



**SINTEF Teknologiledelse**  
Sikkerhet og pålitelighet

Postadresse: 7465 Trondheim  
Besøksadresse: S P Andersens veg 5  
Telefon: 73 59 27 56  
Telefaks: 73 59 28 96

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

# SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Sikkerhet i Oslofjordtunnelen:  
Uavhengig gjennomgang av Bergsikring – Brann – Beredskap –  
Teknisk utstyr – Trafikantiltak**

FORFATTER(E)

B.Alteren, A.Beitnes, P.Hokstad, G.D.Jenssen, K.Opstad,  
J.P.Stensaas

OPPDRAGSGIVER(E)

Rådet for Drammensregionen

RAPPORTNR. STF38 A04407	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Dankert Freilem	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 82-14-02728-4	PROSJEKTNR. 384625	ANTALL SIDER OG BILAG 17 + 3
ELEKTRONISK ARKIVKODE T:/384625/Rapport/Rapport_endelig.doc	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Bodil Alteren	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Erik Jersin	
ARKIVKODE	DATO 2004-02-09	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Lars Bodsberg	

## SAMMENDRAG

Rapporten gir en grov og overordnet vurdering av sikkerhet og pålitelighet i Oslofjordtunnelen, med fokus på fagområdene bergsikring, brann, beredskap, teknisk utstyr og trafikantiltak. Studien påpeker analyser og tiltak som anbefales gjennomført.

Det tas forbehold om at SINTEF ikke kjenner til i hvilken grad de foreslåtte analyser og tiltak allerede er utført.

Forutsetninger under studien: Arbeidet er gjennomført med begrenset mengde dokumentasjon, og uten tilgang på førstehånds informasjon / intervjuer fra Statens vegvesen vedrørende Oslofjordtunnelen. Det er ikke gjennomført noen befaring i tunnelen. Studien er dessuten gjennomført på svært kort tid.

Gjengivelse av rapporten i utdrag som kan virke misvisende er ikke tillatt.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
EMNEORD	Sikkerhet	Safety
EMNEORD	Pålitelighet	Reliability
EMNEORD	Transport	Transport
EMNEORD	Bygg og anlegg	Building and construction
	Tunnel	Tunnel

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>5</b>
	2.1 Bakgrunn og formål .....	5
	2.2 Gjennomføring, begrensninger.....	5
	2.3 Integritet .....	6
<b>3</b>	<b>Bergsikring og konstruksjoner</b> .....	<b>7</b>
	3.1 Byggetekniske løsninger .....	7
	3.2 Tunnelens byggemåte, driving, sikring og innredning.....	7
	3.3 Organisering .....	7
	3.4 Utførelse .....	8
	3.5 Drift og overvåking .....	9
<b>4</b>	<b>Brannsikkerhet og brannberedskap</b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Behov for kvalitetssikring av tekniske installasjoner</b> .....	<b>11</b>
	5.1 Prosjekterings- og byggefase.....	11
	5.2 Driftsperioden.....	12
<b>6</b>	<b>Trafikanttiltak for reell og opplevd risiko</b> .....	<b>14</b>
	6.1 Belysning og hvitmaling .....	14
	6.2 Fartsnivå .....	14
	6.3 Havarinisjer og nødtelefon .....	15
	6.4 Evakuering / nødutganger / nødrom.....	15
	6.5 Video- / TV-overvåking .....	16
	6.6 Kombinere tekniske og menneskelige tiltak .....	16
<b>7</b>	<b>Konklusjoner og anbefalinger</b> .....	<b>17</b>
	<b>Vedlegg 1 BERGSIKRING OG KONSTRUKSJONER</b> .....	<b>18</b>
	<b>Vedlegg 2 BRANNSIKKERHET OG BRANNBEREDSKAP</b> .....	<b>22</b>
	<b>Vedlegg 3 TRAFIKANTTILTAK FOR REELL OG OPPLEVD RISIKO</b> .....	<b>26</b>

## 1 Sammendrag

Oslofjordtunnelen har fått atskillig oppmerksomhet i den senere tid. Den 16. august 2003 opplevde man oversvømmelse i tunnelen etter svikt i pumpesystemet. Den 28. desember 2003 hadde man blokkfall fra tunneltaket. Den 29. januar 2004 ble tunnelen stengt for å gjennomføre bergsikringsarbeider.

Rådet for Drammensregionen består av sju kommuner. De representerer næringsliv og innbyggere som er brukere av Oslofjordtunnelen, og er på den bakgrunn opptatt av sikkerhet og regularitet av tunnelen. Rådet har bedt SINTEF om å gjøre en grov, overordnet vurdering av sikkerhet og pålitelighet av Oslofjordtunnelen. Uttalelsene og vurderingene skal belyse objektivt hva som anses å være av betydning for de grunnleggende mål som publikum og omkringliggende samfunn er opptatt av: trafikk- og rømningsikkerhet, opplevd sikkerhet og fremkommelighet.

Fagområder som inngår i oppdraget er bergsikring, tiltak mot brann, beredskap, pålitelighet av teknisk utstyr, samt trafikanttiltak. Pumpesystemer er ikke inkludert, da det allerede er gjennomført en analyse på dette området. Det tas forbehold om at studien er utført med begrenset tilgang på dokumentasjon og uten mulighet for intervjuer av personell med førstehånds kjennskap til planleggingen, byggingen og driften av tunnelen. Befaring har heller ikke vært mulig.

Ut fra den dokumentasjon som har vært tilgjengelig, klargjør rapporten hvilke tiltak og evalueringer SINTEF mener bør prioriteres for å sikre en høyest mulig reell og opplevd sikkerhet, pålitelighet og regularitet i Oslofjordtunnelen. Det tas forbehold om at SINTEF ikke kjenner til i hvilken grad de foreslåtte tiltak og analyser allerede er utført.

De viktigste analyser og sikkerhetstiltak som etter SINTEFs vurdering bør gjennomføres er følgende (enkelte ytterligere muligheter for forbedringer er omtalt i rapporten og vedlegg):

### ***Prioriterte analyser og evalueringer som anbefales gjennomført:***

- En grundig og total risikoanalyse av Oslofjordtunnelen, pluss pålitelighetsanalyse av viktig sikkerhetskritisk utstyr
- Granskning av driftserfaringer mht regularitet og pålitelighet av utstyr
- Vurdering av vedlikeholds- og inspeksjonsrutiner, inkl. personellets kunnskap om anleggets systemer og utstyr
- Analyse av registrerte hendelser og tiltak, og vurdering av systematikk for oppfølging
- Analyse av beredskap, bl.a. evaluering av oppfølging etter beredskapsøvelser

SINTEF anbefaler en grundig uavhengig gjennomgang av disse forholdene.

### ***Prioritert tiltak, som vil øke reell og opplevd sikkerhet:***

Når det gjelder brannsikkerhet, synes Oslofjordtunnelen ut fra SINTEFs opplysninger, å ha en standard som samsvarer med andre sammenlignbare tunneler. Det aller viktigste tiltaket for å øke sikkerheten i Oslofjordtunnelen, bl.a. i forbindelse med brann, er å gjennomføre realistiske beredskapsøvelser i forhold til ulike scenarier. "Overtrening" er viktig i stressende situasjoner, samtidig som det gir viktige erfaringer for forbedring.

En rekke andre tiltak som vil kunne ha positiv effekt på reell og opplevd sikkerhet er (realisering av tiltakene bør vurderes basert på en kost- / nyttevurdering):

- Supplerende belysning i tunnelens midtparti
- Hvitmalte vegger i 1,5 m høyde
- Ordinær kantbelysning LED-lys
- Jevnlig vedlikehold og vask i tunnelen (dette gjennomføres også i dag, men hyppighet og omfang bør revurderes)
- Publikumsinformasjon (om innsnakk, havarilommer, nødtelefoner etc.) f.eks. på rasteplasser og i bomstasjon ved innløp til tunnelen
- Redusert fartsgrense og fartsovervåkning med fotobokser
- Tilstrekkelig antall godt synlige nødrom (er ikke påkrevd med dagens ÅDT)
- Gjennomføre forsøk med blinkende LED-lys for evakuering til nødrom

Når det gjelder forhold knyttet til bergsikring og konstruksjoner, har en ut fra det SINTEF erfarer, i utgangspunktet valgt en høyere standard enn trafikkgrunnlaget tilsier. Det synes også å være benyttet anerkjente prinsipper og god kvalitet gjennom prosjektering og organisering. Derfor er rastilfellet og de avdekkede behov for supplerende sikring overraskende, og årsakene bør derfor utredes mer inngående. Mht. bergforholdene slik de fremstår i dag, og behov for tiltak, er disse grundig gjennomgått av en ekstern Ekspertgruppe oppnevnt av Statens vegvesen. Ekspertgruppen viser til en del strakstiltak, hvorav noe bør utføres før tunnelen åpnes igjen for ordinær trafikk. Gruppen foreslår også inspeksjonsrutiner for tunnelen. SINTEF finner ikke grunn til å tilføye spesifikke tiltak ut over de anbefalinger som denne gruppen har gitt.

## 2 Innledning

### 2.1 Bakgrunn og formål

Oslofjordtunnelen har fått atskillig oppmerksomhet i den senere tid. Den 16. august 2003 opplevde man oversvømmelse i tunnelen etter svikt i pumpesystemet. Den 28. desember 2003 hadde man blokkfall fra tunneltaket. Den 29. januar 2004 ble tunnelen stengt for å gjennomføre bergsikringsarbeider.

Rådet for Drammensregionen består av sju kommuner. De representerer næringsliv og innbyggere som er brukere av Oslofjordtunnelen, og er på den bakgrunn opptatt av sikkerhet og regularitet av tunnelen. Rådet har bedt SINTEF om å gjøre en grov, overordnet vurdering av sikkerhet og pålitelighet av Oslofjordtunnelen. Uttalelsene og vurderingene skal belyse objektivt hva som anses å være av betydning for de grunnleggende mål publikum og omkringliggende samfunn er opptatt av: trafikk- og rømningsikkerhet, opplevd sikkerhet og fremkommelighet.

Fagområder som inngår i oppdraget er bergsikring, tiltak mot brann, beredskap, generell risikoanalysemetodikk, kvalitetssikring av pålitelighet av teknisk utstyr, samt trafikanttiltak. Pumpesystemer er ikke inkludert, da det allerede er gjennomført en analyse på dette området (DNV, 2003).

### 2.2 Gjennomføring, begrensninger

Initiering av oppdraget skjedde i telefonmøte mellom SINTEF's fagpersonell og Rådets direktør, Dankert Freilem, den 28. januar 2004. Oppdraget skulle ferdigstilles den 9. februar. SINTEF har således hatt mindre enn to uker på arbeidet.

SINTEF har innledningsvis brukt mye tid på å skaffe til veie dokumentasjon og aktuelt materiale vedrørende de analyser som skulle utføres. Dette måtte skaffes fra Statens vegvesen, som ikke kunne fremskaffe den ønskede dokumentasjon i løpet av den korte tiden som var til rådighet. Begrunnelsen var at de ikke hadde avsatt tid til dette. Personene vi søkte kontakt med, var også vanskelig tilgjengelig. Et tilbud fra Vegvesenet om at SINTEF kunne få tilgang til vegvesenets arkiv fra prosjekteringsfasen, måtte avslås pga begrenset tid og ressurser for oppdraget. Et kort møte ble gjennomført mellom én representant for SINTEF, og Vegdirektoratet / Vegvesenet. Følgende grunnlagsmateriale har inngått i studien.

- "Risikoanalyse Oslofjordtunnelen", Rapport 2001-0688, DNV
- "Oslofjordtunnelen – Brannanalyse", Rapport 2000-3458, DNV
- "Nyttekostnadsanalyse av sikringstiltak i Oslofjordtunnelen", Rapport 2001-0362, DNV
- "Granskning av hendelsen i Oslofjordtunnelen 16.08.2003", Rapport 2003-1517, DNV
- Notat: "Inspeksjon av Oslofjordtunnelen 03-04 januar 04", Multiconsult, 07.01.04
- Beredskapsplan for RV 23 Oslofjordtunnelen, September 2000
- Beredskapsplan RV23 – Oslofjordtunnelen, Statens Vegvesen Akershus, udatert inkl. "Rapport etter øvelsen i Oslofjordtunnelen 28/9-00"
- "Oslofjordforbindelsen", Statens Vegvesen, Juni 1999
- "Oslofjordforbindelsen – trafikk og regionale virkninger", TØI rapport 554/2002
- Prosjektets byggeplan som viser de byggetekniske løsningene
- SV Håndbok 021 som lister opp nasjonale krav til tunneler
- Rapport fra ekspertgruppe av 27.januar 2004: Vurdering av stabilitet og forslag til sikring i Oslofjordtunnelen

SINTEF ønsket å gjennomføre intervjuer med utvalgte personell i tunnelens drifts- og prosjektorganisasjon, med kjennskap til respektive prosjekteringsfasen, byggefasen og nåværende drift. Dette ble ikke gjennomført fordi Statens vegvesen / Vegdirektoratet ikke ønsket at SINTEF på det nåværende tidspunkt skulle ha samtaler med deres personell. En årsak til dette kan være at vegvesenet selv – slik SINTEF har forstått det – planlegger eller allerede er i gang med en ekstern gjennomgang / granskning av forhold omkring Oslofjordtunnelen.

Det har ikke vært gjort noen befaring av Oslofjordtunnelen i forbindelse med oppdraget.

SINTEF's konklusjoner og anbefalinger må vurderes på grunnlag av de ovennevnte begrensningene.

### **2.3 Integritet**

Før kontraktsinngåelsen for dette oppdraget er oppdragsgiver gjort oppmerksom på at to av de utførende fra SINTEF tidligere har vært involvert i Oslofjordtunnelen på følgende måte:

#### *Anders Beitnes*

For Beitnes sitt vedkommende ble oppdragsgiver gjort oppmerksom på at han kjenner Oslofjordtunnelen fra tidlig planfase og at han bodde i Drammen i 1994 - 1998. I detalj var han ingeniørgeologisk rådgiver for en lokal gruppering som arbeidet for å fremme tunnelprosjektet fra midt på 1980-tallet. Beitnes er dessuten i familie med en kontrollingeniør som arbeidet for Statens vegvesen i byggefasen. Verken Beitnes eller den del av SINTEF han tilhører, har ellers hatt noen økonomisk eller organisatorisk tilknytning til noen av prosjektets parter i den endelige planfasen, byggefasen eller senere, med et mulig unntak av noen materialundersøkelser.

#### *Gunnar D. Jenssen*

Jenssen utførte en trafiksikkerhetsanalyse av Oslofjordforbindelsen i 1992. Han har gitt en leveranse til Asplan Analyse som ledd i en konsekvensutredning, før alternativene bru versus tunnel var fastlagt. Analysen var for to-løps tunnel i forbindelse med planene om å legge den nye hovedflyplassen til Hurum.

### **3 Bergsikring og konstruksjoner**

Vi skal her kommentere de forhold som har med bergsikring og konstruksjoner å gjøre ut fra hva som er viktig for den primære funksjon og faktisk og opplevd sikkerhet, så langt det har vært mulig å skaffe innsikt i faktiske forhold. Grunnlaget for uttalelsene er presentert i vedlegg 1.

#### **3.1 Byggetekniske løsninger**

Tunnelen er dimensjonert og prosjektert i henhold til et statlig regelverk, nedfelt i Håndbok 021 for vegtunneler. Det har kommet frem gjennom erfaringsinnsamling, forskning, verdidebatter og samråd med Direktoratet for samfunnssikkerhet (tidligere DBE). Oslofjordtunnelen er dimensjonert for ÅDT inntil 7500 (kjøretøypasseringer pr. døgn som gjennomsnitt over året). Det tilsa tunnelklasse C. Netto bredde er 11,5 m med tre kjørebaneer. Standarden er hevet i fht. normalene ved at det er prefabrikkerte betongelementer i veggene gjennomgående. (Dette er et krav først ved tunnelklasse D, dvs. for trafikk over 7500 ÅDT). Det ble også satt meget strenge krav til å unngå vanddrypp på kjørebaneen. Når en i tillegg kan registrere at trafikken hittil ikke overstiger en ÅDT på 4500, som tilsvarer tunnelklasse B, må det kunne fastslås at det har vært lagt til grunn en ambisjon om relativt høy standard, både i forhold til regelverk og sammenlignet med det vegnettet som man er avhengig i resten av Norge.

Med hensyn til spesielle krav til en undersjøisk tunnel, som går på omfang av forundersøkelser og risikoforbyggende tiltak under driving, er det heller ikke grunnlag for å peke på noen avvik i forhold til regelverk og god praksis.

#### **3.2 Tunnelens byggemåte, driving, sikring og innredning**

Tunnelen er bygd etter det prinsipp som er rådende i Norge, med løpende observasjon av bergforholdene etter hvert som tunnelen sprenges ut, og beslutning om bergforsterkning på det grunnlaget. Bergforsterkningen gjennomføres delvis samtidig med driving for å ivareta arbeidernes sikkerhet, delvis som kompletterende sikring i etterkant for å ivareta funksjonskrav / sikkerhet som vegtrafikk tunnel. Dertil er det en sammensatt innvendig konstruksjon for primært å hindre vanddrypp på vegbaneen. Veggene er bygd av prefabrikkerte betongelementer som har den tilleggsfunksjon at de tåler nedfall av stein fra tunnelens vegger. I taket er det benyttet vanntette, overlappende polyetylen-skum-plater som er hengt i et mønster av montasjebolter og dekket med 7 cm armert sprøytebetong. PE-skummet skal dermed ikke kunne begynne å brenne i tilfelle av brann i et kjøretøy. Dette hvelvet (taket) er dimensjonert for å tåle begrensede mengder nedfall av stein, og reduserer ikke kravet til fullgod stabilitets- og detaljsikring av berget i tak og vederlag. SINTEF har ikke funnet indikasjon på at valget av byggemetode og tilhørende tekniske krav til byggetekniske løsninger i Oslofjordtunnelen ikke er i tråd med beste norske praksis.

#### **3.3 Organisering**

Prosjektleder var Eirik Øvstedal, som hadde lang erfaring som ansvarlig for regelverk og kontraktsstrategi i Vegdirektoratet. SINTEF har fått opplyst at konsulent (under ledelse av Fridtjof Andreassen hos Aas-Jakobsen) og byggeleder for tunnelen (Ole Fromreite i Statens vegvesen) hadde høye ambisjoner mht kvalitet og gode løsninger. Driving og bergsikring ble utført i entreprise (kontrakt mellom entreprenørfirma som utførende og Statens vegvesen som byggherre). Entreprenøren (SRG) var et firma med relativt kort forhistorie i Norge (etablert for gjennomføring av Romeriksporten 1995 - 98), men med en bemanning som besto av normalt erfarne tunneldrivere og arbeidsledelse. Byggherren hadde en egen oppfølgingsorganisasjon satt

sammen for dette prosjektet, bestående av en blanding av erfarne og nyutdannede ingeniører for byggekontroll, og med spesialister bl.a. i ingeniørgeologi (viktig for beslutninger om bergsikring). Det ble også benyttet ekstern ekspertise til gjennomgang underveis av rutiner og faglig kvalitet. I utgangspunktet skulle dette opplegget ikke stå tilbake i forhold til tidligere gjennomførte samferdselsprosjekter i Norge.

### 3.4 Utførelse

a) Hvelvkonstruksjoner og annen innredning.

SINTEF kjenner ikke til avvik som tilsier underdimensjonering, dårlige løsninger, systematiske feil eller kvalitetssvikt i denne type konstruksjoner, målt ut fra egentlig hensikt.

b) Bergsikring.

Under driving fikk man ett overskyggende problem: den mye omtalte fryseseonen.

Gjennomføringen av tunnelarbeidet i denne sonen tyder på at prosjektet hadde rutiner, kompetanse, beslutningsevne og ressurser til å takle vanskelige utfordringer på en trygg måte.

Ikke minst derfor er hendelsen med steinras og etterfølgende påpekte mangler i bergsikring overraskende. Det vises i denne sammenheng til den offentlig tilgjengelige rapporten fra Ekspertgruppen som ble nedsatt etter raset:

[http://www.vegvesen.no/SVVvedlegg/rapport\\_oslofjordtunnelen\\_280103,0.doc](http://www.vegvesen.no/SVVvedlegg/rapport_oslofjordtunnelen_280103,0.doc)

Hovedtrekkene i denne rapporten er:

- Raset skyldes at svelleleire på stikk og sprekker har tatt til seg fuktighet og fått nedsatt styrke.
- I alt 9 punkter krever strakstiltak som skyldes mangelfull bergsikring. Dette omfatter til sammen 2,5 % av tunnellengden.
- Verken raset eller andre påpekte mangler har kunnet medføre noen risiko for total kollaps og innstrømming av sjøvann.

Ekspertgruppen sier i sin rapport at den har hatt knapp tid, med gode arbeidsforhold. Hvis noe mangler, måtte det etter vårt skjønn være en grundig gjennomgang sammen med de som hadde førstehånds kjennskap til bergforholdene fra byggeperioden. SINTEF kan ikke bidra med fakta eller vurderinger som overprøver det Ekspertgruppen har kommet frem til. Behovet for kontinuerlig stengning av tunnelen kunne kanskje reduseres til en periode hvor man gjennomfører ettersikring i hele profilet. Ellers er det mulig at supplerende sikring kan gjennomføres i nattestengt tunnel (ut fra hva vegvesenet finner hensiktsmessig). Årsakene til den mangelfulle sikringen bør utredes nærmere. Vi kan her bare peke på mulige årsaksfaktorer som bør bli gjenstand for en mer omfattende granskning:

- Tildekking av tunnelens tak og vegger med sprøytebetong, før grundig kartlegging?
- Margin for feilbedømming (f.eks. å overse svelleleire på tynne sprekker i drive- / sikringsfasen)?
- Tilstrekkelig faglig kompetanse (f.eks. innen ingeniørgeologi, bergsikring)?
- Bevisst sparing (påtrykk mht å begrense totalkostnadene i prosjektets slutfase)?

SINTEF bedømmer det slik at de tre første faktorene ikke lenger burde gi bekymring for den fremtidige bruken av Oslofjordtunnelen. En ekstern konsulents kartlegging og ekspertgruppens vurderinger har fastslått hva som skal gjøres for å opprette fullgod stand i tunnelen. En grundig vurdering av alle disse årsaksfaktorene vil likevel gi nyttig informasjon for fremtidige tunnelbyggeprosjekter. Den siste mulige årsaksfaktoren kan trenge en nærmere vurdering, hvor spørsmålet blir om det ble gjort andre innsparinger bevisst, og om det i tilfelle er av en karakter som kan gå utover regularitet i vegsambandet, eller eventuelt påvirke faktisk eller opplevd sikkerhet for trafikantene.



### **3.5 Drift og overvåking**

Ekspertgruppen foreslår ny inspeksjon av bergsikringen etter ett år og deretter hvert annet år hvis situasjonen er stabilisert. Dette kan vi støtte.

I vedlegg 1 gis utfyllende beskrivelser av forholdene som er presentert i dette kapitlet.

## 4 Brannsikkerhet og brannberedskap

Vurderingen av brannsikkerhet og -beredskap er basert på en rask gjennomgang av et begrenset utvalg dokumenter (se vedlegg 2 mht hvilke dokumenter som inngår). Formålet er å avdekke mulige mangler og / eller uakseptable løsninger mht. til brannsikkerhet i Oslofjordtunnelen. En fullstendig evaluering krever dypere analyse av selve installasjonen, samt drifts- og vedlikeholdsrutiner. Denne vurderingen vil likevel kunne påpeke eventuelle åpenbare svakheter vedrørende brannsikkerheten. Vurderingene er basert på å sammenligne forhold med tilsvarende problemstillinger i Norge og i Europa for øvrig.

For Oslofjordtunnelen forligger det mye dokumentasjon. Den dokumentasjonen som SINTEF har mottatt, tyder på at det er foretatt omfattende kartlegging og vurdering av brannsikkerhet, og at det planlagte sikkerhetsnivået for tunnelen tilsvarer sammenlignbare tunneler, eller på enkelte områder er bedre.

Brannsikkerheten kan fortsatt økes noe med flere tekniske installasjoner, f.eks. sprinklersystem. Sprinklersystemer vil redusere risikoen i forbindelse med branner ved å kontrollere brannen, hindre brannspredning og beskytte tunnelstrukturen og viktig utstyr fra å bli ødelagt av brann. Dette vil imidlertid i hovedsak gi marginale forbedringer.

De meste effektive tiltakene for å øke sikkerheten vil sannsynligvis være å gjennomføre beredskapsøvelser og å koordinere redningsinnsatsen optimalt. Det er svært viktig at alle operasjoner ved brann i tunnel utføres i riktig rekkefølge for å redde flest mulig ut av tunnelen. Gjennom slike øvelser kan man avdekke svakheter og finne bedre måter å samhandle på.

Store branner i tunge trailere og lignende er vanskelig å håndtere for alle tunneler, dette gjelder også for Oslofjordtunnelen. For slike branner er det stor sannsynlighet for at man kan opprettholde en sikker sone i en tidsbegrenset periode. Ventilasjon vil være den viktigste faktoren for å kunne kontrollere slike branner. Opplysninger om Oslofjordtunnelen indikerer at ventilasjonen vil gi tilstrekkelig sikre forhold for en periode (se vedlegg 2 om ventilasjon). For de få tunneler i verden som har sikret seg ytterligere mot denne type branner, er det enten ved trafikkregulering (f.eks. regulering av kjøretider for tungtransport) eller med aktive vannbaserte sløkkeanlegg (deluge sprinklersystem). Alarmanlegg kan for slike branner bidra til tidligere stenging og dermed hindre at flere kjører inn i tunnelen.

De aller fleste branner i tunneler vil gi vanskelige forhold med hensyn til sikt og hvordan mennesker vil oppfatte situasjonen. Svært få branner vil gi livstruende tilstand, selv i røykgassene for Oslofjordtunnelen, såfremt ventilasjonsanlegget fungerer tilfredsstillende. Brannvesenets viktige oppgave vil være å slukke brannen så raskt som mulig, assistere i evakuering av tunnelen og raskest mulig gjenopprette normaltilstand i tunnelen. Med eksisterende installasjoner er det mulig å ha god kontroll på branner tilsvarende busser og større kjøretøy. Ventilasjonsanlegget og tidlig varsling fra trafikanter (via mobil eller nødtelefon) er viktig, spesielt mht å hindre at flere kommer inn i tunnelen.

Risikoanalyse for branner som DNV har gjennomført, angir lav sannsynlighet for å omkomme pga brann i Oslofjordtunnelen.

I vedlegg 2 diskuteres forhold vedrørende brannsikkerhet og brannberedskap mer inngående.

## 5 Behov for kvalitetssikring av tekniske installasjoner

Dette kapitlet vil påpeke behov for kvalitetssikring i vid forstand, både i prosjekterings- og byggefasen og under drift / vedlikehold. Noen punkter er generelle, men det vil her være fokus primært på tekniske installasjoner (dvs elektrisitetsforsyning, vifter, belysning, varsling (nødtelefon, radiosamband, innsnakk mm) og annet utstyr som er relevant for sikkerhet og beredskap.

Der det er naturlig, vil kommentarene knyttes til det skriftlige materiale som er gjort tilgjengelig for SINTEF. Det må understrekes at SINTEF *ikke* har hatt tilgang på noen kategorier personell for å diskutere disse forholdene mht den konkrete gjennomføring av prosjektet eller konkrete erfaringer fra drift av tunnelen. Kommentarene vil derfor holdes på et overordnet og generelt nivå.

Under listes en del punkter hvor en gjennomgang vil være spesielt nyttig. Vi viser også til DNV-rapporten ”Gransking av hendelsen 16.08.2003”, hvor en del av de samme punktene fremheves (og hvor analysen resulterer i en del konklusjoner med hensyn til kvalitetssikringen).

Nedenfor pekes det dels på dokumentgjennomgang som bør gjennomføres i forbindelse med vurdering av Oslofjordtunnelens ulike faser. Men like viktig som dokumentgjennomgang er det å få etablert åpne dialoger med de involverte parter / personer som har konkrete erfaringer med prosjektet og driften.

### 5.1 Prosjekterings- og byggefase

- *Spesifikasjoner/kontrakter*  
SINTEF har ingen konkret informasjon om utforming av kontrakter for leveransene, f.eks. mht spesifisering angående pålitelighet og tilgjengelighet / regularitet for de ulike utstyrstyper. Intervjuer med utstyrsleverandører, og hvordan de har opplevd kontrakt / spesifisering vil også gi nyttig innsikt (f.eks.: om leverandørene følte seg presset på leveringstid, pris, valg av tekniske løsninger, valg av komponentfabrikater osv.)
- *Programmet for testing av utstyret / tunnelen før oppstart*  
Disse testene og rapportering av disse bør vurderes. Dessuten bør en ha en dialog med (intervjue) personell som hadde ansvaret for dette.
- *(Risiko)analyser i forkant av igangsetting*  
Her har SINTEF fått tilgang på en Risikoanalyse (DNV, 2001), en Nyttekostnadsanalyse for sikringstiltak (DNV, 2001) og en Brannanalyse (DNV, 2000). Når det gjelder risikoanalysen vil SINTEF kommentere følgende:
  - Analysen synes kun å dekke brann (inkl de branner som skyldes kollisjon), hvilket omfatter bare en del av risikoen i tunnelen. Andre aktuelle risikoforhold er som kjent f.eks. blokkutfall fra tunneltak / sidevegg og oversvømmelse / vanninntrengning.
  - Det synes uklart i hvor stor grad analysen tar hensyn til spesifikke forhold i tunnelen, f.eks. trefeltsvei, stor stigning, belysning, merking, siktforhold. Det er også uklart om en har utnyttet erfaringer fra liknende tunneler (f.eks. Hitra-tunnelen), bl.a. når det gjelder trafikantenes oppførsel, f.eks. når det gjelder brudd på hastighetsbegrensninger, farlige forbikjøringer osv.
  - En kan ikke se at analysen tar hensyn til muligheten for at sikringssystem svikter. Bl.a. synes en å anta at bommen alltid stenger innkjørselen 2 minutter etter at brannen starter (3.5 minutter uten TV-overvåking). Vi bemerker at i beredskapsøvelse 28.9.2000 tok det 8 minutter før bommen ble stengt. SINTEF anbefaler at en i en

risikoanalyse også legger inn vurderinger av muligheten for svikt / utilgjengelighet / forsinket aktivering av ulike sikringstiltak (dvs deteksjon, varsling, stenging av bom osv).

- Generelt anbefaler SINTEF at det gjennomføres en analyse med en bred innfallsvinkel til risikoproblematikken, som bl.a. inkluderer vurderinger også av opplevd risiko.
- Videre anbefales at en risikoanalyse for denne type anlegg ikke bare bør se på risikoen for enkeltpersoner ("individrisiko"), men også på faren for storulykker (såkalt "samfunnsrisiko").

- *Pålitelighetsanalyser av sikkerhetskritisk utstyr*

Det vil være naturlig å få gjennomført pålitelighets- / tilgjengelighetsanalyser av utstyr som f.eks.

- Ventilasjon
- Strømtilførsel
- Nødstrøm (UPS), som er nødvendig for operering av en rekke utstyrsenheter i en krisesituasjon (jfr. Avsnitt 1.3.1.4 i Beredskapsplanen)
- Sikkerhetsutstyr (f.eks. nødtelefoner, radiosamband, deteksjon / alarm / varsling)
- Bommer (jfr kommentar under risikoanalyse over) og annet "trafikkteknisk utstyr".

SINTEF har ikke informasjon om hvorvidt slike analyser er gjennomført, og evt. grundighet / kvalitet av slike analyser.

- *Uavhengig gjennomgang av nødprosedyrer og kommandoforhold ved kritiske hendelser*  
Rapporten fra øvelsen 28.09.2000 indikerer at dette vil være nyttig.

## 5.2 Driftsperioden

Siden en nå har noe driftserfaring, vil denne være meget nyttig for vurdering av eksisterende risiko. Igjen ser vi for oss å gjennomføre en evaluering basert på en kombinasjon av skriftlig materiale og intervju med drifts- og vedlikeholdspersonell. Punkter som naturlig inngår i en slik evaluering er:

- Oversikt over uønskede hendelser / svikt som er registrert, og alvorlighetsgrad av disse. Anslag over eventuelle mørketall.
- Retningslinjer og praksis mht hva som rapporteres av uønskede hendelser.
- System for behandling av hendelsesrapporter; inkl system / praksis mht erfaringstilbakeføring til driftsorganisasjon.
- Konkrete handlingsplaner og oppfølging etter inntrufne hendelser (tiltak for å hindre gjentakelser). Spesielt vil det være av interesse å kartlegge
  - Eventuelle korrigerende tiltak iverksatt i etterkant av DNV-granskningen om pumper (hendelsen den 16.8.2003). Denne DNV-rapporten lister en rekke tiltak.
  - Oppfølging av tiltak i etterkant av beredskapsøvelse 28.9.2000. I en grundig intern rapport av SvA om denne øvelsen listes en rekke tiltak rettet mot bl.a. VTS og SvA.
- Omfang av vedlikehold / inspeksjon / renhold av ulikt teknisk utstyr, bl.a.
  - Intervallengder for ulike inspeksjoner / vedlikehold
  - Testing av sikkerhetsutstyr, som skal være tilgjengelig og funksjonere når uønskede hendelser inntreffer (f.eks. deteksjon av CO og NO<sub>x</sub>-nivå, nødstrøm, alarmer, nødstyreknapp, brannsløkkingsapparat, osv).
  - Evt. utskiftingsfilosofi for gammelt / slitt utstyr.
- Generelle erfaringer fra vedlikehold; standarden på teknisk utstyr.
- Generelt inntrykk av driftspålitelighet / tilgjengelighet; for hvilket utstyr er det svakheter og hvor er det ingen problemer.
- Beredskapsøvelser: omfang, hyppighet, og erfaring fra disse.

Som grunnlag for vurderingen har SINTEF kun hatt helt ubetydelig informasjon tilgjengelig om disse punktene. Men vi påpeker at dette er områder hvor det behov for en grundig gjennomgang (dersom det ikke allerede er utført).

## 6 Trafikanttiltak for reell og opplevd risiko

Vi vil i dette avsnittet gjennomgå trafikanttiltak i Oslofjordtunnelen med hensyn til sikkerhetseffekter.

Mange av dem som ferdes i Oslofjordtunnelen, har allerede i utgangspunktet et negativt forhold til tunneler. De siste episodene med vann i vegbanen og nedfall fra tak / vegg og presseoppslag i den forbindelse, bidrar til å øke den negative opplevelsen mange trafikanter har av å kjøre i tunnel. Dette bør en ta hensyn til når sikkerhetstiltak i Oslofjordtunnelen skal utarbeides. Det kan med dette utgangspunktet være fornuftig å iverksette tiltak som kan dempe et eventuelt opplevd ubehag ved å kjøre i Oslofjordtunnelen og øke den reelle sikkerheten. Dette dreier seg om tiltak både på det tekniske og menneskelige plan.

Informasjon til trafikantene om sikkerhets- og varslingsrutiner samt om hensikt med overvåking i tunneler, kan ha gunstig innvirkning på opplevelsen av sikkerhet. Det viktigste er allikevel åpenbare tegn på tilstedeværelse, omsorg i form av belysning, variable skilt, nødtelefoner, nødrom osv. Folks subjektive opplevelse av risiko kan være svært forskjellig fra den objektive (faktiske) risiko. Brann-detektorer, og vegtrafikksentralens overvåkning er for trafikantene *skjulte / usynlige* tiltak.

### 6.1 Belysning og hvitmaling

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 i 25 m avstand. Dette er så vidt SINTEF erfarer tilfelle for Oslofjordtunnelen. Denne lampetypen gir typisk et ensfarget gult lys, og alle fargede flater i tunnelen blir opplevd som grå.

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.

Tiltak som vil kunne forbedre sikkerheten er supplerende belysning og hvitmalte vegger i 1,5 m høyde slik at trafikantene har en rimelig mulighet til å oppdage hindringer / gjenstander i vegbanen i tidsnok til å unngå uhell / ulykke. Forsøk med kantbelysning LED-lys kan iverksettes. Slik belysning kan også blinke og lede trafikanter i riktig retning ved evakuering. Slik kantbelysning kan føre til at hindringer raskere blir oppdaget. Vann i vegbanen vil gi et brudd i belysningen som er lett å oppdage. Det er naturlig at et eventuelt forsøksprosjekt inkluderer krav til drift og vedlikehold. 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 vil LED-lys imidlertid være mindre utsatt for nedsmussing fra vegsalt, støv, fukt osv. enn nærmere tunnelmunningene.

### 6.2 Fartsnivå

Sommerføre hele året og fravær av syklistene og fotgjengere, gjør sitt til at de fleste trafikantene finner det forsvarlig å holde høy fart gjennom tunneler. Dette kommer spesielt fram i bratte undersjøiske tunneler der farten nedover lett kommer over fartsgrensa. Et høyt fartsnivå i kombinasjon med svak belysning og varierende kontrast, gjør at risikoen for ulykker øker.

SINTEF har ikke opplysninger om fartsnivå eller eventuell fartsovervåkning med fotobokser i Oslofjordtunnelen. Så vidt vi vet er det ikke installert. På generelt grunnlag kan en si at redusert fartsgrense og fartsovervåkning med fotobokser vil øke sikkerheten i Oslofjordtunnelen.

Variable skilt er et annet tiltak som kan påminne både om anbefalt fartsgrense, og god avstand til forankjørende. Dette har vært et vellykket tiltak i Mont Blanc Tunnelen. Variable skilt kan også brukes til å kommunisere med og veilede trafikantene ved hendelser og evakuering.

### **6.3 Havarinisjer og nødtelefon**

For å redusere risikoen ved hendelser som for eksempel motorstopp og punktering, blir det bygd spesielle havarinisjer i nye tunneler. Ved nisjene er det montert nødtelefon der trafikantene kan ringe til en vaktentral for å få hjelp. Mange vegrer seg også for å bruke nødtelefon. Statens vegvesen er klar over at altfor mange i dag lar være å bruke havarinisjene når de får motorstopp i tunnelen. Det vil derfor være nyttig å gi bedre opplæring og informasjon for å unngå at kjøretøy blir stående og blokkere kjørebanelen ved motorstopp.

En kan i større grad forvente at de installerte sikkerhetstiltak vil fungere etter planen dersom det gis informasjon om bruk av havarilommer og nødtelefoner osv. i Oslofjordtunnelen, på rasteplasser og i bomstasjoner ved innløp til tunnelen i Hurum og Drøbak. EU har laget en egen brosjyre og en video om sikkerhet i tunnel. Brosjyren er oversatt til norsk og er utgitt av Statens vegvesen.

### **6.4 Evakuering / nødutganger / nødrom**

Hvor raskt en evakuering i en tunnel kan foregå, avhenger av en rekke forhold. Evakuering ved å kjøre ut, er bare anbefalt hvis det er fysisk tilrettelagt for å snu trafikkstrømmen ved hjelp av snunisjer, rundkjøringer eller snuplasser (bergrom). Samt at det er signalregulert for å snu trafikkstrømmen og mulig å hindre nye trafikanter fra å kjøre inn i tunnelen.

Tiden det tar å evakuere til fots avhenger blant annet av; ganghastighet, sikt, varme, om røyken er giftig. Binding til kjøretøy, eiendeler, grupper kan medføre at trafikanter nøler med, vegrer seg for, å evakuere til fots. Effektiv evakuering avhenger i stor grad av muligheter for å styre røyken via ventilasjonsvifter. Ifølge normene for evakuering i tunneler, er ganghastigheten satt til 1.5-2.0 m pr sekund. Dette er imidlertid normer basert på observasjoner av friske voksne. Vi vet i dag for lite om hva som er realistiske ganghastigheter i en evakuering. Dette vil sannsynligvis avhenge blant annet av: sikt, trengsel, funksjonshemming, alder (barn, eldre), forsinkelse pga binding til gruppe (familie, reiseselskap, bagasje).

Rømning i Oslofjordtunnelen skal foregå via tunnelinngangene eller via et tverrslag 1900 m fra vestre inngang (Verpen). Tverrslaget kan brukes som en gangbar rømningsvei for trafikantene. I en tunnel som er 7250 m lang, er man avhengig av ventilasjon for å etablere sikre soner. Dette vil være mulig for de aller fleste branner i Oslofjordtunnelen, ved å styre røyken i én retning. Flere nødutganger / rømningsveier enn det ene tverrslaget 1,9 km fra den ene utgangen og 5,3 km fra den andre utgangen kan være en fordel. I tilfelle brann vil slike veier være viktigst for brannvesenet for å ha flere adkomstmuligheter til et ulykkessted. Det er tvilsomt at de som eventuelt er fanget i røyk vil kunne finne fram til slike nødutganger. Et slikt tiltak må vurderes sett i sammenheng med andre mulige tiltak. Et alternativ er å etablere nødrom som er godt synlige. Forsøk med blinkende LED-lys for å lede trafikanter til nødrom, nødutganger bør prøves ut.

Regelmessige øvelser er nødvendig for at atferd og kommunikasjon mellom VTS, politi, redning og trafikanter skal fungere ifølge beredskapsplanen.

### **6.5 Video- / TV-overvåking**

Så vidt SINTEF har forstått, er det allerede besluttet å installere video- / TV-overvåking i Oslofjordtunnelen. Generelt vil slik overvåking gi VTS en bedre mulighet for å fungere som veiledende / styrende funksjon ved hendelser. Tidlig detektering øker muligheten for å reagere raskt mht avverge ulykker, sekundærulykker, og lede trafikanter i riktig retning, i sikkerhet, mens det ennå er mulig. Betydningen av slik overvåking øker med økt trafikk tetthet.

I tilfelle brann vil et slikt anlegg raskt gi informasjon om hvordan tilstanden er når uhellet starter, og se hvordan selve brannen utvikler seg. Men man kan ikke regne med å se eventuelle trafikanter som blir fanget i røyken. Sikten i brannrøyk i tunneler er svært lav og det forventes ingen sikt uten at ventilasjonsanlegget opprettholder en røykfri sone.

### **6.6 Kombinere tekniske og menneskelige tiltak**

Mer sikkerhetsutstyr og sikkerhetssystemer betyr ikke nødvendigvis at Oslofjordtunnelen blir mer sikker. Utstyr, sensorer og systemer må vedlikeholdes, og trafikantene må vite hvordan det skal opereres i en sjelden forekommende situasjon som et branntilløp i vegtunnel. Jo flere trafikanter som opptrer riktig i en brannsituasjon i en tunnel, desto flere liv og materielle verdier kan bli spart. "Emergency only"-system, som ikke testes eller etterses regelmessig, vil kanskje ikke fungere etter noen år i et tøft tunnelmiljø, med støv og korrosjonsproblemer. Opplæring og informasjon ses på som viktige virkemidler for å redusere risikoen ved branntilløp i vegtunnel.

Men opplæring, trening og øvelser i brannsikkerhet er alene ikke tilstrekkelig. En må også etablere sikkerhetssystemer og -utstyr. De beste løsningene vil således være en kombinasjon av tiltak på det menneskelig og tekniske plan. Mekaniske, elektriske, elektroniske, automatiske og halv-automatiske system må installeres for å detektere, avverge, eller redusere konsekvensene av hendelser i vegtunneler.

Temaet er presentert mer utfyllende i vedlegg 3.



## 7 Konklusjoner og anbefalinger

Basert på SINTEFs begrensede informasjon om Oslofjordtunnelen, vil vi gi de anbefalingene som her presenteres. Det må samtidig nevnes at SINTEF ikke kjenner til i hvilken grad noen av tiltakene allerede er påbegynt eller gjennomført.

Innenfor området *bergsikring*, synes det som om tunnelen i utgangspunktet ble planlagt og etablert med god standard. Når en nå har opplevd nedfall av stein fra tak, kan det ha sammenheng med flere forhold. Med hensyn til sikring av tunnelens regularitet og sikkerhet under framtidig bruk, anbefales det å etterleve Ekspertgruppens råd. Det innebærer noen strakstiltak vedrørende bergsikring, samt kontrollintervall på 12 – 18 måneder i fortsettelsen, avhengig av utviklingen av tunnelens tilstand.

Innenfor *brannsikkerhet og beredskap* er følgende tiltak spesielt viktig. Dette er regelmessig gjennomføring av beredskapsøvelser, samt arbeid med organisering og koordinering av redningsmannskaper. ”Overtrening” er viktig for å oppnå best mulig reaksjonsmønster og samhandling i en krisesituasjon, slik at liv og materielle verdier kan berges. Beredskapsøvelsene må gjennomgå grundig evaluering for å kunne lære av dem, samt for bedre å vurdere hva en skal vektlegge i framtidige øvelser.

Grundige *risikoanalyser og pålitelighetsanalyser* av Oslofjordtunnelen vil være viktige. Slike analyser bør fokusere bl.a. på pålitelighet av sikkerhetskritisk utstyr. I tillegg er det viktig å gjennomføre systematiske analyser av driftserfaringer mht regularitet og pålitelighet av utstyr. Organisasjonens evne til å lære av feil bør også gjennomgås. Dette gjøres bl.a. ved å studere organisasjonens hendelsesregistrering, tiltaksarbeid, samt implementering og oppfølging av tiltak.

Kunnskap om *trafikantenes opplevelse* av sikkerhet i tunneler er viktig for å kunne iverksette de riktige publikumstiltak. En rekke tiltak kan gjennomføres for å oppnå forbedring av reell og opplevd sikkerhet i tunnelen:

- Supplerende belysning i tunnelens midtparti
- Hvitmalte vegger i 1,5 m høyde
- Ordinær kantbelysning LED-lys
- Jevnlig vedlikehold og vask i tunnelen – revurdere dagens praksis
- Publikumsinformasjon (om innsnakk, havarilommer, nødtelefoner etc.) f.eks. på rasteplasser og i bomstasjon ved innløp til tunnelen
- Tilstrekkelig antall godt synlige nødrom (nødrom er ikke påkrevd med dagens ÅDT)
- Forsøk med blinkende LED-lys for evakuering til nødrom

Dette er analyser og tiltak som fokuserer på sikkerhet og pålitelighet i den etablerte Oslofjordtunnelen, i tråd med denne studiens formål. Det må samtidig tas med at det også finnes analyser og tiltak som er viktige å gjennomføre mht å oppnå god læring for framtidige tunnelprosjekter. Noen slike er også presentert i rapporten (og vedlegg).

## Vedlegg 1 BERGSIKRING OG KONSTRUKSJONER

### Grunnlag

Uttalelsene i dette kapitlet bygger på:

- Prosjektets byggeplan som viser de byggetekniske løsningene,
- SV Håndbok 021 som lister opp nasjonale krav til tunneler,
- Rapport fra ekspertgruppe av 27.januar 2004: Vurdering av stabilitet og forslag til sikring i Oslofjordtunnelen,
- Samtaler med sentrale personer i Vegdirektoratets fagavdelinger,
- Besøk til tunnelen under og etter bygging
- Generell kjennskap til geologien og til prosjektet med dets forhistorie.

SINTEF vil her gi noen utfyllende kommentarer vedrørende tunnelens bergsikring og konstruksjon. Vedlegg 1 er knyttet til rapportens kapittel 3.

### Generelt

Tunnelen var i utgangspunktet fremmet som et nødvendig ledd i utbygging av ny hovedflyplass på Hurum. Med de trafikkanalyser som lå til grunn i den sammenheng, var det tenkt bygd 2 parallelle løp med enveis trafikk. Når prosjektet kom opp på selvstendig grunnlag, var det klart at trafikkmengden ikke ville forsvare en slik løsning verken med hensyn til kapasitetsbehov eller sikkerhet. Det siste bygger først og fremst på et felles regelverk for dimensjonering og utforming av vegtunneler som har kommet frem etter erfaringsinnsamling, forskning, verdidebatter og samråd med Direktoratet for samfunnssikkerhet (tidligere DBE). Regelverket er nedfelt i Håndbok 021 for vegtunneler.

### Tunnelens byggemåte, driving, sikring og innredning

Tunnelen er bygd etter det prinsipp som er rådende i Norge, med løpende observasjon av bergforholdene etter hvert som tunnelen sprenges ut, og beslutning om bergforsterkning på det grunnlaget. Bergforsterkningen gjennomføres delvis samtidig med driving for å ivareta arbeidernes sikkerhet, delvis som kompletterende sikring i etterkant for å ivareta funksjonskrav / sikkerhet som vegtrafikk tunnel. I prinsipp gjøres det slik også f.eks. i Sverige og i Østerrike. Alternativet, som man kanskje kan finne tydeligste eksempler på i Sveits og til dels i Tyskland og Frankrike, er at tunnelen har en innvendig utstøpt, massiv konstruksjon som er lik tvers i gjennom, og som tar høyde for alle tenkte bergforhold. En slik byggepraksis kunne neppe forsvares i Norge, annet enn på meget høyt trafikkerte strekninger.

Innredningskonstruksjonene, som i hovedsak består av vannsikringshvelv, er utført med to prinsipp: Veggene er bygd av prefabrikkerte betongelementer som er tett på baksiden og fundamentert slik at drypplekkasjer føres direkte til drenerør under vegbanen. I toppen er veggelementene festet til berget med sterk forankring av rustbeskyttede stålstag. Dermed har disse veggelementene den tilleggsfunksjon at de tåler en del nedfall av stein fra tunnelens vegger, noe som kan redusere behovet for detaljsikring mot små nedfall i veggene. I taket er det benyttet vanntette, overlappende polyetylen-skum-plater som er hengt i et mønster av montasjebolter og dekket med 7 cm armert sprøytebetong. Denne har som primære funksjon å sikre at PE-skummet ikke skal begynne å brenne i tilfelle av brann i et kjøretøy. Dette hvelvet (taket) er dimensjonert for å tåle kun begrensede mengder nedfall av stein, og reduserer derfor ikke kravet til fullgod

stabilitets- og detaljsikring av berget i tak og vederlag. All betong skal være av en type som er relativt poretett for å sikre god langtids holdbarhet.

Senere har man satt fokus på ønsket om enda bedre løsninger. Vi kan nevne at det for tiden utredes om man skal finne andre, totalt ubrennbare, men ellers like funksjonelle materialer for dryppsikringen. Man har også funnet at vanlig tett betong kan gå i stykker i tilfelle av meget sterk brannutvikling. Det forskes derfor også på om man kan lage betong som kan tåle meget høye brannbelastninger uten å bryte sammen, og samtidig ta vare på samme krav til bestandighet.

### Utførelse

b) Hvelvkonstruksjoner og annen innredning.

SINTEF kjenner ikke til avvik som tilsier underdimensjonering, dårlige løsninger, systematiske feil eller kvalitetssvikt i denne type konstruksjoner, målt ut fra egentlig hensikt. Temaet har imidlertid heller ikke hatt noe prioritert fokus i de undersøkelser og inspeksjoner som vi er gjort kjent med innenfor rammen av denne begrensede studien.

b) Bergsikring.

Under driving fikk man ett problem som har overskygget den informasjon som har tilflytt fagmiljøet i byggetiden. Det foreligger åpen litteratur om den sonen som måtte fryses, og som for så vidt var en overraskelse. Hvis noe kan påpekes i denne sammenheng, måtte det være at man foretok en liten sideveis forskyvning av tunneltraseen etter at området (i opprinnelig trase) var undersøkt med de metoder som er tilgjengelig. Gjennomføringen av tunnelarbeidet i denne sonen viser imidlertid at prosjektet hadde både rutiner, kompetanse, beslutningsevne og ressurser til å takle vanskelige utfordringer på en trygg måte. Ikke minst derfor er hendelsen med steinras og etterfølgende påpekte mangler i bergsikring overraskende. Det vises i denne sammenheng til den offentlig tilgjengelige rapporten fra Ekspertgruppen som ble nedsatt etter raset:

[http://www.vegvesen.no/SVVvedlegg/rapport\\_oslofjordtunnelen\\_280103,0.doc](http://www.vegvesen.no/SVVvedlegg/rapport_oslofjordtunnelen_280103,0.doc)

Hovedtrekkene i denne rapporten er:

- Raset skyldes at svelleleire på stikk og sprekker har tatt til seg fuktighet og fått nedsatt styrke. I veggen, hvor det var mangelfull sikring, har mindre og større stykker av berget gradvis falt ut og etter hvert fylt opp hulrommet bak den kraftige betongveggen. Når det deretter har falt ut og lagt seg mer stein innover vannsikringshvelvet, har dette til slutt gitt etter. (Det står feilaktig at dette hvelvet ikke er dimensjonert for steinnedfall. Faktisk er det krav til at en viss ras-størrelse skal tåles, men den er altså overskredet.) Etter normal, god faglig praksis skulle også veggene i områder med fare for slik rasutvikling vært sikret med kraftig bergforsterkning av bolter og sprøytebetong.

- I alt 9 punkter krever strakstiltak som skyldes mangelfull bergsikring. Dette omfatter til sammen 2,5 % av tunnallengden. To punkter på hhv 40 og 47 m lengde krever ny, forsterket bergsikring i hele tunnelprofilen (tak og vegger), ellers dreier det seg om forsterkningsbehov i veggene. Ut over dette anbefaler ekspertgruppen sikring med sprøytebetong på partier som i byggefasen ble bedømt stabile uten bergsikring.

- Verken raset eller andre påpekte mangler har kunnet medføre noen risiko for total kollaps og innstrømming av sjøvann.

Ekspertgruppen sier i sin rapport at den har hatt knapp tid, med gode arbeidsforhold. Hvis noe mangler, måtte det etter vårt skjønn være en grundig gjennomgang sammen med de som hadde førstehånds kjennskap til bergforholdene fra byggeperioden. SINTEF kan ikke bidra med fakta eller vurderinger som overprøver det Ekspertgruppen har kommet frem til. Behovet for kontinuerlig stenging av tunnelen kunne kanskje reduseres til en periode hvor man gjennomfører

ettersikring i hele profilet. Ellers burde supplerende sikring kunne gjennomføres i nattestengt tunnel (ut fra hva vegvesenet anser hensiktsmessig).

Det som forøvrig har allmenn interesse, og som ekspertgruppen berører i liten grad, er årsakene til at det forekommer slike mangler i bergsikringen. Ut fra kvalitetskrav og bemanning er dette som sagt overraskende. En grundigere studie med bl.a. intervju av de personer som har stått oppe i de daglige utfordringene, vil kunne komme nærmere slike svar som vi kan lære av. Vi kan her bare peke på mulige årsaksfaktorer:

- Tildekking av tunnelens tak og vegger med sprøytebetong før grundig kartlegging? Entreprenøren har hatt ansvar for sikkerheten til sine medarbeidere. Ofte ser man at dette løses ved en temmelig ukritisk bruk av sprøytebetong ”på stuff”. Det kan være vanskelig for byggekontrollører og ingeniørgeolog å være så tett opp i hver nylig utsprengt salve at man får kartlagt alle detaljer før de blir skjult. Ett fenomen som det er ulike syn på i bransjen, er at entreprenørene finner det økonomisk fordelaktig å utføre slik tildekking med sprøytebetong om natten, mens andre kostnadskrevene ressurser ikke er operative. Dette forholdet har bare begrenset effekt på de fenomenene som er avdekket her, i og med at man ved slik stuffsikring som regel lar veggene stå usikret og dermed tilgjengelig for grundig kartlegging.
- Margin for feilbedømming? Spesielt fenomenet med svelleleire på tynne sprekker og stikk i berget kan være lett å overse, så lenge tunnelen er tørr og det ikke har begynt noen prosess med nedsatt fasthet. Mot dette argumentet taler det forhold at de avdekkede svakhetene er i nærheten av forkastninger og områder med ellers tung sikring, altså i partier hvor det har vært grunn til spesiell årvåkenhet overfor dette fenomenet. Hele 9 steder og 2,5 % av tunnellen er i overkant av hva man bør kunne tilskrive en normal feilmargin.
- Tilstrekkelig faglig kompetanse? En kan evaluere hvorvidt de ulike aktører og personer som til enhver tid har vært involvert ”på stuff” under byggingen, har hatt tilstrekkelig kunnskap og erfaring (om bl.a. bergsikring) til å ivareta alle behov godt nok.
- Bevisst sparing? Man vet fra slutfasen av vegprosjektet at det var et sterkt påtrykk om å begrense totalkostnaden, og mange elementer ble vurdert på nytt med tanke på mulig kostnadsbesparelse. Vi vet ikke i hvilken grad dette har slått ut for Oslofjordtunnelen. Ekspertgruppen peker imidlertid på at det ser ut til å være en bevisst strategi å spare på permanent bergsikring i veggene. Dette kan også til en viss grad forsvares under forutsetning av at det benyttes kraftige betongpaneler mot trafikkrommet. Det bør undersøkes om denne strategien har blitt dratt for langt, slik at man har unnlatt å gjøre en nærmere vurdering der det faktisk kunne være fare for større rasutvikling hvis veggsikringen var mangelfull.

SINTEF bedømmer det slik at de tre første forklaringene ikke lenger burde gi bekymring for den fremtidige bruken av Oslofjordtunnelen. En ekstern konsulents nøye kartlegging og ekspertgruppens vurderinger har fastslått hva som skal gjøres for å rette opp manglene opp til fullgod stand. Den siste mulige forklaringen kan trenge en nærmere vurdering, hvor spørsmålet blir om det faktisk ble gjort andre innsparinger bevisst, og om dette i så tilfelle er av en karakter som kan gå utover regularitet i vegsambandet eller faktisk eller opplevd sikkerhet for trafikantene.

### **Drift og overvåking**

Håndbok 021 har generelle krav til tilstandsovervåking og vedlikehold. Dette kan forstås som å gjelde også bygningsteknisk innredning og bergsikringsarbeider. Om dette har vært gjennomført, vet vi ikke sikkert, men Ekspertgruppens rapport kan tyde på at det i alle fall må ha vært mangelfullt. Vi mener det må forutsettes at også disse elementene omfattes av rutiner for inspeksjon, og at det finnes et opplegg for ”Tilstandsbasert vedlikehold basert på inspeksjon”.

Ekspertgruppen foreslår ny inspeksjon av bergsikringen etter ett år og deretter hvert annet år hvis situasjonen er stabilisert. Dette kan vi støtte.

Vi peker på at det også over tid vil være mulig å lage et system for ”Måling av tilstand” på bergsikringen, f.eks. ved å montere seksjoner av stramme bånd horisontalt i mellomrommet mellom bergveggen og baksiden av veggelementene og koble disse til følere som derved kan fange opp om det foregår nye, selv ganske små (og ufarlige) steinnedfall. Elektroniske meldinger om dette og nøyaktig sted fanges opp i overvåkingssentral, og personell kan så gå inn og vurdere årsak og betydning av registreringen.

## Vedlegg 2 BRANNSIKKERHET OG BRANNBEREDSKAP

### Grunnlag

Følgende dokumenter relatert til Oslofjordstunnelen er gjennomgått:

- Beredskapsplan\_for\_RV23\_Oslofjordtunnelen.pdf
- Rv23\_Oslofjordtunnelen\_beredskapsplan.pdf
- Det Norske Veritas: Statens vegvesen vegdirektoratet, Oslofjordtunnelen – brannanalyse, rapport nr. 2000-3458, revisjon nr. 02
- Det Norske Veritas: Statens vegvesen vegdirektoratet, Risikoanalyse Oslofjordtunnelen, rapport nr. 2001-0688, revisjon nr. 01

Følgende områder er vurdert:

- Beredskapsplaner
- Brannventilasjon
- Slokkeutstyr
- Beskyttelse av brennbar isolasjon

### Hva kan vi forvente av et sprinklersystem i vegtunneler?

Oppdragsgiver har bedt SINTEF om å ta med noen kommentarer vedrørende sprinkleranlegg. Her gis derfor noen betraktninger i forhold til dette.

### Generelt

Det finnes følgende typer sprinkleranlegg, som kan være aktuelle i tunneler:

- Våtrørssprinkler
- Tørrørssprinkler
- Deluge sprinkler
- Vanntåkesystemer

*Våtrørssprinkler* er den mest vanlige formen for sprinkleranlegg, slik man finner det i de fleste bygninger i dag. Dette systemet er permanent fylt med vann. Rørsystemet er vanligvis trykksatt, men vannet blir blokkert av en sikkerhetsventil i sprinklerhodet.

På steder hvor det er en fare for at vannet skal fryse, slik som i tunneler i Norge, bør et *tørrsprinkleranlegg* benyttes. Et slikt system er fylt med luft eller en inert gass under trykk. Transporttiden for vannet fram til dysene kan bli lang etter aktivering av anlegget. For høyrisikoområder bør dette vurderes spesielt.

Et *deluge-system* er et tørrørssystem hvor sprinklerhodene alltid er åpne. Disse sprer vannet utover et forutbestemt areal. Vannstrømmen blir utløst fra et signal fra et branndeteksjonssystem eller manuelt. Når systemet blir aktivert i et område, strømmer det vann gjennom *alle* dysene i det området. Vanntilførselstettheten fra en dyse i et deluge-system varierer i området 5-20 liter pr m<sup>2</sup> og minutt. Benyttet vanntilførselstetthet blir ofte satt til 6 liter pr m<sup>2</sup> og minutt.

I et *vanntåkesystem*, hvor vannet tilføres i form av små dråper (mindre enn 0,4 mm), brukes det vesentlig mindre vann sammenlignet med de andre systemene. Slokking skjer ved en kombinasjon

av følgende mekanismer: 1) *kjøling* (ved at vanddråpene fordampes), 2) *inertisering* (vandedampen gir fortregning av luft/oksygen) og 3) *kjøling* av brennende flater. Vanntåkesystemer er enda ikke utviklet kommersielt for bruk i tunneler, fordi de fortsatt er under utvikling. Slike systemer kan også monteres på kjøretøyer som transporterer farlig gods. Det finnes noen slike systemer, men de er ikke underlagt kontroll og godkjenning slik at det vil være stor usikkerhet med hensyn til slokkeeffekt.

Pr dags dato vil nok det mest aktuelle systemet for norske tunneler være deluge-systemer og andre tørrsprinkleranlegg.

### **Fordeler og ulemper ved bruk av sprinkler**

#### *Sprinkler hindrer branner i å spre seg i tunnelen*

Til tross for at sprinklersystemer ofte ikke er i stand til å slokke startbrannen helt, vil den likevel hindre at startbrannen sprer seg til andre kjøretøyer i tunnelen. Dette skjer ved at startbrannen kontrolleres på en relativt lav branneffekt, samtidig som at vanntilførselen vil kjøle ned andre biler innenfor samme seksjon. Man unngår dermed brannspredning til andre kjøretøy, som kan utvikle seg til en brannkatastrofe. Branneeffektnivået som deluge-anlegget greier å kontrollere brannen i tunnelen på, vil på ingen måte være kritisk i forbindelse med evakueringen av tunnelen, dersom tunnelventilasjonen er i drift.

#### *Sprinkler kjøler ned brannatmosfæren i tunnelen*

Sen deteksjon av brannen kan skje dersom brannen starter i et område som er ugunstig plassert i forhold til nærmeste detektor, og ved høye ventilasjons- eller naturlig induserte vindhastigheter i tunneler. I slike tilfeller kan brannen utvikle seg, slik at relativt høye temperaturer kan oppnås i tunnelen.

Umiddelbart etter utløsning av sprinkleranlegget vil det imidlertid finne sted en effektiv nedkjøling av branngassene i hele tunnelen. Dette vil gjøre det lettere for mennesker å overleve i tunnelen generelt.

#### *Sprinkleranlegg reduserer branneeffekten*

På samme måte som sprinkleranlegg effektivt reduserer den effektive branntemperaturen i tunnelen, vil også sprinkler redusere branneeffekten effektivt. Det faktum at branneeffekten reduseres, er en av årsakene til at branntemperaturen og produksjonene av giftige gasser og røyk reduseres.

#### *Sprinkler har lav effektivitet ved skjulte branner*

Et deluge-system vil ikke være i stand til å slokke en brann inne i en lukket bil, dersom brannen blir detektert på et tidlig stadium. Dette på grunn av at deluge-systemet ikke vil være i stand til å treffe brannkilden, som vanligvis vil befinne seg inne bilens kupé, motorrom eller under bilen. Dette vil skje så lenge brannen ikke bryter ut av bilen. Dersom detektering og aktiveringen av slokkeanlegget derimot skjer på et relativt sent tidspunkt, slik at brannen har spredt seg på bilens utside, har sprinkleranlegget vesentlig større sannsynlighet for å slokke brannen helt eller delvis.

#### *Sprinkler kan forverre siktforholdene i tunnelen*

Sprinklersystemer vil redusere sikten i tunnelen nesten umiddelbart etter aktivering av anlegget. I et forsøk med en 26 MW brann i en tunnel (tilsvarer brann i en buss eller en lastebil) ble sikten i tunnelen redusert til under 10 m ved utløsning av sprinkleranlegget. Kombinasjonen av brannrøyk, vanntåke og vanddråper vil forverre siktforholdene sammenlignet med bare brannrøyk. Dette kan forverre mulighetene for effektiv evakuering av tunnelen.

### *Tunnelventilasjonen kan redusere slokkeeffekten av sprinkleranlegget*

Langsgående tunnelventilasjon med vanlige ventilasjonshastigheter (5 m/s) kan effektivt redusere sprinkleranleggets evne til å slokke en brann. Dette skyldes at spesielt de små dråpene ikke vil nå ned til brannen på grunn av at de blir revet med av ventilasjonsstrømmen.

### *De positive effektene ved sprinkler overskygger de negative effektene*

Til tross for at sprinklersystemer som er beregnet for slokking av branner i tunneler har flere ulemper, vil fordelene overskygge ulempene. Den klart mest positive effekten ved slike slokkesystemer er at de er i stand til å kontrollere brannen på en temmelig lav brannintensitet, samt å hindre at brannen sprer seg til andre biler. Sprinklersystemer vil dermed hindre at de store katastrofene vil inntreffe i tunneler. Brannen kontrolleres på et såpass lavt nivå at det er mulig å overleve i lengre tid selv i røykgassene.

### *Sprinklersystemer kan medføre høye installasjons- og vedlikeholdskostnader*

I forhold til trafikk tettheten i norske tunneler kan kostnadene i forbindelse med installering og vedlikehold av sprinklersystemer være for store i forhold til hva man tjener inn i økt sikkerhet.

## **Brannberedskapen**

Her gis en vurdering av beredskapen i Oslofjordtunnelen med hensyn til brannsikkerheten i tunnelen.

### **Tunnelens utforming**

Enløpstunneler reduserer normalt muligheten for evakuering i forhold til toløpstunneler. Faren for brann på grunn av kollisjoner vil normalt være noe større i slike tunneler og derfor er det vanlig å begrense trafikk tettheten til disse. Det er viktig å unngå kødannelse som lett kan bli svært kritisk i tilfelle brann. Derfor bør slike tunneler ifølge European commission, Directorate for Energy and Transport [EU desember 2002], kun benyttes dersom en langsiktig prognose tilsier at trafikk tettheten i tunnelen også i fremtiden vil være moderat. ÅDT under 10 000 er å betrakte som lavt i forhold til disse anbefalinger. Tunnelen er utstyrt med ITV-kameraer som registrerer antall og type kjøretøy som er i tunnelen.

### **Bruk av vann- og frostsikring**

De fleste vegtunneler med frostfare har behov for å sikre dreneringsvann mot frost. Fra en brannteknisk vurdering er det ønskelig at det brukes ikke brennbare løsninger. Brennbare løsninger kan benyttes, hvis de beskyttes mot mulig brannspredning fra kjøretøy og andre mulige tennkilder.

Vann- og frostsikringen i Oslofjordtunnelen er laget iht. Hb163, beskyttet med betongelementer på veggene (det såkalte Ekeberg hvelvet) og 7 cm sprøytebetong i hvelvet. Det er utført branntetting mellom trafikkrøm og tekniske rom.

Det er grunn til å tro at denne konstruksjonen vil motstå brann i busser og andre tilsvarende kjøretøy. For de aller største brannene vil holdbarheten være begrenset i tid. Slike branner vil kreve spesielle tiltak for å kunne kontrolleres, som sprinkleranlegg eller trafikkreguleringstiltak.

### **Ventilasjon**

Tunnelen er utstyrt med langsgående ventilasjon, med luftinntak og -uttak gjennom portalene. Normal ventilasjonsretning er mot vest (mot Buskerud). Normal ventilasjonshastighet (halv kraft)



er 2-3 m/s, mens med full kraft er ventilasjonshastigheten 5-6 m/s. Kabler for styring ligger beskyttet i bankett og kabler i kabelgate for prioritert kurs skal være av høy brannteknisk kvalitet og kunne fungere ved 800 grader i 3 timer.

SINTEF har gjennomført raske overslagsberegninger ved hjelp av et ferdig utviklet regnearkprogram. Disse beregningene viser at ved full ventilasjon (hastighet 5-6 m/s) og en 30 MW brann (seks ganger så stor brann som dimensjonerende brann på 5 MW), så vil røykeksponeringen med hensyn til giftige gasser (CO, CO<sub>2</sub> og redusert O<sub>2</sub>), sikt (minimum 10 m) og temperatur (maksimalt 60 °C) i tunnelen fortsatt så vidt være akseptabel på begge sider av brannstedet.

SINTEF mener således at ventilasjonsanleggets kapasitet vil kunne etablere akseptable forhold i tunnelen selv ved brann i en buss eller større lastebil, samtidig med at også flere personbiler brenner. Ventilasjonsanleggets kapasitet er med andre ord god hvis det kan brukes på full kapasitet også under brannventilasjon. Det vil kunne gi tilstrekkelig med luft til å etablere akseptable forhold med hensyn til røykeksponering (sikt, varme og giftige røykgasser) selv for store branner.

### **Manuelle brannsløkkere**

Det er montert brannsløkkere for hver 125 m i tunnelen, til sammen 122 apparater i 61 skap. Beredskapen med hensyn til manuelle brannsløkkere er med andre ord meget god.

### **Vannforsyning**

Forsyningen av brannvann skjer ved 14 brannvannskummer. Disse er plassert i forbindelse med nisjer i tunnelen. Det er 10 kummer med volum 3 m<sup>3</sup> og 4 kummer med volum 8 m<sup>3</sup>. De har en gjennomsnittlig avstand på 500 m, som er noe langt.

### **Kommunikasjon / nødtelefoner**

Det er plassert 34 nødtelefoner med ca 250 m avstand i SOS-stasjoner. I EU [EU desember 2002] er det ikke noe krav om antallet slike nødtelefoner. Beredskapen med hensyn til nødtelefoner er med andre ord god, særlig når man vet at det i tillegg går alarm til VTS når dør til brannskap åpnes / brannsløkkeren fjernes fra skapet.

### **Branndeteksjon**

VTS skal få melding dersom 1) dør til brannskap åpnes, 2) SOS-telefon tas i bruk og 3) CO-nivå viser fullt utslag, det vil si 200 ppm. Dette skjer med angivelse av hvor alarmen er utløst i tunnelen. Dette skulle etter SINTEF's oppfatning være et akseptabelt system for branndeteksjon. (At systemet fungerer som forutsatt må selvsagt sikres, se kap. 5.)

### **Øvelser**

Eksempler på øvelser som bør gjennomføres, er øving i varslingsprosedyrer, bruk av samband, avsperring, innsnakk på P1-kanalen fra VTS, evakuering av tunnelen, skadete i tunnelen, styring av ventilasjonssystemet, styring via nødstyreskap, trafikkstyring. Dette bør gjennomføres regelmessig.

Evakuering er omtalt i kapittel 6 / vedlegg 3, om trafikanttiltak.

### Vedlegg 3 TRAFIKANTTILTAK FOR REELL OG OPPLEVD RISIKO

Vi vil i dette avsnittet gjennomgå trafikanttiltak i Oslofjordtunnelen med hensyn til sikkerhetseffekter.

I utgangspunktet misliker nesten halvparten av trafikantene i større eller mindre grad å kjøre i en tunnel (Christensen & Beckman, 1992; Lauvland & Cathworthy, 1990). Dette kan gi seg utslag i alt fra uro til angst og klaustrofobi. Klaustrofobi er en sykelig frykt for lukkede rom. Det er antatt at knapt 6 % av den norske befolkning lider av klaustrofobi (Rein, 1989), og de vil sannsynligvis overhodet ikke forsøke å kjøre gjennom en tunnel. Andre undersøkelser har vist at 6-9 prosent av den norske befolkning er sterkt negative til kjøring i tunneler (Statens vegvesen, 1992; 1995b).

Mange av dem som ferdes i Oslofjordtunnelen, har allerede i utgangspunktet et negativt forhold til tunneler. De siste episodene med vann i vegbanen og nedfall fra tak / vegg og presseoppslag i den forbindelse, bidrar sterkt til å øke den negative opplevelsen trafikanter har av å kjøre i tunnel. Slik angst, uro trenger nødvendigvis ikke å avtegne seg i redusert trafikk. Intervju med trafikanter viser at mange tvinger seg selv til å kjøre i tunnel, og sliter seg gjennom daglige tunnelreiser hvis reisealternativene er få, tidkrevende eller kostbare. Dette må en ta hensyn til når sikkerhetstiltak i Oslofjordtunnelen skal utarbeides.

Det er behov for å iverksette tiltak både med hensyn til å dempe et eventuelt opplevd ubehag ved å kjøre i Oslofjordtunnelen og tiltak som kan øke den reelle sikkerheten. Dette dreier seg om tiltak både på det tekniske og menneskelige plan.

En oversikt over storulykker, branner i veg- og jernbanetunneler viser at:

- Ulykker er sjeldne
- Enkle rutiner fungerer
- Øving, simulering, gjentakelse er viktig.

Steyvers et. Al (1999) framhever at to faktorer er viktige å være klar over i forbindelse med tunnelbranner: (1.) At en sikker tunnel ikke finnes. (2.) Når en ulykke først har skjedd, er det avgjørende å dempe, begrense konsekvensene. For å forebygge ulykker kan man bare streve etter de minst usikre kombinasjoner av infrastruktur og menneskets atferd. Dette omfatter ikke bare trafikanter, men også ansvarlige driftsmyndigheter og beredskapstjenester. Både på det tekniske og menneskelige plan er det viktig å iverksette tiltak som kan hindre at små hendelser utvikler seg til storulykker.

Opplevelsen av risiko og ubehag i tunnel er særlig forbundet med (a) dårlig belysning, (b) dårlig luftkvalitet, (c) bergingsmulighet, (d) mulighet til å snu, (e) følelse av klaustrofobi, og (f) mangel på naturoplevelser.

Informasjon til trafikantene om sikkerhets- og varslingsrutiner samt om hensikt med overvåking i tunneler, kan ha gunstig innvirkning på opplevelsen av sikkerhet. Det viktigste er allikevel åpenbare tegn på tilstedeværelse, omsorg i form av belysning, variable skilt, nødtelefoner, nødrom osv. Folks subjektive opplevelse av risiko kan være svært forskjellig fra den objektive (faktiske) risiko. Brann-detektorer, og vegtrafikksentralens overvåking er for trafikantene *skjulte / usynlige* tiltak. For å gjøre tunnelene mer trivelige eller komfortable å kjøre i, ønsker flest bedre belysning, deretter ønskes trafikkskilt som viser hvor langt en har kjørt samt lys maling på veggene (Statens vegvesen, 1995).

Undersjøiske tunneler kan representere en ekstra barriere for trafikanter som allerede i utgangspunktet er skeptiske til lange tunneler. Dette gjenspeiles i trafikantundersøkelser utført av Statens vegvesen. En oversikt over standarden og ulykkesrisikoen for undersjøiske vegtunneler er presentert i et informasjonshefte som nylig er utgitt av Statens vegvesen (Statens vegvesen, 2002).

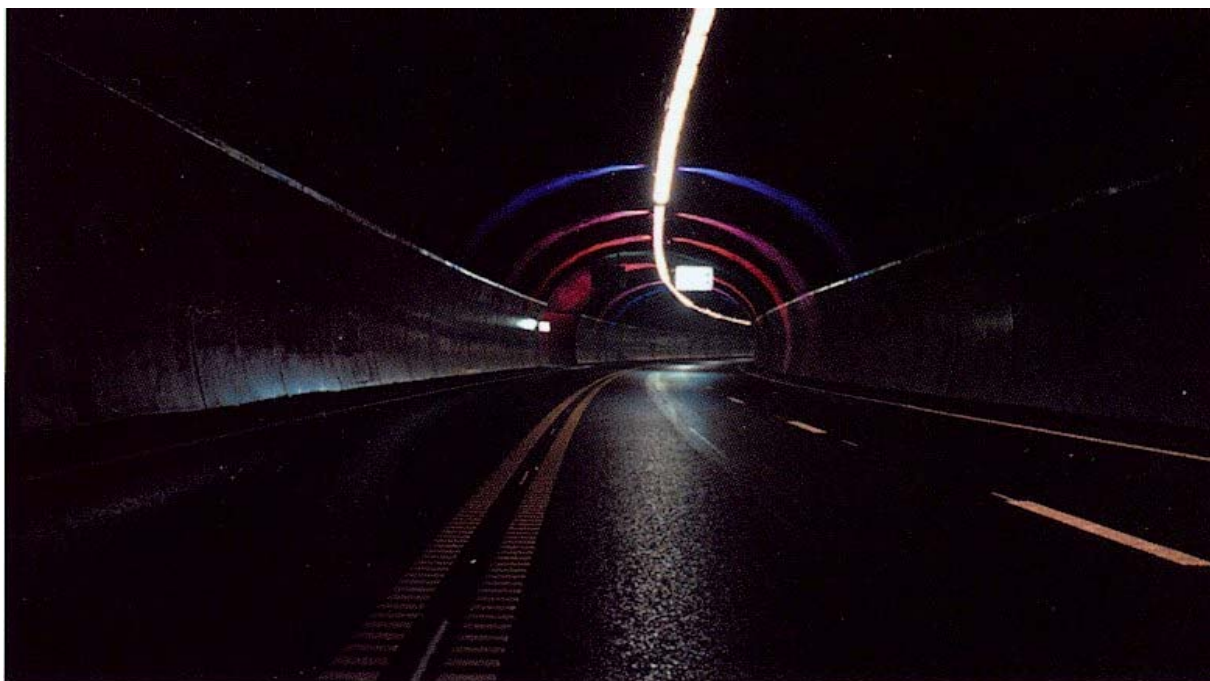
### **Belysning**

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 i 25 m avstand. Dette er så vidt SINTEF erfarer tilfelle for Oslofjordtunnelen. Denne lampetyper 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/m<sup>2</sup> i tunnelen og over 10.000 cd/m<sup>2</sup> 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 kjørellys.

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.

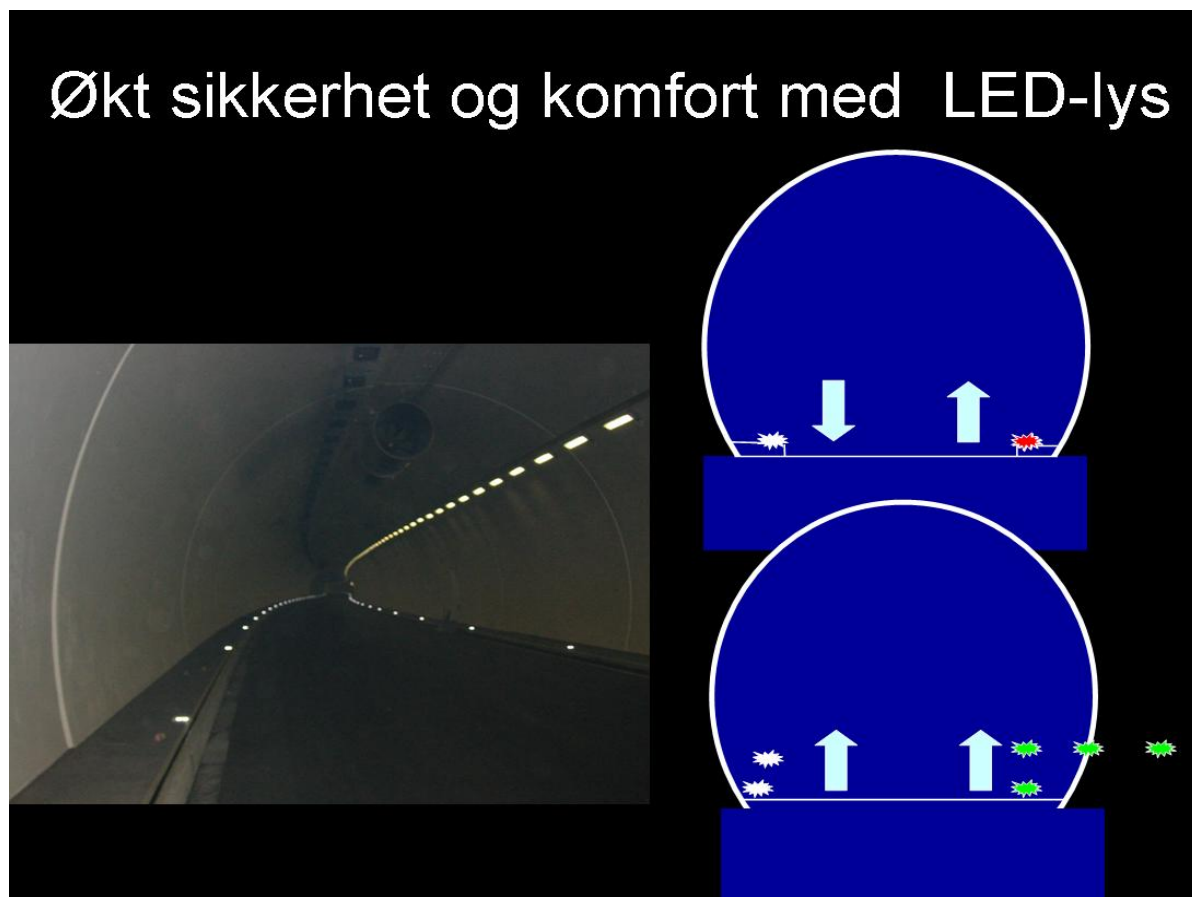


Figur 1. Tunnelbelysning i midtpartiet av Oslofjordtunnelen

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

Tunnelen bør utstyres med supplerende belysning og hvitmalt vegger i 1,5 m høyde slik at trafikantene har en rimelig mulighet til å oppdage hindringer / gjenstander i vegbanen tidsnok til å

unngå uhell / ulykke. Forsøk med kantbelysning LED-lys bør iverksettes. Slik belysning kan også blinke og lede trafikanter i riktig retning ved evakuering. Slik kantbelysning kan føre til at hindringer raskere blir oppdaget. Vann i vegbanen vil f.eks. gi et brudd i belysningen som er lett å oppdage. Et forsøksprosjekt bør se på krav til drift og vedlikehold. 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 vil LED-lys imidlertid være mindre utsatt for nedsmussing fra vegsalt, støv, fukt osv. enn nærmere tunnelmunningene.



Figur 2. Kantbelysning (LED-lys) for økt komfort og sikkerhet

### Kontrast

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.

I Oslofjordtunnelen er veggene mørke (grå betong). Det er ikke krav om bruk av lysere veggmaterialer.

For å bedre kontrastforholdene bør hvitmaling 1-2 m opp på veggene 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. påkjøres. Tiltaket krever jevnlig vedlikehold / vask for at den ønskede sikkerhetseffekt skal opprettholdes.

### **Fartsnivå**

Sommerføre hele året og fravær av syklist og fotgjengere, gjør sitt til at de fleste trafikantene finner det forsvarlig å holde høy fart gjennom tunneler. Dette kommer spesielt fram i bratte undersjøiske tunneler der farten nedover lett kommer over fartsgrensa. I Hvalertunnelen i Østfold, der største stigning er 10%, var det i det første driftsåret utført radarmålinger som viste at bare 25% av trafikantene greide å holde seg under fartsgrensa på 80 km/t. I noen av de undersjøiske tunnelene har det vært unormalt mange trafikkulykker de første årene etter at tunnelen ble åpnet for trafikk. Dette gjelder eksempelvis Ellingsøytunnelen ved Ålesund der det ble registrert 9 ulykker de tre første årene etter åpningen i 1987. Etter hvert som vegvesenet fikk satt inn nye forebyggende tiltak og trafikantene fikk mer erfaring med å kjøre i de sterke stigningene (8 - 8,5%), gikk ulykkesfrekvensen ned mot et normalt nivå. De fem siste årene har politiet registrert bare to ulykker med personskaade i Ellingsøytunnelen av i alt 7 ulykker med personskaade i de undersjøiske tunnelene i Møre og Romsdal. Ingen har mistet livet i tunnelulykker i Møre og Romsdal de siste fem årene.

I Flekkerøytunnelen ved Kristiansand, som ble åpnet i 1989, ble det registrert 4 trafikkulykker de to første driftsårene. Redusert fartsgrense til 70 km/t viste seg å være et effektivt tiltak for å redusere ulykkesfrekvensen i denne tunnelen.

Det høye fartsnivået i kombinasjon med svak belysning og varierende kontrast, gjør at mange vurderer det som farlig å stanse i en tunnel. Risikoen for påkjøring bakfra blir vurdert til å være langt større ved stans inne i en tunnel enn på vegen ute i dagen.

SINTEF har ikke opplysninger om fartsnivå eller eventuell fartsovervåkning med fotobokser i Oslofjordtunnelen. På generelt grunnlag kan en si at redusert fartsgrense og fartsovervåkning med fotobokser vil øke sikkerheten i Oslofjordtunnelen.

Variable skilt er et tiltak som kan påminne om anbefalt fartsgrense og dermed forbedre fartsnivået. De variable skiltene kan også brukes til å kommunisere, f.eks. veilede trafikantene ved hendelser og evakuering.

### **Siktproblem**

Med unntak av inngangssonen, har de fleste tunneler relativt god og oversiktlig kurvatur og gode siktforhold som gjør det fullt forsvarlig å kjøre 80 km/t når det er lite trafikk. Selv ved stor trafikk der lufta blir forurenset av støv, sot og eksos, vil det normalt være siktlengder på minimum 200 - 300 meter. I de undersjøiske tunnelene er siktforholdene generelt dårligere enn i andre lange tunneler. Dette skyldes både den spesielle kurvaturen under sjøbunnen og at tunge kjøretøy produserer større mengder sot og røyk i de sterke stigningene.

Støv gir mest problem i vinterhalvåret på grunn av piggdekkslitasjen på vegdekket. I tunneler vil det alltid være en del svevestøv i lufta, men de tyngste støvpartiklene legger seg på vegdekket og sidearealet mellom hver gang en bil passerer. Turbulensen bak en bil medfører at støvet løfter seg fra overflata og reduserer sikten. Personer som kjører gjennom den samme tunnelen med få minutters mellomrom, kan derfor oppleve svært ulike siktforhold. Start av ventilasjonsanlegget kan også medføre redusert sikt på grunn av at viftene skaper turbulente vindforhold som trekker med seg mer av de tyngste støvpartiklene.

Varm eksos og røyk stiger opp mot taket i tunnelen. Ved stabile trekkforhold uten forstyrrende trafikk, oppstår det en lagdeling der det kan være brukbar sikt like over kjørebane selv om den øvre halvdel av tunnelprofilen er fylt med røyk. Men dette er en svært ustabil situasjon. Turbulensen bak en passerende bil eller start av ventilasjonsanlegget kan medføre rask og effektiv blanding av lufta slik at hele tunnelrommet blir støv- / røykfyllt etter få sekunder.

Ventilasjonsanlegget i Oslofjordtunnelen har god kapasitet, men det kan likevel ikke utelukkes kortvarige episoder med støv / røyk i tunnelen. I slike tilfeller vil hvitmalte vegger (1-2 m opp på veggene) og kantbelysning (LED-lys) redusere faren for påkjøring bakfra og påkjørsel av gjenstander. Ventilasjonen i Oslofjordtunnelen er mer utførlig omtalt i Vedlegg 2.

### **Havarinisjer og nødtelefon**

For å redusere risikoen ved hendelser som for eksempel motorstopp og punktering, blir det bygd spesielle havarinisjer i nye tunneler. Ved nisjene er det montert nødtelefon der trafikantene kan ringe til en vaktentral for å få hjelp. Statens vegvesen er klar over at altfor mange i dag lar være å bruke havarinisjene når de får motorstopp i tunnelen. Det bør derfor gis bedre opplæring og informasjon for å unngå at kjøretøy blir stående og blokkere kjørebane ved motorstopp.

For at de installerte sikkerhetstiltak skal fungere etter planen bør det således gis informasjon om bruk av havarilommer og nødtelefoner osv. i Oslofjordtunnelen på rasteplasser og i bomstasjoner ved innløp til tunnelen i Hurum og Drøbak. EU har laget en egen brosjyre og en video om sikkerhet i tunnel. Brosjyren er oversatt til norsk, og er utgitt av Statens vegvesen.

### **Evakuering / nødutganger / nødrom**

Hvor raskt en evakuering i en tunnel kan foregå, avhenger av en rekke forhold. Evakuering ved å kjøre ut, er bare mulig hvis:

- det er fysisk tilrettelagt for å snu trafikkstrømmen ved hjelp av snunisjer, rundkjøringer eller snuplasser (bergrom)
- det er signalregulert for å snu trafikkstrømmen
- det er mulig å hindre nye trafikanter fra å kjøre inn i tunnelen

Tiden det tar å evakuere til fots avhenger blant annet av:

- ganghastighet
- sikt
- binding til kjøretøy, eiendeler, grupper
- varme
- om røyken er giftig

Vi kan overleve i en temperatur på inntil 70 grader. Høyere temperaturer vil føre til dødelige indre brannskader. Strålingsvarmen fra en bilbrann er normalt dødelig i en omkrets på 6 m for lette og 15 m for tyngre kjøretøy. Dette gjelder imidlertid ikke dersom det er brann i flere kjøretøy. Overtenning av flere kjøretøy slik som i Mont Blanc-ulykken, fører til reradiering av varme og overtrykk slik at varme og røykgass sprer seg med en hastighet på opp til 60 km/t. I en slik fase av brannen vil det være umulig å evakuere til fots. I en tunnel som er ventilert i en retning er det god mulighet for å overleve "downstream" i en lomme fra 50-100 m i og med at røyken i en lang periode vil følge taket for så å synke ned ca 150m lenger framme. Hvor høyt røykskiktet går, avhenger imidlertid også av vindhastigheten. Høy vindhastighet vil medføre lavere røykskikt også nærmere brannstedet. Om tunnelprofilen er stort, kan det i en tidlig fase være mulig å passere f.eks. en bilbrann for de som er "downstream". Det kan i enkelte tilfeller medføre større sannsynlighet for å overleve enn å evakuere med vind- og røykretningen. Effektiv evakuering avhenger i stor grad av muligheter for å styre røyken via ventilasjonsvifter bort fra den delen av

tunnelen der flest trafikanter befinner seg. Dette er enklere i en envegsregulert tunnel enn i en med tovegstrafikk.

Ifølge normene for evakuering i tunneler, er ganghastigheten satt til 1.5-2.0 m pr sekund. Dette er imidlertid normer basert på observasjoner av friske voksne. Vi vet i dag for lite om hva som er realistiske ganghastigheter i en evakuering. Dette vil sannsynligvis avhenge blant annet av:

- sikt
- trengsel
- funksjonshemming
- alder (barn, eldre)
- forsinkelse pga binding til gruppe (familie, reiseselskap osv)
- bagasje

Regelmessige øvelser er nødvendig for at atferd og kommunikasjon mellom VTS, politi, redning og trafikanter skal fungere ifølge beredskapsplanen.

Rømning skal foregå via tunnelinngangene eller via et tverrslag 1900 m fra vestre inngang (Verpen). Tverrslaget kan brukes som en gangbar rømningsvei for trafikkantene. I en tunnel som er 7250 m lang, er man avhenging av ventilasjon for å etablere sikre soner. Dette vil være mulig for de aller fleste branner i Oslofjordtunnelen, ved å styre røyken i én retning.

Flere nødutganger / rømningsveier enn det ene tverrslaget 1,9 km fra den ene utgangen og 5,3 km fra den andre utgangen kan være en fordel. I tilfelle brann vil slike veier være viktigst for brannvesenet for å ha flere adkomstmuligheter til et ulykkessted. Det er tvilsomt at de som eventuelt er fanget i røyk vil kunne finne fram til slike nødutganger. Et slikt tiltak må vurderes sett i sammenheng med andre mulige tiltak.

Et alternativ er å etablere flere nødrom som er godt synlige. Forsøk med blinkende LED-lys for å lede trafikanter til nødrom kan prøves ut.

### **Video- / TV-overvåking**

Så vidt SINTEF har forstått, er det allerede besluttet å installere video- / TV-overvåking i Oslofjordtunnelen. Generelt vil slik overvåking gi VTS en bedre mulighet for å fungere som veiledende / styrende funksjon ved hendelser. Tidlig detektering øker muligheten for å reagere raskt mht å avverge ulykker, sekundærulykker, og lede trafikanter i riktig retning, i sikkerhet, mens det ennå er mulig. Betydningen av slik overvåking øker med økt trafikk tetthet.

I tilfelle brann vil et slikt anlegg raskt gi informasjon om hvordan tilstanden er når uhellet starter, og se hvordan selve brannen utvikler seg. Men man kan ikke regne med å se eventuelle trafikanter som blir fanget i røyken. Sikten i brannrøyk i tunneler er svært lav og det forventes ingen sikt uten at ventilasjonsanlegget opprettholder en røykfri sone.

### **Kombinere tekniske og menneskelige tiltak**

Mer sikkerhetsutstyr og sikkerhetssystemer betyr ikke nødvendigvis at Oslofjordtunnelen blir mer sikker. Utstyr, sensorer og systemer må vedlikeholdes, og trafikantene må vite hvordan det skal opereres i en sjelden forekommende situasjon som et branntilløp i vegtunnel. Jo flere trafikanter som opptrer riktig i en brannsituasjon i en tunnel, desto flere liv og materielle verdier kan bli spart. "Emergency only"-system, som ikke testes eller etterses regelmessig, vil kanskje ikke fungere etter noen år i et tøft tunnelmiljø, med støv og korrosjonsproblemer. Opplæring og informasjon ses på som viktige virkemidler for å redusere risikoen ved branntilløp i vegtunnel.

Men opplæring, trening og øvelser i brannsikkerhet er alene ikke tilstrekkelig. En må en også etablere sikkerhetssystemer og -utstyr. De beste løsningene vil således være en kombinasjon av tiltak på det menneskelig og tekniske plan. Mekaniske, elektriske, elektroniske, automatiske og halv-automatiske system må installeres for å detektere, avverge, eller redusere konsekvensene av hendelser i vegtunneler.

### Referanser

- Christensen, P. & Beckman, J. (1992). *Angsten for det sorte hull*. Foreløpig rapport i Fyns stiftstidende 16.07.92. Odense Universitet, Danmark
- Lauvland, G. & Cathworthy, S. (1990). *Opplevd sikkerhet/ reel ulykkesfrekvens i tunneler. Arkitektoniske løsninger. Fase 1 Hypotese genererende virksomhet*. Human Factors Solutions, Oslo
- Statens vegvesen (1992). *Trafikantundersøkelser i Gudvanga- og Flenjatunnelene*.
- 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
- Statens vegvesen (2002). *Undersjøiske vegtunneler*
- Steyvers, F. J. J. M., de Waard, D., & Brookhuis, K. A. (1999). *Aspects of human behaviour in tunnel fires – a literature review* International Tunnel Fire & Safety Conference, Rotterdam 1999