen (Zhongnan) og i Elbe tunnelene i Hamburg er det i tillegg til nødutgang for gående hver 250 m også en nødutgang for kjøretøy hver 750m. I Elbe tunnelene er det designet et godt trafikkstyringssystem for regulering av trafikk til parallelle løp ved hendelser eller vedlikeholdsarbeid. Dette trafikkstyringssystemet er det gode driftserfaringer med. For Rogfast som er hele 24 km lang vil ta mye lengre tid enn i Elbe tunnelene å tømme det parallelle løpet for trafikk. Eventuelle tverrslag for kjøretøy i Rogfast må ta hensyn til svingebevegelser for tunge kjøretøy og ønsket trafikkregulering.

3.5.3 Aktuelle tiltak

Det er viktig å gi trafikantene informasjon om hvilken type tunnel (eks toløps) de faktisk befinner seg i og hva som er riktig atferd ved evakuering i ulike tunneler og situasjoner.

Evakuering og trafikantreaksjoner i krisesituasjoner diskuteres utførlig i kapittel 4.

3.5.4 Konklusjon

Trange tunneler virker mer skremmende på de fleste trafikanter enn romslige tunneler. Ettløpstunnelen vil virke romsligere enn hvert av løpene i toløpstunnelen. Begge løsningene for Rogfast er imidlertid forholdsvis romslig slik at dette neppe er et avgjørende moment ved valg av løsning.

Mange trafikanter føler ubehag når de møter store kjøretøyer inne i en tunnel. Dette vil de unngå ved toløpsløsningen. Ved en ettløpsløsningen med tre kjørefelt vil det vanligvis vil være god klaring til møtende trafikk, men vi ser likevel dette som en dårligere løsning mht. utrygghetsfølelse enn toløpstunnelen.

Evakueringen fra en ettløpstunnel kan skje ved at trafikanter snur og kjører ut samme veg som de kom inn. Hvis noen trafikanter skulle forsøke dette i en envegskjørt tunnel, kan dette i seg selv bli katastrofalt.

En toløpstunnel med envegstrafikk vil i normalsituasjonen oppleves som tryggere enn en ettløpstunnel. Hvis utrygghet knyttet til krisesituasjoner trekkes inn i denne vurderingen, blir det vanskeligere å trekke en entydig konklusjon. Til det er kunnskapene i dag for dårlig.

4 Hvilke trafikantreaksjoner kan vi forvente i krisesituasjoner

Tunneler utgjør en betydelig og voksende andel av det norske vegnettet. Vi har hittil vært forsåntet for store katastrofer, f.eks. store branner eller eksplosjoner, i disse tunnelene. Sjansen er således svært liten for at katastrofer skal inntreffe i den enkelte tunnel. Men med stadig nye tunneler og økt trafikk, må vi være forberedt på at en katastrofesituasjon kan oppstå i en eller annen tunnel et eller annet sted.

Dette kapittelet bygger på arbeid innen EU prosjektet UPTUN der SINTEF blant annet har bidratt til kunnskapsoversikt og ny kunnskap fra eksperimentelt arbeid omkring trafikantenes reaksjoner ved hendelser og kriser i tunnel (Human Response, WP3). Alle rapportene fra UPTUN er ennå ikke frigitt, men forventes å bli tilgjengelig i løpet av 2007. Informasjon om prosjektet og åpne rapportert er gitt på nettadressen <http://www.uptun.net/>. Utover dette, vises det til forskning fra andre miljøer på dette temaet.

4.1 Ulykker i tunneler

Selv om sikkerheten i tunneler objektivt sett er generelt god kan vi gjennom media få inntrykk av at vegtunneler er spesielt farlige og at det rett som det er skjer alvorlige ulykker. Et bilde mange trekker fram er ulykke med tankbil, eksplosjon og voldsom brann. Med dekning av tunnelulykkene i Mont Blanc, St Gotthard og Tauern friskt i minne gis katastrofeangsten næring. Før disse ulykkene hadde det kun skjedd 4 større ulykker med farlig gods i tunnel siden 1994. Ingen av disse var ulykker med det som hittil er betegnet som farlig gods. Den siste tok sted i Caldecott tunnelen i California der 32.000 liter bensin brant opp etter at en tankbil kolliderte med en fyllekjører. Sju personer mistet livet i denne ulykken der 8 kjøretøy var involvert. Til sammenligning mistet 39 personer livet i Mont Blanc ulykken, herav 38 trafikanter og en brannmann.

De fleste hendelser i norske vegtunneler skyldes motorstopp eller drivstoffmangel. Uhell og ulykker i tunnel kan imidlertid lettere utvikle seg til en katastrofe enn ulykker på veg i åpent landskap. Enkelthendelser internasjonalt har vist hvor alvorlige konsekvenser brann i en tunnel kan få. Det er viktig både å finne fram til tiltak som kan redusere sannsynligheten for uønskete hendelser og tiltak som kan redusere omfanget og konsekvensene av ulykken når den inntreffer.

Hendelser og ulykker kan sies å være en 'naturlig' del av større tekniske systemer (Perrow, 1984). Det er et spørsmål om 'når', ikke 'om'. Man kan forvente at ulykker vil inntreffe i løpet av livsløpet til et gitt vegsystem – og spørsmålet er da om vet vi nok om trafikantenes reaksjoner i tilknytning til katastrofer eller katastrofetilløp? Er vi sikre på om våre beredskaps- og evakueringsplaner vil fungere godt i ulike situasjoner? Sentralt for beredskapsplanlegging og utforming er kunnskap om hvilke menneskelige responser man kan forvente i kritiske situasjoner.

4.2 Kriser og menneskelig atferd

En krise er en alvorlig hendelse som involverer mennesker, ressurser og materielle verdier, og hvor det er fare for betydelige tap (Dyregrov, 1999). Kriser kan slik forstås i forhold til i hvor stor grad det virker inn på menneskers helse, materielle verdier og produksjonsforhold (Vicente, 1999). Kriser framtrer også gjerne som plutselige endringer i grunnleggende variabler eller strukturer (materielle konstruksjoner, brudd i tilgang på ressurser, etc) (Brescher, 1988). Videre

kan kriser utvikle seg til katastrofer som gjenspeiler ødeleggelser og skader i større skala. Graderingen av alvorlighetsgrad av en hendelse viser til flere kriterier, som varighet, årsak, omfang, sosiale skader, materielle ødeleggelser, menneskelig lidelse (Taylor, 1986; Berren et al., 1982).

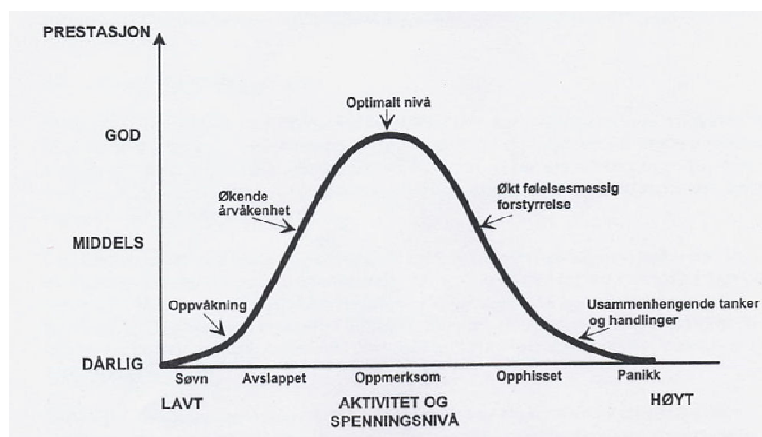
Knyttet an til menneskelige responser i krisesituasjoner, så vil de 'objektive' definisjonene være underordnet i forhold til den opplevelsen som en person har i en kritisk situasjon. En krise oppleves som en trussel mot liv og helse hvor det er manglende muligheter til å verge seg (Dyregrov, 1999). Krisesituasjonen betyr en radikal forandring av omgivelsene der hendelser og aspekter knyttes an til helt grunnleggende overlevelsesbehov, og dette er en stor belastning for de berørte, både under og etter hendelsen. Forskning innen krisepsykologi hevder at jo mer omfattende katastrofen eller krisen og ledsagende opplevelse er hos individet, jo mer omfattende vil umiddelbar påkjenning og ettervirkningene bli (Dyregrov, 1993).

Denne rapporten kommenterer på menneskers opplevelser og atferd før og under katastrofen/krisen finner sted.

4.3 Stress og aktivering under kriser

Personer som befinner seg i kriser vil oppleve et økt stressnivå uavhengig av alder, kjønn, og tidligere erfaringer. Stress og fryktreaksjoner til kriser er en naturlig respons som er nedfelt i mennesket som art (Proulx, 2002). Denne reaksjonsformen er med på å aktivere og mobilisere energi og kraft til handling, der nivået og håndteringen av stress og frykt vil være avgjørende for hvilken atferd som utvises (Seyle, 1979). I noen tilfeller vil kriser presse fram suboptimale avgjørelser og handlinger og kan slik bidra til eskalering av krisen, mens i andre tilfeller vil atferd være sikkerhetsfremmende og funksjonelle i forhold til å komme seg i sikkerhet. Her vil kunnskap om variasjonen i type atferd og handlinger være verdifull for utformingen av vegmiljøer der kriser kan oppstå og hvor funksjonell atferd fra trafikantene er avgjørende.

Sentralt for atferd er aktiveringsnivå, der prestasjon og aktivering påvirker hverandre. Katastrofer og kriser har en tendens til å gi ekstreme høye eller lave verdier, noe som gir ekstreme utfall på variasjonen i atferd. Personer kan bli meget høyt aktiverte (panikk, hysterisk) eller meget lavt aktivert (apatisk, fraværende).



Figur 4-1: Emosjonelt aktivitets og spenningsnivå. Kurven viser en hypotetisk sammenheng mellom emosjonell aktivering, aktivitetsnivå og kvaliteten på prestasjoner (Jenssen 1997)

Forskning innen aktivering (vigilance), våkenhet (arousal) arbeidsbelastning (workload) og atferd/prestasjoner (performance) viser at menneskets prestasjoner (oppfatningsevne, problemløsningsevne og handling) blir forstyrret ved ekstrem aktivering (Boff & Lincoln 1988; LeDoux, 1996). Ytterpunktene i fysiologisk og psykologisk mobilisering kjennetegnes ved at atferd bli dysfunksjonell og/eller fraværende. Kriser bringer fram hele spekteret av menneskets biologiske, kognitive, sosiale og emosjonelle karakteristika.

4.4 Katastrofepsykologi - Menneskers egenskaper, forutsetninger og atferd

Innen faget psykologi finner man flere ulike tilnærminger til beskrivelse og forklaring av atferd. De forskjellige tilnærmingene vektlegger forskjellige sider av atferd, hvor man vektlegger biologiske faktorer, tankemessige (kognitive) og emosjonelle reaksjoner, samt sosiale forklaringsmodeller. Disse tre perspektivene vil bli kommentert i forhold til reaksjoner på kritiske situasjoner, og denne delen av rapporten vil trekke inn funn fra det europeiske forskningsprosjektet UpTun, da spesielt W3 Human Response Report som omtaler menneskelige reaksjoner ved tunnelbrann. .

4.4.1 Det biologiske perspektivet

Biologisk psykologi vektlegger forholdet mellom prosesser i hjernen, der forskjellige hjerneområders struktur og nevrokjemiske aktivitet knyttes til ulik type atferd (LeDoux, 1996). Videre inkluderes hormonelle og fysiologiske systemer i forklaringen av atferd.

Kroppens nervesystem fungerer tildels uavhengig av vår beviste fornemmelse av dem, og kan deles inn i to hovedsystemer. Det autonome nervesystemet ('sympatiske') frigjør energi og mobiliserer kroppen til handling. Hjernestrukturer i det limbiske system (amygdala, hippocampus) er sentrale i denne aktiverende delen av nervesystemet. Den sympatiske aktiveringen setter også i gang frigjøring av hormoner, som feks adrenalin (mer energi), samt smertelindrende hormoner (endorfin).

I en farlig situasjon vil det sympatiske nervesystemet være dominerende, og initieres uten noen bevist tanke om det. Dette gir utslag i en rekke kroppslige og fysiologiske reaksjoner. Eksempel er økt hjertefrekvens, skjelvinger, svetting, økt muskelstyrke, vaskeligheter med finmotorikk, kuldefølelser, økt pustefrekvens, osv. I kombinasjon med feks brann og tilhørende høy temperatur og/eller røyk utvikling vil den økte aktiveringen medføre muligheten som for en rekke faremomenter.

- Hetslag og mulig tap av bevisstheten
- Overoppheting med ledsagende kvalme, forvirring, hodepine
- Muskel kramper med nedsatt evne til bevegelse
- Rask utmattethet med nedsatte motoriske ferdigheter og stamina

Disse momentene vil ha konsekvenser for eventuell utforming av sikkerhets og evakueringstiltak, der nedsatt evne til å ivareta og bevege seg selv er en kritisk faktor.

4.4.2 Handler vi rasjonelt i en krisesituasjon?

LeDoux (1996) har også vist at en sympatisk aktivering også virker inn på høyere ordens kognitive funksjoner (problemløsning, tidsopplevelse, hukommelse). Overlevende etter store ulykker og kriser vitner om en endret opplevelse av omgivelsene – følelse av 'saktefilm', økt hukommelse for detaljer ('superhukommelse'), økt evne til observasjon, sterke sansefornemmelser, nedsatt følsomhet i huden, liten eller ingen smertefornemmelser, osv. Krisereaksjoner griper altså også inn i de kognitive sidene av mennesket.

Kognitiv psykologi forklarer og beskriver menneskets evne til tenkning og problemløsning hvor innhenting, behandling og respons på informasjon fra omgivelsene er sentralt. En sentral antakelse er at mennesket forholder seg til omgivelsene gjennom den fortolkningen det har – altså vår forståelse og tro på hvordan verden er danner utgangspunktet for handling. I krisesituasjoner vil kognitive reaksjoner aktiveres, og legge premisser for hvordan mennesker forholder seg til omgivelsene på.

Sentralt i organiseringen av kognisjonen til mennesker er de mentale skjema og mentale scripts som systematiserer omgivelsenes betydning og måter å forholde seg til disse på. Et mental skjema er en mental representasjon av et gitt aspekt av verden, feks vil det mentale skjemaet for 'dør' være noe man bruker når man går inn og ut av rom i et hus. Videre kan mentale skjema vise til tilstander i verden, feks 'man kjører bil gjennom tunneler' eller 'veien ut av bygninger er hoveddøra'. Kognitive script sier noe om ulike handlingsmønstre og atferdssekvenser, der relasjonen mellom andre mentale skjema og deres bruksområde er integrert. For eksempel, et mentalt script for å forlate et hotellrom inkluderer at 'man pakker bagasjen, går ut i korridoren og tar heisen ned'. Videre kan mentale script for tunneler tilsi at man bruker bilen til å komme seg gjennom.

I normal situasjoner er de fleste skjema og script nyttige og effektive. I krisesituasjoner utfordres dette ved at de mentale skjema og scripts ikke lengre er funksjonelle. Rapporter etter brannulykken i Mont Blanc ulykken viste at flere av de omkomne ble funnet med baggasjen i hendene (Colombo, 2001), og lignende er observert i hotellbranner. De vanlige scriptene som brukes blir direkte til hinder for personer i en farlig situasjon. Handlingsmønstre som viser seg nyttige og anvendes automatisk i hverdagssituasjoner mister relevans i kritiske hendelser.

En del av utfordringen for personer i krise blir dermed modus-skiftet fra å handle og tenke som under normale omstendigheter og over til en erkjennelse av at man befinner seg i en truende situasjon. Denne overgangen er kritisk i forhold til tid, hvor sekunder og minutter er helt avgjørende for evakuering. Man ser at personer ofte kan vise motstand og treghet i å erkjenne at det er en krise som utspiller seg, og hvorpå de fortsetter med 'normale responser' (Dyregrov, 1999). Paulsen (1991) argumenterer for at viktigste tiden ved evakuering ved brann, er tidsrommet før folk starter med selve evakueringen langs evakueringsruten. Branner med tap av menneskeliv kjennetegnes ved at denne perioden er for lang. Modus-skifte fra normal tilstand til krise er dermed et sentralt aspekt ved de kognitive aspekter ved reaksjoner på krise. Canter (1980) definert tre stadier i reaksjonen på kriser og overgangen fra normal til krise modus:

- a) Erkjennelse ('recognition') – Fortolkning av signaler på krise
- b) Respons ('response') – Valg av handling
- c) Bevegelse ('movement') – forflytning bort fra krise (evakuering)

Fase (a) omhandler formidling av informasjon om krise. Her finner man motstand og redundans av skjemaer og scripts for normal situasjoner. Tiltak her går på utforming av alarmer, informasjon om hva som skjer og alvorlighetsgrad. De første signaler om en krise eller overhengende fare kan være røyk ved brann, lyden av ting som går knuses, eller uvanlig atferd hos andre. Røyk i en tunnel trenger kan her være utilstrekkelig signal om brann, der røyken kan tolkes som eksos fra vogntog (Jenssen et al., 1997). I forhold til de kunstige signalene, har Mecham (1999) vist til studier som avdekker at 'non-voice' (ikke-verbale) alarmer ikke har den umiddelbare informative effekten man har antatt. Lydalarmer legges merke til, men framtrer som lite informative i forhold til det de varsler om, og hvorvidt det er en øvelse eller ikke (Bryan, 1995). Videre så har studier vist at personer som får indikasjoner på at noe er galt utsetter evakuering eller handlinger fordi de håper at det ikke skal være noe galt, og dermed går verdifull tid tapt (Mecham, 1999). Det er altså en viss motstand i modus-skiftene hvor tydelighet og informasjon er sentralt.

Fase (b) knytter seg til design og utforming på sikkerhet- og evakueringstiltak der informasjonen må tilpasses den kognitive (og biologiske, emosjonelle) tilstand som personer i krise befinner seg i. Gjennom orientering i informasjon relevant for krisen kan personer legge til rette for sikker og effektiv evakuering. Studier har vist at mennesker har en tendens til å velge mellom relativt bredt definerte alternativer, feks om de skal flykte eller prøve å gjøre noe (Mecham, 1999; Steyvers et al, 1999). Deretter begynner reorientering mot relevant informasjon og utforming for avgjørelsen (rømningsveier, brannslukkere, nødtelefoner). Man ser her at krisereaksjoner følger en viss sekvens, der kategoriske avgjørelser tas først, dernest omsettes dette til konkrete handlinger. En fare her er at kriser ofte framkaller ensretthet og 'stahet' der personer som har valgt en strategi har vanskelig for å ombestemme seg og vil følge sin plan tilross for indikasjoner på at det er en gal avgjørelse (Quarantelli, 1973; Mecham, 1999).

Fase (c) går på selve evakueringsfasen. Det sentrale her blir bruken av virkemidler for å tydeliggjøre tilstedeværelsen og bruken av evakuerings- og sikkerhetstiltak. Studier har fokusert på bruken av fler-sanselige grensesnitt på evakueringsinnretninger. Bakgrunnen for dette er de kognitive reaksjonene på krise som medfører innsnevret og begrenset problemløsning og atferd. Feks vil tekst med informasjon om hvilken retning personer skal gå i være lite hensiktsmessige da dette vil bli oppfattet som krevende og mentalt belastende, situasjonen tatt i betraktning. Dermed har bruken av feks taktile skilter (rekkverk med piler som kan føles i hånden), auditive skilter (høytalere med verbale beskjeder 'utgang her'), og LED lys vært forsket på. Heskestad (1999) har diskutert bruken av taktile grensesnitt i røykfylte omgivelser og problemet med at de flersanselige grensesnittene på evakueringsinnretninger også har en negativ effekt på mobilitet. Personer som må føle seg fram vil bruke mer tid på selve evakueringen. Eventuelle flersanselig grensesnitt må i tillegg til å innfri kravene om tilgjengelighet og effektivitet i kriseevakuering også innfri kravet om at mobiliteten til personene som evakueres ikke reduseres.

De kognitive reaksjonene på kriser er preget av to faktorer. Først, en viss motstand mot å erkjenne og ta inn over seg krisens faktum og at man befinner seg i en farlig situasjon. Dernest, følger en kognitiv mobilisering som medfører en ensrettet problemløsning, nedsatt fleksibilitet i strategivalg, og endret tidsopplevelse.

4.4.3 Emosjonelle aspekter ved krisereaksjoner

Det kognitive apparatet hos mennesker fungerer i et tett samspill med det emosjonelle systemet, der våre følelser reguleres i integrert med de reflekterte tankene vi gjør oss. I hjernen finner man tette koblinger mellom de øvre deler av hjernen ('cortex') som sørger for høyere ordens funksjoner som problemløsning, visualisering, motor kontroll, og de dypere hjernestrukturene (amygdala, hippocampus, thalamus) som regulerer våre følelsesmessige opplevelser som for eksempel frykt, sorg, sinne, glede, osv (LeDoux, 1996). En person i fare vil oppleve et spekter av følelser, hvor de mest vanlige er sinne, frykt, tristhet, hjelpsløshet og overveldelse (Dyregrov, 1999). Disse emosjonelle opplevelseskategoriene anses å være i mindre grad under bevisst kontroll enn de kognitive erfaringene.

Tradisjonelt har mye forskningen fokusert på situasjoner der emosjonene blir overveldende, og utvikler seg til panikk. Sime (1990) har diskutert bruken av panikk som forklaring på atferd i katastrofer der det antas å ligge til grunn for de irrasjonelle valgene personer gjør. I sin ytterste konsekvens medfører panikk en meget dysfunksjonell atferd som er til hinder for sikker evakuering. Nyere studier har nyansert utbredelsen av panikk, hvor panikk argumenteres for å være heller unntaket enn regelen ved evakuering i krisesituasjoner. (Hersloot & Ruitenbergh, 2004). Etter at den første frykten og engstelsen har lagt seg, så synes de fleste å lete etter måter å komme seg unna og evakuere på (Quarantelli, 1999). Her stiller det også spørsmål med i hvilken grad panikk faktisk er 'blind' og irrasjonell, da fortellinger fra ofre som har fått panikk i kritiske situasjoner sjelden formidler et totalt fravær av rasjonalitet. Videre har man stilt spørsmål ved i hvilken grad panikk er smittsomt, der studier og analyser har vist at panikk kan opptre blant kun en begrenset antall personer i en større folkemengde (Perry & Lindell, 2003).

Et forhold som kan være med på å øke frykt og stressnivået er i den grad personer i en krisesituasjon opplever at 'tiden er i ferd med å renne ut' og at sjansene for å klare seg er raskt minkende (Kelley et al, 1965; Dyregrov, 1990; Pan et al 2006). Her antas at et økende 'sense of urgency' er ledsaget av en tilsvarende økt emosjonell aktivering som i sin ytterste konsekvens framkaller dysfunksjonell atferd.

Det er avgjørende å skille mellom de valgmulighetene en person opplever å ha i en krisesituasjon og de valgmulighetene som objektivt sett eksisterer i den aktuelle situasjonen. Det er den subjektive oppfatningen til de personene som befinner seg i krise, som er avgjørende for utfallet. Hvis disse personene oppfatter det slik at de må ut øyeblikkelig, har de ikke tid til å overveie alle muligheter, de må velge den mest nærliggende.

4.4.4 Er vi styrt av sosiale mekanismer i en krisesituasjon?

Katastrofer rammer alltid flere mennesker. Sime (1995) har argumentert for at store ansamlinger av mennesker ikke opererer som en homogen gruppe individer som ignorerer hverandre, men at sterke bånd til grupper før og under flukt eksisterer. Kriser vil slikt sett medføre en mobilisering av sosiale bånd som øker bindingen til gruppe.

Innen sosialpsykologien har man forsket på hvordan regulerer sine tanker og atferd utfra deres oppfatning av forholdet til andre mennesker. En person alene handler annerledes enn en person som befinner seg i en sosial kontekst. Den sosiologiske definisjonen av kriser adresserer dette, og argumenterer for at kriser for og fremst representerer et ekstremt press på sosiale relasjoner, og at mye av atferd og reaksjoner knytter seg av til dette. En krise vil her ramme på flere nivåer av relasjoner, helt fra mikronivåer med mellommenneskelige bånd og opp til makrostrukturer som samfunn, institusjoner og stater.

Studier har vist aktiveringen av relasjoner på mikronivå, der for eksempel personer evakuerer som grupper, ikke som personer. For eksempel vil personer utsette evakuering til de har samlet medarbeidere, familie, eller venner (Dyregrov, 1993; Mecham, 1999). Men i grupper vil det finnes en struktur hvor individene gis og tar ulike roller. Fenomener som autoritet og lydighet vil fordeles opp mot de rollene som finnes i en gruppe. Her vil personer som anerkjennes som ledere være toneangivende i evakuering og krisereaksjon hvor den øvrige grupper vil relatere sine handlinger og følelser (Mecham, 1999; Pan et al, 2006). I trafikk-relaterte kriser vil for eksempel yrkessjåfører og helsepersonell gis roller som uformelle ledere i grupper under press (UpTun W3 Report). Gruppen vil således vise mindre variasjon i sin atferd, dvs personene følger samme handlingsmønster, og opptrer slik sett konformt. De vil da hente informasjon om hvordan forholde seg fra uformelle ledere og de øvrige i gruppen. Faremomentet her er i den grad ledere eller gruppen handler uhensiktsmessig i forhold til evakuering – eventuelle feilhandlinger vil ramme hele gruppen og øke omfanget mulig tap av helse og liv. Canter et al (1992) har beskrevet menneskemengden som en form for psykologisk enhet der muligheten for å kontrollere og regulere atferd diskuteres. atferd. Det vurderes om det er aktive psykologiske effekter knyttet til menneskemengders atferd i underjordiske rom, herunder veg- og tog tunneler. Erfaringer tilsier at større menneskemengder medfører flere utfordringer:

- (1) det øker sannsynligheten for nye, farlig hendelser,
- (2) det øker potensialet for antall ofre,
- (3) det gjør kommunikasjon tregere og vanskeligere,
- (4) det gjør det vanskeligere å korrigere handlinger,
- (5) det medfører spredning av ansvar,
- (6) det øker opplevelsen av anonymitet,

Det sosialpsykologiske og sosiologiske perspektivet på krisereaksjoner medfører at eventuelle sikkerhetstiltak og evakueringsstrategier også må forholde seg til mennesker i form av grupper. Personer opplever ikke kriser alene, men sammen med andre mennesker, og de redder seg selv ut fra samme perspektiv. Enheten i tankene omkring sikkerhet og evakuering er dermed også flertall, ikke utelukkende entall.

4.5 Oppsummering: Atferd ved evakuering

Krisesituasjoner vil framkalle en rekke reaksjoner hos de involverte. Overgangen fra hverdagslige rutiner til den gitte krisesituasjonen vil gi et stort behov for å etablere ny mening, og håndtere de fysiologiske og emosjonelle reaksjonene (Mecham, 1999). Et overordnet trekk ved de ulike reaksjonene man kan forvente er at de alle dreier seg om et stort behov for informasjon og

tydelighet (Bryan, 1999). I pressede situasjoner vil mennesker etablere en mening på bakgrunn av den informasjon de har, uavhengig av om den er ufullstendig, usikker, eller uklar (Woods & Hollnagel, 2006). Biologiske reaksjoner vil frigjøre energi (adrenalin, glukose) og gi et høyt aktiveringsnivå som i ulik grad vil være funksjonell. Videre vil personer søke mot menneskene rundt seg for å finne en strategi for hvordan forholde seg til situasjonen. Grupper vil danne seg og reaksjonene vil samstemmes i forhold til hverandre og til en midlertidig gruppedynamikk med ulike roller som etableres.

Utforming av omgivelser og tilhørende sikkerhets- og evakueringstiltak er meget sentrale, og bør favne bredden av de reaksjonene man forventer seg. Med bakgrunn i de perspektivene som er vist til i denne rapporten, kan man se for seg karakteristiske reaksjoner fra ulike grupper. Her vil noen grupper av personer stille med spesielle krav til sikkerhets og evakueringstiltak som gjøres tilgjengelige. Med referanse til de ulike forutsetninger og behov i en kritesituasjon har man flere ulike dimensjoner å definere grupper utfra:

- Funksjonshemmede
- Fremmedspråklige
- Barn – voksne
- Kvinner – menn
- Unge – eldre

Gruppene representerer ulike utgangspunkt for å håndtere en krise. Språk, kjønn, alder, og bevegelighet er eksempler på dette.

Barns reaksjoner er ofte tett knyttet til de voksnes reaksjoner, og deres ivaretagelse av dem (Dyregrov, 1993). Blant de vanligste reaksjonene på krise hos barn er uvirkelighet, mistro, frykt, forvirring, mestrings, styrke og omentaking (UpTun W3 Report). Reaksjonene vil være forskjellig ut fra typen av krise, nærvær av familiemedlemmer, og barnets modenhetsnivå. I alvorlige kriser og umiddelbar fare kan barns reaksjoner gå i retning av panikk og handlingslammelse (Dyregrov, 1993) De kan også miste kontrollen over kroppsmotorikk og kroppsfunksjoner, og de kan også prøve å gjemme seg unna for å unngå fare. Dyregrov (1993) påpeker dog at de fleste barn vil håndtere kriser rolig og fornuftig, spesielt der foreldre eller andre voksne forblir rolige.

Videre har studier vist at personers folks handlingsmønster ved brann er påvirket stedet og situasjonen de befinner seg i. Handlingsmønsteret ved brann i en tunnel vil være annerledes enn ved brann i et private hjem eller på hotell. Noen fellestrekk finnes likevel (Paulsen, 1991):

- a) innledende fase er karakterisert ved usikkerhet, mistolkninger, ubesluttsomhet og søking etter informasjon som kan bekrefte brannen
- b) atferden er styrt av den sosiale rolle en person har i brannsituasjonen
- c) folk vil ofte gjøre feil handlinger i forhold til situasjonen, men det er sjelden de får panikk og opptrer irrasjonelt
- d) slokningsapparat benyttes sjelden, uten forhåndstrening har mange vanskeligheter med å bruke det
- e) stress, angst og mangel på surstoff medfører redusert evne til oppfatning og problemløsning
- f) personene er mest mottakelig for den informasjon som gis av personer med autoritet

Ved utvikling av røyk ser det ut til at folk har en tendens til å snu hvis sikten er dårligere enn 10 meter. Folk som er kjent i bygningen, er mer villige til å bevege seg i røyk enn personer som er ukjent. Kjennskap til bygningen påvirker imidlertid ikke hvor langt folk var villige til å gå.

Folk som har kommet seg velberget ut av brannområdet, kan være villige til å inn igjen i faresonen (Steyvers et al., 1999). 60 % er beredt til å forsere røykfylte områder, 50 % over avstander på mer enn 10 meter.

Ved evakuering vil de fleste benytte samme veg som de kom inn, få vil benytte ruter som er ukjente for dem. Folk benytter nødutgangene hvis de har erfaring i å bruke dem fra tidligere anledninger. Videre vil folk søke å knytte seg til personer som de kjenner.

I forbindelse med katastrofer er det viktig at informasjonen er enkel og lett å oppfatte. Som tidligere nevnt er evnen til å oppfatte og forstå ofte redusert på grunn av økt emosjonell aktivering. Ved bruk av tale og tekst for å gi informasjon eller instruksjon¹, anbefales det å benytte setninger som varsler om ønsket atferd. Det er lettere å forstå utsagn som sier hva en skal gjøre enn utsagn som sier hva en ikke skal gjøre. Det er lettere å forstå "sving til høyre" enn "ikke sving til venstre". "Utgang her" sagt fra høyttaler ved en rømningsdør er lettere å orientere seg etter enn det mer uspesifikke "Utgang". Forhåndsinnspilt tale er bedre enn bruk av digitalisert eller syntetisk tale². Dette gjelder også for bruk av skilt. Det er lettere å forstå påbudskilt enn forbudskilt. Spesielt kan dette ha stor betydning for barn. Beskjeder og instruksjoner bør gis i den rekkefølge personen skal utføre dem. "Gjør A, gjør så B" blir lettere forstått enn "Før du gjør B, må du gjøre A". Generelt er piktogrammer eller symboler lettere å forstå enn tekst. Best effekt gir imidlertid en kombinasjon av både bilde, tekst og tale.

4.5.1 Erfaringer fra tunnelulykker

Analyser av reelle ulykker gir verdifull kunnskap som det er umulig å få gjennom eksperiment. Eller simulering. Slike erfaringer støtter tilnærminger, antakelser som simuleringsmodeller bygger på og gjør de mer realistiske.

Voeltzel (2002) rapporterte faktisk atferd under brannkatastrofen i Mont Blanc og Tauern tunnelen i 1999. Hovedkonklusjonen er at folk vil bli sittende i bilen så lenge de ikke erkjenner tegn på branntrossel. I Mont Blanc tunnelen ble mange ofre funnet i bilen eller like ved sin bil. Dette innebærer at de ikke evakuerte i tide. Ved brannen i Tauern tunnelen hadde folk flest fornuft til å flykte til fots. Bare tre trafikanter ble sittende i bilen sin og døde. Mange reddet livet ved å komme seg ut i en tidlig fase av brannen.

Ofrene ved brannen i Gotthard tunnelen døde på grunn av sin feilaktige forståelse av situasjonen og på grunn av feilaktig atferd ettersom de ventet eller prøvde å snu bilene istedenfor å søke nødutgangene umiddelbart.

Canter (1990) testet hvor gode folk er til å predikere brannens utviklingshastighet og brannutviklingsmønster. Resultatet var at folk ikke er særlig gode til å forutsi den faktiske vekst raten for brann. Brannen utvikler seg eksponentielt over tid). Folk føler seg ikke truet når brannen er liten fordi de ikke vet innser hvor fort den vil utvikle seg. Ingen initiativ til å evakuere tas og når folk til slutt innser at de er truet av brann, er det for sent på grunn av røyk og varme.

For en detaljert oversikt over tunnelulykker og hendelsesforløp ved brann i vegtunnel henvises til UpTun prosjektet og de rapportene som er og blir gjort tilgjengelig på www.uptun.net.

¹ Både kommunikasjon til berørte personer og ved kommunikasjon med beredskapspersonell

² Både tydelighet, forståelse, naturlighet og akseptbarhet er høyere

4.5.2 Erfaringer fra tester i vegtunneler

Manglende kunnskap om varslings- og overvåkingssystemer i norske vegtunneler er utbredt (Jenssen et al. 1997). Ved havarier eller drivstoffmangel benyttes ofte ikke nødtelefoner fordi sjåførene antar dette kan medføre kostnader eller ubehageligheter. Trafikantene mangler kunnskap om tilgjengelig hjelp de kan få og betydningen rask varsling har for egen og andre trafikanters sikkerhet. Vegdirektoratet, har foretatt en rekke spørreundersøkelser som viser at:

- 75% ville ha benyttet nødtelefonen for å tilkalle hjelp ved en eventuell stopp i tunnel
- 12 % mener de ville brukt mobiltelefon (Statens vegvesen, 1995a).

Daas (2002) oppsummerer en rekke fullskala brannstudier i Nederlandske tunneler. Ved et av brannforsøkene var den første turen gjennom tunnelen tilsynelatende en ufarlig prøvetur. Dette var selve forsøket, og trafikantene møtte en brennende lastebil. Forsøket viser at:

- Ingen evakueringsprosess kom i gang uten tilleggsinformasjon.
- Når et fåtall av trafikanter startet evakuering, fulgte resten etter
- Ved seks av sju forsøk var alle trafikantene passive i de første 5-6 minuttene
- I seks av forsøkene begynte deltakerne å evakuere ved tilleggsopplysning om "fare for eksplosjon"
- I ett av forsøkene ventet de første bilene helt til instruksjonen "forlat bilen" ble gitt. På det tidspunkt var de første bilene omsluttet av røyk. Forskerne antar at trafikanter som ventet for lenge gjorde det pga redsel for å gå ut av bilen og inn i røyken.

Et fellestrekk er at reaksjonstiden blir alt for lang uten konkret informasjon. Dette kan bedres ved lydsignal hvis de brukes riktig.

Utprøving av lydsignaler ved rømning i røyk viste at

- opplysningen om lydsignal for rømning er alene ikke nok
- For trafikanter som visste at lydsignal var plassert ved nødutgangene, ga signalene betydelig positiv effekt.
- De fleste orienterte seg mot nærmeste lydsignal, og dette ble avgjørende for retning og valg av rømningsveg

Videre var det mange som ikke brukte nødutgangene, delvis fordi skiltet for nødutgang ble mindre synlig

Videre viser de fullskal brannforsøkene at:

- 15 av 69 personer brukte nødtelefon for å varsle om hendelsen
- Ca halvparten av deltakere hadde sett en nødtelefon
- 7 personer hadde oversett nødutgang skiltet og sa de savnet skilting av nødutganger.
- En trafikant ble stående utenfor nødutgangen pga. tvil om døren kunne benyttes som nødutgang

Et forsøk med brennende tankbil utført før Beneluxtunnelen ble åpnet våren 2002 viser at når instruksjonen var ”å bringe seg selv i sikkerhet”.

- Gikk 24% via kjørebanelen ut av tunnelen
- Brukte 76 % en nødutgang

Ved mer spesifikk instruks om ”å bringe seg selv i sikkerhet via nødutgangene” benyttet:

- 95 % nødutgangen
- 5 % kjørebanelen
- Nesten halvparten gikk nedstrøms, de øvrige gikk oppstrøms
- Ved info om brann i tankbil benyttet samtlige deltakere seg av nødutgangen oppstrøms.

Vi kan på bakgrunn av forsøkene konkludere at:

- 1) Konkret informasjonen om å benytte nødutgangene fører ikke til endring i valg om å gå nedstrøms forbi ”brannen” eller oppstrøms
- 2) Konkret informasjon om å bruke nødutganger bidrar til raskt og riktig valg av atferd.

Binding til eiendeler kan være en faktor som forsinker evakuering. I en brann i en buss i Ålesundtunnelene for fire år siden (privat kommunikasjon med Brannsjefen i Ålesund) kunne han fortelle at bussjåføren begynte å dele ut bagasje til passasjerer som forlot bussen til fots, samtidig som det brant i motorrommet. Passasjerer med sikkerhetsopplæring fra Nordsjøen grep inn, fikk varslet og fikk folk ut fortest mulig, - uten bagasje. Likeledes har det vært spekulert omkring vegring mot å forlate bilen i Mont Blanc ulykken kan ha sammenheng med verdien av en bil (Day 2002). Det er sannsynlig at binding til eiendeler og kjøretøy kan bidra til forsinket evakueringsstid også i Norske tunneler. Evakueringsstid er *ikke* det samme som tid en trenger for å nå rømningsdør/utgang til fots. Ulykker kommer overraskende og de som er offer for den trenger å gi slipp på sin opprinnelige plan og/eller eiendeler. Det tar tid. Derfor bør modeller for evakuering ha et første stadie kalt ”orienteringstid” eller ”reaksjonstid”

Når trafikantene bruker lang tid på å starte evakuering vil risikoen for at røyk skaper problemer øke. Det var tilfelle ved tunnelbrannen i St Gotthard. (Figur 4-2) Til tross for sikkerhetstiltak kan ikke brannulykker forebygges 100 %. Derfor er tiltak som kan dempe konsekvensene av brann nyttige. Tekniske tiltak som brannslukkere, sprinkleranlegg og rømningsveger som gjør det mulig for trafikanter å forlate katastrofeområde til fots på en trygg måte. For å lette evakueringen anbefales merkede evakueringsruter eller høytalere ved rømningsdører (Jenssen et al., 1997)..

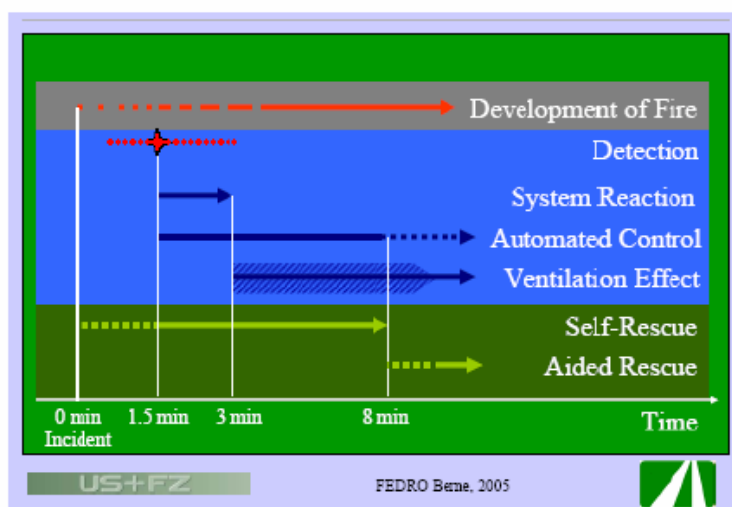


Figur 4-2: Brann i St Gotthard tunnelen, 14 drepte. ”Some of those found on the tarmac were just a metre away from the emergency exit”, BBC News, 26 Oktober 2001)

For å unngå sekundærulykker er det viktig at trafikanter på veg inn i tunnelen, varsles slik at de unngår å komme inn i influensområdet. Atferden til trafikanter innefor influensområdet kan være avgjørende for omfanget av en ulykke eller eskalering til storulykke. De siste 10-15 år har vi fått økt viten om hvilken atferd vi kan forvente av norske trafikanter ved hendelser i tunnel. Resultat fra spørreundersøkelser viser at ca 80 prosent ville snu bilen og kjøre ut igjen dersom de fikk rødt lys i tunnel. Mellom 4-14 prosent ville stanse og vente, mens en prosent ville kjøre videre. Ved brann eller ulykke vil de fleste trafikanter trolig kjøre nært opp til hindringen Statens Vegvesen (1992). Havarilommer, snunisjer eller åpne bergrom, kan bidra til at det vil være lettere å snu i en ettløps tunnel. Ved en toløps løsning kan det medføre risiko både ved å snu mot trafikketningen eller å kjøre trafikken over i det parallell løpet. Vanligvis må da det parallell løpet først tømmes for trafikk, men andre trafikkreguleringsvarianter kan tenkes å fungere forsvarlig.

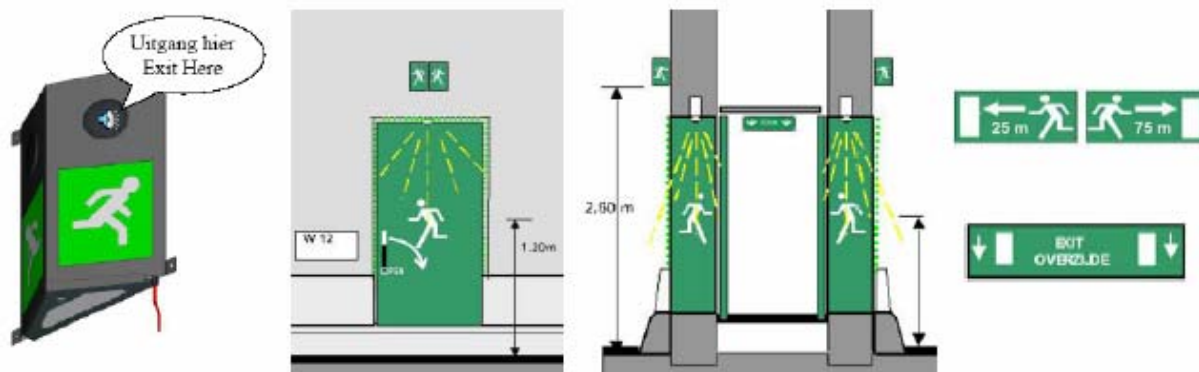
Som ledd i EU prosjektet UPTUN gjorde SINTEF studier i kjøresimulator av person og tungbilføreres atferd ved hendelser i tunnel. Forsøk med simulert brann i Frøyatunnelen viser at vi kan forvente alle kategorier atferd ved en brann med relativt stor røykutvikling (Jenssen 2006). De fleste førere stopper (40%) et stykke fra brannen (trygg avstand), noen (33%) dessverre alt for nære. Andre forsøker å rygge 2% eller snu i tunnellopet (kun personbiler). 16% av forsøkte å passere brannen. For et vogntogs del og tre personbiler med kollisjon som følge. Et vogntog somgreide å passere brannen kjørte ut og blokkerte inngangen. Alle vogntogsjåførene var erfarne yrkessjåførere. Frøyatunnelen er ettløps med trafikk i begge retninger. TNO gjorde lignende forsøk i en simulert toløpstunnel med to felt i hver retning. Fokus i denne studien var atferd til trafikanter som ved brann treffer på kø et stykke bak brannen, uten annen kilde til informasjon om årsak til kødannelse enn stadig tettere røyk (TNO/UPTUN 2006 under publisering). Denne studien viser at mange blir sittende i kjøretøy for lenge. Andre som på forhånd hadde fått informasjon om atferd ved hendelser i tunnel slo av motoren og forlot bilen til fots før første melding over høyttaler (18%). 8% av disse nølte ike i det hele tatt. 82% forlot bilen først etter første melding over høyttaler. 28% av disse gikk til rømningsdør, resten ble stående i vegbanen.

Forsøkene viser at de fleste trafikanter bruker alt for lang tid før de forstår alvoret i situasjonen (TNO/UPTUN 2006 under publisering). På videoopptak fra forsøket ser man at flere trafikanter går ut av kjøretøyet, nærmer seg brannen og stopper opp for å se på. Ikke før flammene blusser voldsomt opp trekker de seg tilbake. Tid fra en brann oppstår til evakuering bør skje, selv med god ventilasjon er knapp, slik som illustrert i Figur 4-3.



Figur 4-3: Ventilasjon til støtte for selvevakuering og evakuering med støtte fra hjelpemannskap (Kilde UPTUN/ FEDRO)

Forsøk TNO har utført omkring evakuering i tunnel viser at en kombinasjon av akustisk og visuell rettledning til nærmeste nødutgang er mest effektivt (TNO/UPTUN 2006, under publisering). For norske forhold betyr det skilt på engelsk og norsk samt en stemme over høyttaler lokalisert ved nødutgang som "Utgang her" "Exit here" annenhver gang.



Figur 4-4: *Kombinasjon av akustisk og visuell rettledning for å finne nødutgang (kilde UPTUN / TNO under publisering)*

Bevissthet omkring ventilasjonsretning i tunneler er viktig. Å snu ventilasjonsretningen tar relativt lang tid og tunneloperatører/redningsmannskaper må ha en klar strategi om det er gunstig å snu retningen.

Det har vist seg at trening og erfaring reduserer risikoen for at tanker om ens egen funksjon skal hindre utføringen av redningsarbeidet. På bakgrunn av spørreskjema og samtaler har Dyregrov (1990; 1993) identifisert mestringsstrategier som hjelper mannskapet til å utføre slikt arbeid. Disse strategiene omfatter (1) mental forberedelse, (2) uvirkelighetsopplevelse, (3) undertrykking av reaksjoner, (4) distansering og dehumanisering, (5) humor, (6) regulering av eksponering, (7) aktivitet for å hindre refleksjon, (7) fokusering på formål, (8) selvforsterkende kommentarer, og (9) kontakt med andre, sosial støtte.

Det synes å være viktig for hjelpepersonellet å se et formål med det de gjør. Prosedyrer for mental forberedelse forut for og under utrykning til en katastrofe, bidrar til hensiktsmessig håndtering på åstedet. Underveis til åsted gjennomgår personellet ofte hva de kan bli stilt overfor og hva som skal gjøres, ofte supplert en indre mental forberedelse. Uvirkelighetsopplevelsen holder følelser på avstand og hindrer at de forstyrrer innsatsen. Dette er en automatisk mekanisme som ledsages av mer bevisste strategier for å skape avstand. Disse består av bevisst undertrykking av reaksjoner og distansering og dehumanisering av situasjonen dersom den er virkelig ille. Hjelperen kan også skjerme seg fra deler av katastrofen ved regulering av eksponering, eller ved aktivt å forhindre refleksjon. Videre kan selvforsterkende kommentarer³ motivere og bidra til at en blir i stand til å løse arbeidsoppgavene. En lite utnyttet, men svært viktig ressurs i katastrofeområder, er kontakt med andre eller gruppestøtte.

4.5.3 Faktorer som påvirker opplevelse, atferd og overlevelse

Brann i en tunnel påvirker hovedsakelig, men ikke utelukkende trafikantene. Det er utenfor rammen av denne rapporten å gå inn på effekt på redningsmannskaper og tunneloperatører

³ Repetere for seg selv kunnskap fra spesifikke kurs, eller mer generelt som "Dette klarer jeg bra" eller "Dette er jeg godt trent for"

Bickman (1977) beskriver en modell som illustrerer hvordan ulike faktorer påvirker opplevelse og atferd i kritiske brannsituasjoner. Modellen har tre grunnleggende stadier: 1. Detektering av holdepunkter 2. Definerings av situasjonen. 3. Mestringsatferd

Atferden på hvert stadium påvirkes av seks kategorier med variable:

1. Fysiologiske/fysiske
2. Mellommenneskelige/sosiale
3. Opplæring/forberedelser
4. Brann karakteristika
5. Fysiske omgivelser

En radikal syntese av fysiologiske påvirkningsfaktorer trafikanter utsettes for er:

Relatert til varme

Menneskets kropp har begrenset kapasitet til å tilpasse seg ekstrem varme og fuktighet. Følgende svekkelser, sykdomsutfall kan inntreffe på grunn av varme:

- Hjertestans
- Utmatning
- Krampe
- Varme kollaps (heteslag)
- Trøtthet

Relatert til røyk

- Øye irritasjon: Vesentlig hemmende faktor
- Dominerende giftgass: Karbonmonoksid
- Sekundær giftgass: Varierende mengde og spekter av giftige og irriterende gasser i brannrøyken

Varme, fuktighet, røyk, type gasser i brannrøyken vil være vesentlige faktorer som påvirker folks atferd og mulighet til å finne rømningsveier ved brann i en tunnel. Eksisterende simuleringsmodeller for brann i tunnel opererer med ulike siktlengder som basis for beregninger av evakueringsmuligheter. Disse modellene tar ikke hensyn til at:

1. Irriterende gasser kan skape orienteringsproblemer på grunn av svie og rennende øyne, lenge før sikten er kritisk redusert ut fra objektive lasermålinger.
2. Selv en svak økning i karbonmonoksid nivået kan forstyrre folks evne til å ta riktige beslutninger

Bruk av system for hendelsesdetektering (AID) og brannkontroll (vanntåke) kan hindre en liten hendelse i å utvikle seg til storulykke samt gi trafikantene bedre mulighet/tid til å evakuere og overleve en større brann (kilde UPTUN under publisering).

4.5.4 Design av informasjon

Canter et al. (1992) påpeker tre suksess faktorer for design av gode informasjonssystemer

For å utløse riktig evakueringsatferd er det viktig å:

- 1) Gi informasjon så raskt som mulig
- 2) Informasjonen må være tilstrekkelig detaljert for å være informativ
- 3) Betydningen av tidlig handling må understrekes,

Prouix (1993) Hevder at det er tre karakteristika ved informasjon som har betydning for atferd. Det er informasjonens:

- 1) Kvalitet
- 2) Kvantitet
- 3) Relevans

4.5.5 Konklusjon

Atferd i krisesituasjoner

I planlegging av Rogfast bør det tas hensyn til trafikanters reaksjoner og atferd i krisesituasjoner. Reaksjonsmønster og atferd er detaljert beskrevet i Kap. 4. Det bør legges vekt på et tunneldesign som tar hensyn til menneskelige faktorer og som reduserer sannsynligheten for at små hendelser utvikler seg til katastrofe.

Effekt av varme og røyk

Varme kan raskt skape fysiske problemer for trafikanter. Irriterende gasser kan skape orienteringsproblemer på grunn av svie og rennende øyne, lenge før sikten er kritisk redusert ut fra objektive lasermålinger. Selv en svak økning i karbonmonoksid nivået kan forstyrre folks evne til å ta riktige beslutninger. Installasjon av et branndepennende slukkesystem (vanntåke) kan redusere varme røykutvikling og plager, problemer det gir trafikantene ved evakuering.

Panikk og informasjon

Erfaringer fra tunnelbranner og eksperimenter i tunnel bekrefter at: Panikk er unntaket heller enn regelen ved evakuering. De fleste reagerer veloverveid og viser ikke antisosial atferd. Det største problemet er nøling/uvirksomhet der folk blir sittende i bilen eller blir stående i veibanen for å iaktta brann. Informasjon trengs fra det øyeblikk ulykken skjer til alle er trygt ute. Informasjon er svært viktig for redusere nøling, uvirksomhet og fremme riktig atferd. Flere forskere påpeker hvordan design av evakueringsinformasjon bør være og aktuelle teknologier for å fremme riktig atferd. Se kapittel 4.43 og 4.4.4 for mer detaljert beskrivelse.

Gruppe effekter

Lemmen effekten (også kalt saueflokk effekten) viser til den effekt andre personer har på individet. Dette er en faktor det bør tas hensyn til ved design av evakueringsystem/strategier. Lemmen effekten omtales ofte negativt. Folk slutter å tenke selv, følger blindt andre. Det bør krediteres at atferden til "andre" formidler viktig informasjon. De fleste som ikke lytter til melding over radio vil bli sittende for lenge i bilen. Sannsynligheten for at de går ut er større når de ser andre går ut. En gruppe "andre" som går eller løper antyder fare. "Andre" som forsvinner gjennom en dør indikerer at døren er en rømningsvei til sikkerhet. "Andre" som til ingen nytte forsøker å åpne en dør indikerer at døren er låst osv. Personer med "autoritet" og kunnskap om riktig atferd kan lede andre i sikkerhet. Personer som av en eller annen grunn tillegges autoritet, blir gjerne et forbilde for sosial læring og har dermed forutsetninger for å styre gruppens atferd. Slik autoritet kan være basert på personens rolle forut for krisen (f.eks. en bussjåfør), på myndig og bestemt oppførsel eller på antrekk (f.eks. uniform, gul vest) som signaliserer at en person har høyere rang enn de øvrige tilstede. Dette gir seg utslag i at øvrige gruppemedlemmer viser lydighet og etterkommer beskjeder eller ordre fra den som tillegges autoritet. Dette kan utnyttes ved å gi yrkesjåførere som ferdes ofte i Rogfast spesiell opplæring i håndtering av hendelser i tunnel og utstyret sine sjåførere med oksygenmaske.

Ganghastighet

Studier viser at gjennomsnittlig ganghastighet ligger mellom 1.2-1.6 m/sek. I UPTUN studien utført av TNO lå gjennomsnittlig ganghastighet på 1.37 m/sek. Ganghastighet er viktig for design av rømningsveier. Hvis Rogfast får to løp vil evakuering kreve at trafikanten går til nærmeste rømningsdør. Tiden det tar er et produkt av avstand og ganghastighet. Når trafikanter søker den nærmeste rømningsveien ignorerer de rømningsveier forbi brannstedet.

Bagasje

En relativt stor andel av trafikantene kan forventes å ta med bagasje. Det forsinker evakuering og kan redusere kapasiteten ved rømningsdører. En kan ikke forvente at alle etterlater bagasje, selv om tunneloperatøren oppfordrer til det.

Rettledning

Høytalere (akustiske veiledende fyrtårn) plassert ved rømningsveier som sier "utgang her", "exit here" virker godt (< 90%) under forholds med dårlig sikt, men også og i god sikt. De bidrar til at trafikanter som blir overasket av en potensiell katastrofe, - overkommer sin innledende passivitet.

Faste blinkende retningsbestemte LED lys (høy intensitet) formet som en pil anbefales ved valg av ettløpstunnel for Rogfast. Et slikt system er egnet for tunneler med faste evakueringsruter.

Bruk av system for hendelsesdetektering (AID) og brannkontroll (vanntåke) kan hindre en liten hendelse i å utvikle seg til storulykke samt gi trafikantene bedre mulighet/tid til å evakuere og overleve en større brann.

5 Anbefalinger for E39 Rogfast

5.1 Tiltak for økt trygghet

Forskning viser at mange trafikanter føler ubehag, frykt og angst for lange undersjøiske tunneler. Undersjøiske tunneler vekker mer frykt, angst enn andre typer tunneler på grunn av tanker og følelser omkring innsig av vann, frykt for å bli sperret inne og drukning, Ubehag, frykt og angst forsterkes hvis tunnelen er lang, har krappe svinger, bratt stigning, dårlig ventilasjon og svak belysning.

Tiltak som kan motvirke ubehag og angst i lange undersjøiske tunneler er stort tunnelprofil, lyse vegger, tørr vegbane og vegger, god belysning, kantbelysning (LED lys), bergrom/berghaller med kunstnerisk belysning som gir romfølelse, luft, snuplass, trygghet, komfort, er et landemerke og noe å se fram til. Godt lys, god ventilasjon, hvite ledelys (LED) hver 10-20 m kan brukes til vise klart hvor vegkanten er. Hvite lys med et blått plassert 150m slik som i Mont Blanc tunnelen kan gi trafikantene holdepunkt for sikker avstand til forankjørende. En avstand gitt ved avstanden mellom blå lys. Slike øker trygghet, reduserer andelen som følger med ubehaglig kort avstand og kan redusere risikoen for påkjøring bakfra Ved kjøring i tunnel tekker trafikanten ubevist unna tunnelveggen, og legger seg nærmere midtlinjen. Det innebærer at kjøretøy passerer svært nær i en tunnel med toveis trafikk. Også i tunneler med enveistrafikk vil det være gunstig for trygghetsfølelse. Økt avstand mellom kjøretøy i flerfeltstunnel reduserer risikoen for hendelser, ulykker.

Med bakgrunn i erfaringer fra arbeid med Lærdalstunnelen (24,5 km lang) og Zhongnan tunnelen (2x18 km) i Kina anbefaler vi at det legges inn to bergrom (eventuelt i hvert løp) i tillegg til krysset for å øke trivsel og redusere monotoni. Bergrommets form bør optimaliseres med hensyn til bergkvalitet og type tunnel (etløps eller toløps).

Kvalitetssikring av tiltak med hensyn på sikkerhet og trafikantopplevelse bør foretas i kjøresimulator under realistiske hastigheter og dimensjoner.

Tydeliggjøring av sikkerhetstiltak og generelle henvisninger til hvor i tunnelen førere befinner seg kan være med på å avhjelpe negative erfaringer som følge av opplevde begrensede handlingsmuligheter. Se også anbefalinger for tiltak i krisesituasjon nedenfor.

5.2 Stigning

Det ikke gjort studier som direkte kan gi svar på problemstillinger knyttet til forholdet mellom stigning og opplevd utrygghet. Det er heller ikke gjort systematiske undersøkelser av hvilken betydning stigningsgraden (5, 7, 8 eller 10 %) påvirker utrygghet, eller om det er en terskelverdi for når utrygghet inntreffer.

Forskning på sikkerhet i tunnel viser økt ulykkesrisiko for tunneler med bratt stigning/fall

Ulykkesfrekvensen øker med økende stigning og spesielt ved stigningsgrad over 5-6 % øker ulykkesfrekvensen sterkt. Kjøring i nedoverbakke har større ulykkesfrekvens enn kjøring i motbakke. Kombinasjonen av stor fart pga fallet, men også store fartsforskjeller påvirker ulykkesrisikoen.

Forskning på perseptuelle virkemidler viser at mønster som følger tunnelen (linjer) er bedre enn vertikale striper for å gi trafikantene holdepunkter om vertikalkurvatur og fart.

Generelt vil opplevelse av manglende kontroll skape utrygghet. Episoder der førere opplever at de kjører alt for fort, må bremse opp, får problemer i forhold til forankjørende osv. vil øke utrygghetsfølelsen. Likeledes oppleves det som ubehaglig/utrygt å møte vogntog eller ta igjen

vogntog/lastebiler som gir store mengder ubehaglig dieseleksos i bratte stigninger. En høy andel tungtrafikk i Rogfast (15 %) vil forsterke problemet.

Tiltak i form av horisontale linjer eller en falsk horisont kan gi holdepunkter for både stigning og fart. Kunstig horisont kan være et kostnadseffektivt tiltak for å gi trafikantene holdepunkter for stigning/fall og fart i Rogfast tunnelen.

Kvalitetssikring av tiltak med hensyn på sikkerhet og trafikantopplevelse bør foretas i kjøresimulator under realistiske hastigheter og dimensjoner.

5.3 Lengde på stigning

Det er i dag ingen studier som direkte tar opp spørsmålet om stigningens lengde virker inn på utrygghet hos sjåførene.

Det finnes noen få studier som knytter type stigning og lengde til opplevd ubehag.

Det argumenteres faglig for at slake lange nedstigninger og korte men noe brattere stigninger ved utkjøring foretrekkes av trafikanter.

Det er kun ved valg av toløpstunnel for Rogfast at det er mulig å differensiere lengden på vertikal kurvatur i tråd med hva trafikanter foretrekker (jamfør pkt 3.3.3).

Kryssløsninger utfordrer sjåfører da det innebærer en situasjon med trafikkinteraksjon, feltskifte, avkjøring, økt risiko, navigering, og orientering i et lukket miljø uten de landemerker og referanser for fart som vi finner på veg i dagen.

Erfaringer med sikkerhet og opplevd trygghet ved bruk av av/påkjøringsramper i tunnel (Stockholm, Elbe,) er overveiende positive såfremt trafikanten gjennom skilting og siktstrekninger gis tilstrekkelig tid til å orientere seg og skifte felt på en forutsigbar måte.

Erfaringer med rundkjøringer i tunnel er så langt vi kjenner til overveiende positive både med hensyn til sikkerhet (Tromsø) og opplevd trygghet (Bragernes).

5.4 Kryssløsninger

Vi kjenner ikke til prosjekter med kryss i lange tunneler. Kommunisering av overgangen mellom den "monotone" kjøringen og kjøring i kryss blir her svært viktig for å unngå overraskelsesmomentet.

Tiltak i form av skiltingen må tilrettelegges i henhold til den forventede trafikkmengde og type, der en økt andel tynge kjøretøy (15 %) vil ha konsekvenser for siktlinjer og for luftkvalitet som igjen påvirker synlighet av skilt.

5.5 Ett eller toløps tunnel

Trange tunneler virker mer skremmende på de fleste trafikanter enn romslige tunneler. Ettløpstunnelen vil virke romsligere enn hvert av løpene i toløpstunnelen. Begge løsningene for Rogfast er imidlertid forholdsvis romslig slik at dette neppe er et avgjørende moment ved valg av løsning.

Mange trafikanter føler ubehag når de møter store kjøretøyer inne i en tunnel. Dette vil de unngå ved toløpsløsningen. Ved en ettløpsløsningen med tre kjørefelt vil det vanligvis vil være god klaring til møtende trafikk, men vi ser likevel dette som en dårligere løsning mht. utrygghetsfølelse enn toløpstunnelen.

Evakueringen fra en ettløpstunnel kan skje ved at trafikanter snur og kjører ut samme veg som de kom inn. Hvis noen trafikanter skulle forsøke dette i en envegskjørt tunnel, kan dette i seg selv bli katastrofalt.

En toløpstunnel med envegstrafikk vil i normalsituasjonen oppleves som tryggere enn en ettløpstunnel. Hvis utrygghet knyttet til krisesituasjoner trekkes inn i denne vurderingen, blir det vanskeligere å trekke en entydig konklusjon. Til det er kunnskapene i dag for dårlig.

5.6 Tiltak i krisesituasjoner

Vi kan konkludere med at det er store forskjeller i folks oppfatning av krisesituasjoner i tunnel og viktigheten av å handle raskt. Selv om noen forstår hva som foregår og handler umiddelbart er det store grupper som forholder seg passivt eller venter for lenge. Selv om en tunnel operatør forteller dem hva de skal gjøre fremmer det ikke 100% korrekt atferd.

Erfaringer fra forsøk med brann i tunnel viser at svært mange ikke vet hva de skal gjøre selv om de har fått informasjon fra operatør over radio. Mange bruker ikke radioen til å innhente informasjon, selv om de har fått kunnskap om å lytte på radiofrekvenser fra brosjyremateriell (EU brosjyre om tunnelsikkerhet).

Selv om tunnelbyggere mener at all sikkerhetsinformasjon som trengs ”er der”, - så er det ikke sikkert at dette er nok for trafikantene. Systemer for tilgjengelig informasjon må baseres på et ”mer enn tilstrekkelig prinsipp” (redundans) og hvis mulig med gjentak av meldinger. En del trafikanter overser varselsskilt (eks rødt blinkede lys) og generelle alarmer. Nødtelefoner og brannslukningsapparat er vel og bra, men trafikantene trenger eksplisitt informasjon om hva som foregår, hvor alvorlig det er og hva de bør gjøre.

Ved valg av toløpstunnel for Rogfast kan hørbar rettleiding om rømningsveier være effektivt. Høytalere (akustiske veiledende fyrtårn) plassert ved rømningsveier som sier ”*utgang her*”, ”*exit here*” virker godt både under forhold med dårlig sikt og i god sikt. De bidrar til at trafikanter som blir overasket av en potensiell katastrofe, - overkommer sin innledende passivitet.

Faste blinkende retningsbestemte LED lys (høy intensitet) formet som en pil anbefales ved valg av ettløpstunnel for Rogfast. Et slikt system er egnet for tunneler med faste evakueringsruter.

Bruk av system for hendelsesdetektering (AID) og brannkontroll (vanntåke) kan hindre en liten hendelse i å utvikle seg til storulykke samt gi trafikantene bedre mulighet/tid til å evakuere og overleve en større brann.

Ved vurdering av ulike design for Rogfast tunnelen er det viktig å sammenligne nødvendig evakueringsstid med tilgjengelig tid. Eksempelvis perioden når det er enda ikke er høye konsentrasjoner av giftige branngasser, og varmen ennå er tålbare. Ved dimensjonering av bredden på rømningsdører (kapasitet) og modellering av ganghastighet bør ta hensyn til at en del trafikanter (eks busspassasjerer) vil ta med seg bagasje. Gruppe effekter bør modelleres ved design av evakueringsløsninger og valg av evakueringsstrategi. Denne modelleringen bør reflektere empiriske observasjoner. Det vil si at en større gruppe betegnes som ”*passiv reaksjon*” en som ”*lemen /saueflokk reaksjon*” en mindre gruppe som ”*umiddelbar reaksjon*” osv. Panikk er heller unntaket enn regelen ved krisesituasjoner.

6 Anbefalte oppfølgingsprosjekter

Denne rapporten tar utgangspunkt i rådende kunnskap om utrygghet og transportsikkerhet i forhold til utforming og dimensjonering av tunnel. I det følgende skisseres opp alternative oppfølgingsstudier som tar sikte på å frambringe kunnskap som dekker ulike sider ved de særegne problemstillingene E39 Rogfast representerer der vi ser det er kunnskapshull i dag. Prosjektforslagene er komplementære og vil kunne samlet gi et bedre bilde av hvilke utfordringer E39 Rogfast står ovenfor i forhold til menneskelige faktorer og tunnel utforming.

6.1 Simulatorstudier

Med bakgrunn i manglende kunnskap på området og behovet for optimalisering og kvalitetssikring av designelement, og kunstneriske tiltak anbefaler vi systematiske studier i simulator omkring:

- Design av bergrom
- Kunstnerisk belysning av bergrom
- Design skilting og belysning av kryss
- Kjøring i tunnel med ulik helningsgrad
- Design av visuelle referanser for stigning/fall
- Design av visuelle referanser for fartsopplevelse og økt orienterbarhet (kunstig horisont)

6.2 Støttesystemer for optimal kjøring i tunnel

Påkjøring bakfra er hyppigste ulykkestype i tunnel. I Mont Blanc tunnelen er det lagt inn LED lys som støtte for trafikantene til å holde riktig avstand. Basert på en fargekode der trafikantene skal holde tre LED lys av en bestemt farge mellom seg og kjøretøyet foran. Utprøving av LED lys som avstandsholder bør prøves ut i et kontrollert eksperiment i en eksisterende tunnel før installasjon i Rogfast. Metodisk basert på atferdsmålinger (fart, avstand til forankjørende, sidevegs plassering) og vegkantintervju for å fange opp trafikantreaksjoner. Som nevnt i kap. 3.1.4 er LED også gunstig for opplevd trygghet.

6.3 Studier med instrumentert bil (in situ)

Med bakgrunn i den avdekkede mangel på kunnskap omkring terskelverdier for utrygghet ved ulik stigning og stigningslengde, anbefaler vi studier med instrumentert bil. Et stratifisert utvalg med hensyn til grad av utrygghet for tunneler kjører en instrumentert bil i ulike tunneler med ulik stigning og stigningslengde for å avdekke opplevd utrygghet (in situ) ved 5,7, 8,9 eller 10 % stigning og ulik stigningslengde.

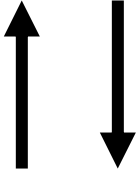
Slike studier kan utføres isolert med et større utvalg, men vi anbefaler her en mindre kvalitativ undersøkelse til understøttelse og validering av funn fra simulator på samme problemstilling.

Objektive data på trafikantenes psykofysiske reaksjoner på ubehag kan måles ved hjelp av hjerterate (puls måler) og svette (galvanisk hudmotstand /GSR). Hastighet, gass/brems, rattbevegelser, avstand til forankjørende osv. kan registreres fortløpende.

Subjektive faktorer knyttet til opplevelse av stigning og stigningslengde kan fanges opp ved hjelp av kommenterende kjøring (videoregistreringer /tale).

6.4 Metoder og validitet

Figur 6-1 illustrerer generell styrke og svakhet ved ulike metoder. Styrke og svakhet innenfor hver kategori kan variere med type test og/eller hvordan den gjennomføres, men er her uttrykk for generelle trekk ved de ulike metoder.

Styrke/Svakhet	Metode	Validitet / diagnostisk verdi
Økende kontroll med testbetingelser	Survey	Lav ekstern validitet
	Avansert Dynamisk Kjøresimulator (Type I) Modell av tunnel	Høy ekstern validitet
	Test i bil,- på lukket område Modell av tunnel	Lav diagnostisk verdi Høy ekstern validitet på håndtering av kjøretøy Lav ekstern validitet på håndtering av trafikkmiljø
Minkende kontroll med testbetingelser	In-situ Test i bil, - i reell trafikk/tunnel	Høy ekstern validitet

Figur 6-1: Styrke og svakhet med ulike metoder som kan avdekke utrygghet, frykt, angst og atferd ved kjøring i tunnel

Svakheten ved surveyer at de har utilstrekkelig nærhet til det som det spørres om. Det gir lav ekstern validitet. utfordringen blir å ha tilstrekkelig presisjon i spørsmålsstillingen. Metoden er godt egnet for kartlegging av subjektive opplevelser og holdninger til tunnel.

Styrken ved avanserte dynamiske kjøresimulatorer er god realisme. Ofte med meget høy realisme akustisk, visuelt og trafikalt men noe svakere på realisme i bevegelse/fysiske krefter. Test i kjøresimulator gir stor kontroll med testbetingelsene og høy reliabilitet. Både test av spesifikkopplevelse/atferd og test av sammensatte opplevelser/ferdigheter er mulig.

Test på lukket bane/område gir god realisme (god på bevegelse, fysiske krefter). Men metoden er svak på gjengivelse trafikalt (begrenset miljø/trafikk) Styrken er stor kontroll med testbetingelsene. Likevel noe svakere kontroll enn i simulator pga skiftende vær, lys og føreforhold. Reliabiliteten er noe svakere enn i kjøresimulator men fortsatt god.

Test in-situ av opplevelse/atferd gir svært god realisme med høy ekstern validitet. Test i virkelig trafikk gir imidlertid begrenset kontroll med testbetingelser. Trafikken varierer fra det ene øyeblikket til det neste. Det gir lav reliabilitet, men reliabiliteten kan kontrolleres ved metodiske grep (eks stenge tunnel for annen trafikk) slik at den blir tilstrekkelig. Dette kan igjen gå ut over den eksterne validiteten.

6.4.1 Kriteria for validering

Validitet handler om i hvor stor grad undersøkelsen (eks simulator) avspeiler et sant bilde av virkeligheten. Validitet angår gyldigheten av *slutninger* som trekkes på grunnlag av testresultater for spesifikke formål. Det kan settes opp en rekke kriterier for å forbedre validiteten til en simulator for bruk innen forskning. Kriteriene vi forholder oss til er basert på et validerings system fremmet av Sadish et al., (2002) Validiteten til en studie deles inn i fire typer validitet:

- Statistisk validitet
- Intern validitet
- Begrepsvaliditet
- Ekstern validitet

En nærmere beskrivelse av de ulike typene validitet er gitt av Elvik (1999) og Sadish et al. (2002). Vi vil her begrense diskusjonen til ekstern validitet.

6.4.2 Ekstern validitet

Ekstern validitet er ifølge Elvik (1999) Muligheten til å generalisere resultatene fra et sett av studier til andre kontekster og settinger enn de hvert enkelt studie var laget for. For anvendelse i forskning er det et krav at en simulator er validert og den har vist ekstern validitet.

En rekke forhold ved simulatoren kan være gjenstand for validering. Det er viktig at grunnleggende egenskaper slik som hastighet og sidevegs plassering er validert. I Europa er det i dag et tjuetalls kjøresimulator egnet for forskning. Ser vi bort fra den lukkede forskning som foregår innen bilindustrien og underleverandører til denne anser vi at det er 6 simulatormiljø i Europa med validert kjøresimulator egnet for forskning på tunneler og kjøreatferd. Disse er:

1. Leeds simulatoren (UK)
2. TNO simulatoren (NL)
3. TRL simulatoren (UK)
4. Fraunhofer simulatoren (DE)
5. VTI simulatoren (SE)
6. SINTEF /NTNU simulatoren (N)

Av disse simulatormiljøene er det kun TNO, TRL, SINTEF/NTNU og VTI simulatoren som har simulering av både tungbil og personbil i samme senter. De andre er kun for personbil. Erfaring med tunnelsimulering foreligger ved TNO, VTI og SINTEF/NTNU simulatoren. VTI har nylig gjennomført omfattende ombygging og oppgradering av sin simulator. Det er ennå ikke gjort valideringsstudier med den nye simulatoren. Statens Vegvesen har vært en vesentlig bidragsyter til oppbygging av simulatormiljøet ved NTNU/SINTEF og har minimum 100 simulatortimer årlig til rådighet for FOU virksomhet.

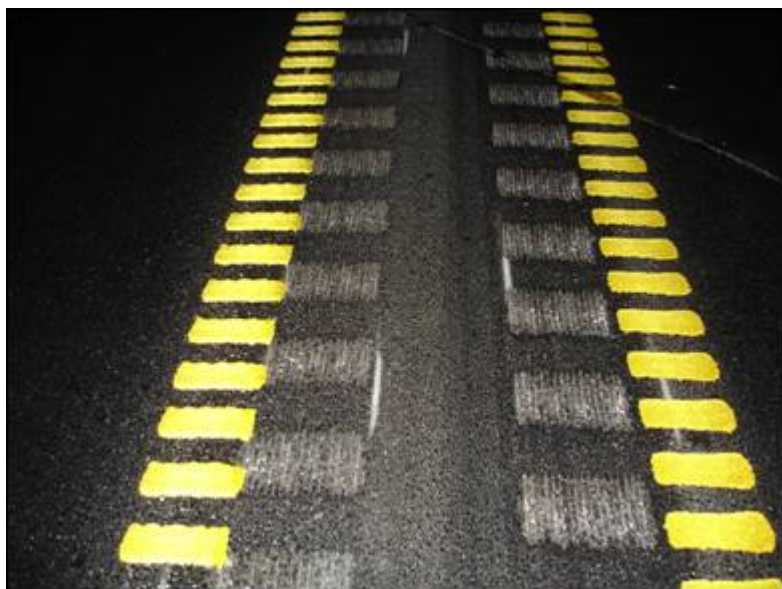
6.4.3 Validering av SINTEF/NTNU simulatoren

Fart og sideplassering

På deler av Nullvisjonsstrekningen nord for Lillehammer har Statens vegvesen etablert smalt midtfelt med rumlestriper. Dette er ett av tiltakene Statens vegvesen ønsker å prøve ut for å hindre møteulykker på strekningen.

I dette prosjektet er det foretatt registrering av kjøretøyenes plassering i kjørebanelen samt fartsmålinger i 6 punkter på disse strekningene. Formålet med disse registreringene er å se på

hvordan de ulike markeringene av midtfelt virker inn på trafikantenes kjøremåte. Det er tidligere gjennomført testing av midtfelt i kjøresimulatoren ved SINTEF/NTNU (Notat N-09/04). Det er derfor også av interesse å se på om resultatene fra simulatorkjøringene stemmer overens med de resultater en får fra registreringer i felt.



Figur 6-2: *Midfelt*

Kjøretøyenes sidevegs plassering blir vesentlig påvirket av oppmerket midtfelt. Ser en kun på de stedene der midtfeltet består av to sperrelinjer flytter de lette kjøretøyene seg 43 cm bort fra vegens senterlinje etter at midtfeltet er etablert.

Disse resultatene stemmer meget bra overens med forsøk som er gjort i kjøresimulatoren. Her ble det registrert en sidevegs forflytning på 45 cm bort fra vegens senterlinje etter etablering av midtfelt.

Totalt sett er det registrerte fartsnivået det samme før og etter etablering av midtfelt. Ved vurdering av resultatene må en imidlertid ta med i betraktningen at vegen ble reasfaltert i forbindelse med at midtfeltet ble etablert. Reasfaltering bidrar til økt fartsnivå. Videre var det noe regn ved etter-registreringene og oppholdsvær ved før-registreringene. Regn bidrar generelt til lavere fartsnivå. Når en vurderer disse faktorene står en imidlertid igjen med at det er sannsynlig at midtfeltet har bidratt med 1-3 km/t lavere fartsnivå.

Dette resultatet stemmer også godt overens med de funn som ble gjort i de nevnte forsøkene som ble gjennomført i kjøresimulatoren. Her ble det registrert inntil 1,5 km/t fartsreduksjon etter etablering av midtfelt.

Reaksjonstid

SINTEF/NTNU simulatoren er også validert med hensyn til reaksjonstid. Reaksjonstid i fire ulike trafikksituasjoner er studert i simulator og tilsvarende trafikkmiljø/situasjon på veg. Fire kilder til informasjon om reaksjonstid gir større validitet. Resultatene fra simulator var som forventet sammenlignet med virkelig Gjennomsnittlig reaksjonstid ligger på 1.0 til 1.5 sekund i de fleste situasjonene. Dette er i tråd med funn fra en litteraturstudie omkring reaksjonstid i trafikksituasjoner og simulator studier (Gjæver & Engen 2004).

7 Referanser

- Amundsen & Solli (1996). *Skisseutkast til informasjonshefte om interiørmessig utforming av vegtunneler*. (12.06.96).
- Amundsen (1992). *Driver behaviour in Norwegian road tunnels. Toward a deeper understanding*. Oslo, M.: Directorate of Public Roads.
- Amundsen Nielsen & Østenstad (1995). *Trafikantenes meninger om kjøring i tunneler i Oslo og Bergen*. Plan og anleggsavdelingen 7010/1995. Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
- Amundsen & Ranæs (1997). *Trafikkulykker i vegtunneler på europa- og riksvegnettet for perioden 1992-96*. Transport og trafikksikkerhetsavdelingen, nr. 9, Statens Vegvesen.
- Andersen V. B. (1997). *Road tunnel linings. Design for safety and aesthetics Symposium 9-10 October*, Oslo. Statens Vegvesen
- Augdal (2004). *Kantmarkering med lysmitterende dioder i Grilstadtunnelen*. STF24F04900.
- Beck (1995). *Cognitive Therapy: Basics and Beyond*
- Berren et al. (1982). *A typology for for the classification of disaster: Implications for for intervention*. British Medical Journal 18: 120-134.
- Bertelsen (2001). *Håndbok 021 Vegtunneler. Vurdering av nye kriterier for ett eller toløps tunneler*.
- Bickman L. et al. (1977). *A model of Human Behaviour in a Fire Emergency*. Loyala University of Chicago, USA.
- Boff & Lincoln (1988). *Human Perception and Performance*. Human Data Compendium 3
- Brecher, M. & Wilkenfeld. J. (1988) *Handbook of International Crisis*, volume I of *Crisis in the twentieth century*. Pergamon Press, Oxford, 1st Ed.
- Brown (1991). *Highway hypnosis: implications for road traffic research and practitioners*. Vision In Vehicles, Elsevier Science Publishers B.V. North Holland (1991).
- Bryan, J. L. (1995). Behavioural response of fire and smoke, Society of Fire Protection Engineers.
- Bryan, J. L. (1999). "Human Behaviour in Fire: The Development and Maturity of a Scholarly Study Area " Fire and Materials 23: 249-253.
- Canter et al. (1992). *Pedestrian behaviour during emergencies underground: The psychology of crowd control under life threatening circumstances*.
- Canter et al. (1995). *Pedestrian behaviour during emergencies underground: The psychology of crowd control under life threatening circumstances*, Proc. 2nd Int.Conf. on safety in Road and Rail Tunnels. Granada, Spain p135-150
- Carmody (1995). *Impact of interior design on road tunnel safety and driver perception*. Safety in road and rail tunnels. Second international conference, Granada, Spain.
- Christensen & Beckman (1992). *Angsten for det sorte hull*. Foreløpig rapport i Fyens stiftstien 16.07.92. Odense Universitet, Danmark.
- Colombo, A. G. (2001). *Lessons learnt from tunnel accidents*, EUR Report / NEIDIES Project.
- Daas (2002). *Rapport fra et seminar vedrørende brann- og røyktester i Benelux-tunnelen*. Statens vegvesen Oslo.
- Day (2002). *Do – or should – cultures have a design impact?* Tunnel Fires, fourth international conference 2.-4. Desember 2002, Basel, Switzerland. Personal communication from presentation at additional one day seminar (not included in conference proceedings).
- Dyregrov (1990). *Hjelperes psykologiske reaksjoner under og etter katastrofer*. Tidsskrift for Norsk Psykologforening, 27, 255-265
- Dyregrov (1993). *Katastrofepsykologi*. Oslo: Ad Notam Gyldendal Forlag.
- Dyregrov, A. (1999) *Katastrofepsykologi*. Fagbokforlaget. Oslo, Norway.
- Eberl (2001). *Tunnel safety and psychology*. Independent Technical Conferences, 3(10), p. 5
- Elvik (1999). *Assessing the Validity of Evaluation Research by Means of Meat-Analysis*. Institute of Transport Economics, 1999

- Giæver & Engen (2004). *Reaction time in road traffic*. 6th international Congress on ITS in road traffic. Nagoya, Japan.
- Gøtestam K.G., Brenne L., Fuglem B. og Agras W.S. (1992). *Phobic symptoms in the Norwegian population*. Manuskript under bearbeidelse.
- Hersloot, I. and Ruitenber, A. (2004). "Citizen Response to Distasters: A survey of litterature and some practical implications." Journal of Contingencies and Crisis Management 12(3): 98-111.
- Heskestad, A. W. (1999). "Performance in smoke of wayguidance systems." Fire and Materials 23: 275-281.
- Hovd A-(1987). *Vegutformingens innvirkning på ulykkene*. Notat 465 Institutt for veg og jernbaneteknikk NTH.
- Human Factors Solutions (1992). Lauvland G & Clathworthy S. *Opplevd sikkerhet / reell ulykkesfrekvens i tunneler. Arkitektoniske løsninger. Fase I, hypotese genererende virksomhet*. Oslo.
- Hvoslef (1991). *Trafikksikkerhet i vegtunneler*. Informasjon fra Trafikksikkerhetskontoret Vegdirektoratet.
- Jenssen (1998). *Vurdering av spesielle tiltak i Lærdalstunnelen: Tiltak for positiv opplevelse, trafikksikkerhet og reduksjon av monotoni. Fase 2: Utprøving av fysiske og interiørmessige tiltak i kjøresimulator*. SINTEF Bygg og miljøteknikk, Samferdsel. STF22 F99550.
- Jenssen et al. (1997). *Vurdering av spesielle tiltak i Lærdalstunnelen, Opplevelse av trygghet og monotoni*. SINTEF Bygg og miljøteknikk, Samferdsel Notat 4/97
- Jenssen et al. (2006). *Light desing for rock caverns and tunnel. The Qinling Zhognan Mountains Overlong Super Highway Tunnel*. SINTEF Rapport A06084 Konfidensiell
- Kerr (1991). *Driving without Attentional Mode (DWAM): a Formalisation of Inattentive States in Driving*. Vision In Vehicles, Elsevier Science Publishers B.V. North Holland (1991)
- Kelley, H., Condry, J., Dahlke, A. and Hill, A. (1965). "Collective behaviour in a simulated panic situation." *Journal of Experimental Social Psychology* 1(1): 20-54.
- Le Doux (1996). *The Emotional Brain: The mysterious Underpinnings of Emotional Life*. Touchstone Publishing, New York
- Lotsberg, G., 2006. *E39 Rogfast – Førebels vurderingar av ventilasjon*. Datert 04.09.2006.'
- Louis (1994). *Safety and health concerns in academic and public libraries*. Dissertations-or- Thesis-Underminded. Master's Research Paper, Kent University, U.S.; Ohio
- Martens & Kaptein (1997). *Effects of tunnel design characteristics on driving behaviour and traffic safety: A litterature review*. TNO Human Factors, TNO-97-B005.
- Mecham, B. J. (1999). "Integrating human factors issues into engineered fire safety design " Fire and Materials 23: 273-279.
- Midtland (1992). *Tunnelreise –en skremmende opplevelse?* TØI, notat TST/354
- Norges offentlige utredninger (2000). *Et sårbart samfunn. Utfordringer for sikkerhets og beredskapsarbeidet i samfunnet*. NOU, 2000/24
- Pan, X., Han, C., Dauber, K. and Law, K. H. (2006). "Human and social behaviour in computational modelling and analysis of egress." Journal of Automation and Construction 15: 448-461.
- Paulsen (1991). *Menneskelig atferd i brann: En litteraturstudie*. SINTEF rapport STF75 A91034
- Perrow, C. (1999). Normal Accidents, Princeton.
- Perry, R. W. and Lindell, M. K. (2003). "Understanding citizen response to disasters with implications for terroism." Journal of Contingencies and Crisis Management 11(2): 51-52.
- Piggot (1989) *Fire Detection and Human Behaviour*. Fire Safety Science. Proceedings of the Second International Symposium, Tokyo (1989) pp. 573-581
- Proulx, G. (2002). Understanding human behaviour in stressful situations. Workshop to Identify Research Needs to Foster Improved Fire Safety in the United States. Washington, DC. , National Academy of Sciences.

- Proulx (1993) A stress modell for people facing a fire. *Journal of Environmental Psychology* 13, Academic Press.
- Quarantelli (1999) *Disaster Related Social Behavior: Summary of 50 Years of Research Findings* <http://www.udel.edu/DRC/prepapers.html>
- Quarantelli, E. L. (1973). Human Behaviour in Disaster. Designing to Survive Distaster, Chicago, IIT Research Institute.
- Quarantelli, E. L. (1999). *The Sociology of Panic*. Delaware US, Disaster Research Centre, University of Delaware.
- Rein (1989). *Agorafobi, tunneler og tiltak*. Arbeidsnotat av 01.09.1986. Transportøkonomisk institutt.
- Sadish et al. (2002). *Experimantal and Quasi-Experimental Designs*. Hougton Mifflin, 2002
- Sakshaug et al. (1996). *Konsekvensanalyse av forbindelsen Ekeberg tunnelen-Oslo tunnelen (Bjørsvika). Trafikksikkerhet og orienterbarhets*.
- Seyle, H. (1979). The Stress Concept and some of its Implications. Human Stress and Cogntion. V. Hamilton and Warburton, D. M. London UK, John Wiley & Sons: 11-30.
- Sime (1990). *The concept of "panic"*. In Canter, J. (Ed.) *Fires & human behaviour*. Second edition, David Fulton Publishers, London
- Sime (1995)
- Slovic ,P. (2000). *The perception of risk*. Earthscan publishing Ltd.UK.
- Statens vegvesen (1992). *Trafikantundersøkelser i Gudvangen- og Flenjatunnelene. Trafikantatferd i lange tunneler*. Dokument 3.
- Statens vegvesen (1995a). *Trafikanter meninger om kjøring i tunneler i Oslo og Bergen*. Vegdirektoratet, Plan- og anleggsavdelingen.
- Statens vegvesen (1995b). *E16 Aurland - Lærdal. Konsekvensanalyse for tunnelen*. Sogn og Fjordane vegkontor.
- Steyvers et al. (1999). *Aspects of human behaviour in tunnel fires – a literature review*. International Tunnel Fire & Safety Conference, Rotterdam 1999
- Statens Vegvesen (1986-1995): *Trafikantatferd i lange tunneler*. Dokument 1-9 Vegdirektoratet, Plan og anleggsavdelingen
- Taylor (1986). *Models of disasters and human responses*. Conference of the Society for Psychosomatic Research, London, 17/18 November, 1986
- TFK (1994). *Høytrafikkerte tunneler i by*. Rapport fra tunnelkonferanse 18-19 okt.2001. Trafikantatferd i tunneler.s.25
- TNS Gallup (2004) <http://www.vg.no/pub/vgart.hbs> og <http://www.if.no/web/no/corporate.nsf>
- Upchurch et al.(2002). *Freeway guide sign design with driving simulator for Central Artery-Tunnel: Boston, Massachusetts*. Transportation research record 1801(1): 9-17.
- UPTUN/ FEDRO (2006) In Ernst et al. report no. FHWA PL-06-016. *Underground Transportation systems in Europe. Safety operations and emergency response*.US department of transportation, FHWA in cooperation with American Association of state highway and transportation officials .
- UPTUN/TNO (2006). In Ernst et al. report no. FHWA PL-06-016. *Underground Transportation systems in Europe. Safety operations and emergency response*.US department of transportation, FHWA in cooperation with American Association of state highway and transportation officials .
- Woods, D. D. and Hollnagel, E. (2006). Joint Cognitive Systems, Taylor & Francis Group.
- Zuckerman M. (1994). *Behavioral Expressions and Biosocial Bases of Sensation Seeking*. Cambridge University Press.
- Øhman (1992). *Fear and anxiety as emotional phenomena. Clinical, phenomenological, evolutionary perspectives, and information-processing mechanisms*. In Handbook of the emotions, Lewis, M. And Haviland, J.M. New York Guilford, pp. 511-536
- Øvstedal et al. (2000). *Hvor PROMPT kan vi måle*. Samferdsel nr 10.

