



Statens vegvesen

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008 - 2011

Strategi trafikkantsikkerhet og brannsikkerhet i vegtunneler

Statens vegvesens rapporter

Nr. 161



Vegdirektoratet
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen
Tunnel og betong
August 2012

Tittel

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler
2008 - 2011

Undertittel

Strategi trafikkantsikkerhet og brannsik-
kerhet i vegtunneler

Forfatter

Harald Buvik, Finn Harald Amundsen,
Henning Fransplass

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-
lingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

602182

Rapportnummer

Nr. 161

Prosjektleder

Harald Buvik

Godkjent av**Emneord**

Etatsprogram, Moderne vegtunneler, Tun-
nel, Strategi, Sikkerhet

Sammendrag

Rapporten tar for seg forslag til strategier
for økt trafikkantsikkerhet og brannsik-
kerhet i vegtunneler.

Title**Subtitle****Author****Department**

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-
lingen

Section

Tunnel og betong

Project number**Report number**

No. 161

Project manager**Approved by****Key words****Summary**

Forord

Sikkerhet i vegtunneler vil i stor grad handle om risiko for at hendelser inntreffer og eventuelt omfang av slike hendelser. Statistisk sett er vegtunneler en av de sikreste delene av vegnettet. Erfaringsmessig er det svært få alvorlige hendelser som har inntruffet. På tross av dette er det selvsagt viktig å gjøre optimale tekniske og organisasjonsmessige tiltak som nettopp ivaretar denne sikkerheten.

En sikkerhetsstrategi i vegtunneler bygges opp rundt to sentrale temaer:

- de forebyggende sikkerhetstiltakene
- redningssystem og skadebegrensende tiltak

I det forebyggende sikkerhetsarbeidet vil geometrisk utforming og teknisk utrustning av tunnelen være avgjørende for det sikkerhetsnivå man oppnår. For å ivareta det sikkerhetsnivået som blir bygget inn i tunnelene er man helt avhengig av et strukturert og systematisk drifts- og vedlikeholdsarbeid. Det er derfor viktig å planlegge tunneler på en slik måte at dette kan gjennomføres på en praktisk, optimal måte.

Innhold

1	INNLEDNING	4
2	STYRENDE DOKUMENTER.....	5
2.1	TUNNELSIKKERHETSDIREKTIVET	5
2.2	TUNNELSIKKERHETSFORSKIFTEN	5
2.3	SIKKERHETSFORVALTNING AV VEGTUNNELER.....	5
2.4	ANDRE STYRENDE DOKUMENTER	5
3	TOTALSIKKERHET	6
3.1	INNLEDNING	6
3.2	SELVBERGINGSPRINSIPPET.....	7
3.3	ORGANISASJON OG SIKKERHET	8
4	STRATEGI FOR ØKT TRAFIKANTSIKKERHET	8
4.1	RISIKOANALYSER OG AKSEPTKRITERIER	8
4.2	HENDELSER I VEGTUNNELER	10
4.2.1	<i>Statistikk.....</i>	10
4.2.2	<i>Resultat fra ulykkesundersøkelser.....</i>	10
4.3	TRAFIKANTADFERD	11
4.4	KOMFORTILTAK	13
4.5	PORTALOMRÅDET	14
4.6	SIKKERHET OG ITS.....	15
4.7	LANGE OG DYPE TUNNELER	16
4.7.1	<i>Stigning og fall.....</i>	16
4.7.2	<i>Kjøretøytekniske utfordringer i tunneler</i>	17
4.7.3	<i>Risikobilde med bruk av bratte tunneler i Norge.....</i>	19
4.7.4	<i>Anbefaling</i>	19
5	STRATEGI FOR ØKT BRANNSIKKERHET	19
5.1	BRANN I VEGTUNNELER	19
5.2	PASSIV BRANNBESKYTTELSE	20
5.3	AKTIV BRANNBESKYTTELSE	22
5.4	RISIKOANALYSER OG RISIKOAKSEPTKRITERIER	22
5.5	RUNEHAMAR TEST TUNNEL.....	22
6	REFERANSER	24

<blank side>

1 Innledning

Sikkerhet i vegtunneler vil i stor grad handle om risiko for at hendelser inntreffer og eventuelt omfang av slike hendelser. Statistisk sett er vegtunneler en av de sikreste delene av vegnettet. Erfaringsmessig er det svært få alvorlige hendelser som har inntruffet. På tross av dette er det selvsagt viktig å gjøre optimale tekniske og organisasjonsmessige tiltak som nettopp ivaretar denne sikkerheten.

En sikkerhetsstrategi i vegtunneler bygges opp rundt to sentrale temaer:

- de forebyggende sikkerhetstiltakene
- redningssystem og skadebegrensende tiltak

I det forebyggende sikkerhetsarbeidet vil geometrisk utforming og teknisk utrustning av tunnelen være avgjørende for det sikkerhetsnivå man oppnår. For å ivareta det sikkerhetsnivået som blir bygget inn i tunnelene er man helt avhengig av et strukturert og systematisk drifts- og vedlikeholdsarbeid. Det er derfor viktig å planlegge tunneler på en slik måte at dette kan gjennomføres på en praktisk, optimal måte.

Gjennom systematisk bruk av forebyggende sikkerhetstiltak basert på risikoanalyser, kan man legge basis for et vel definert sikkerhetsnivå. På den måten vil også risikoen reduseres for at en uønsket hendelse skal inntreffe.

Man må alltid ha et vel gjennomtenkt rednings- og skadebegrensende system for å begrense omfanget av en uønsket hendelse. Det overordnede målet for det forebyggende sikkerhetsarbeidet må være at rednings- og skadebegrensende systemer aldri skal komme til anvendelse mer enn ved øvelser.

Beredskapsplaner og redningsplaner er sentrale deler i det skadebegrensende sikkerhetsarbeidet. Gjentagne øvelser, testing av personell og utstyr som er knyttet til redningssystemet og et systematisk vedlikehold av alt sikkerhetsutstyr, er vesentlig for å opprettholde et definert sikkerhetsnivå.

Trafikkantadferd er en sentral del i en sikkerhetsstrategi. Det er også den mest uforutsigbare delen etter som behovet for å opptre korrekt ved en hendelse er en forutsetning samtidig som både kunnskapen om sikkerhetssystemene i tunnelen og informasjon om hvorledes trafikanter skal opptre er mangelfull.

Omfanget av sikkerhet i vegtunneler omfatter følgende områder:

- Konstruksjonssikkerhet
- Trafikkantsikkerhet
- Brannsikkerhet
- Driftssikkerhet

Konstruksjonssikkerhet og driftssikkerhet i vegtunneler er behandlet i henholdsvis byggestrategien og strategi for drift og vedlikehold. Dette dokumentet behandler således forslag til strategier for henholdsvis trafikkantsikkerhet og brannsikkerhet i vegtunneler.

2 Styrende dokumenter

2.1 Tunnelsikkerhetsdirektivet

Formålet med EU's tunnelsikkerhetsdirektiv [1] er å sikre laveste tillatte sikkerhetsnivå for trafikanter i tunneler gjennom krav til å forebygge kritiske hendelser som kan sette menneskeliv, miljøet og tunnelanlegg i fare, samt å sørge for vern ved eventuelle ulykker. Direktivet gjelder for tunneler over 500 meter på det transeuropeiske vegnettverket (Trans-European Road Network – TERN). TERN omfattes av EØS-avtalen fra 1999. Direktivets forord oppfordrer medlemslandene til å innføre samme sikkerhetskrav til tunneler som ikke omfattes av direktivet.

Direktivet inneholder en rekke konkrete krav som stilles til både infrastrukturen og tunneldriften. Direktivet omfatter både organisatoriske og tekniske krav og skal gjelde både for eksisterende og nye tunneler. Dette omfatter blant annet antall løp, ventilasjon, nødutganger, havarilommer og stigningsgrad. Videre settes krav til diverse utstyr som belysning, brannslukkere, tilgang til slokkevann, video-overvåking, og kommunikasjonssystem.

2.2 Tunnelsikkerhetsforskriften

Mens det Europeiske tunnelsikkerhetsdirektivet kun gjelder for tunneler på TERN-vegnettet, er den norske Tunnelsikkerhetsforskriften [2] gjort gjeldende for alle riksvegtunneler over 500 meter.

2.3 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler

Statens vegvesen, Vegdirektoratet har utgitt en egen håndbok (Retningslinje); Håndbok 269 *Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler* (2007) [3] som beskriver og gir retningslinjer for sikkerhetsforvaltningen av vegtunneler. Denne bygger på Tunnelsikkerhetsforskriften, Brannvernloven med forskrift og Statens vegvesens interne pålegg (gitt i håndbøker og rundskriv). Denne foreligger nå i en ny revidert utgave (høringsutgave 2011). Det vurderes imidlertid også om retningslinjen skal utgå som egen håndbok og i stedet innarbeides i andre relevante normaler eller retningslinjer.

2.4 Andre styrende dokumenter

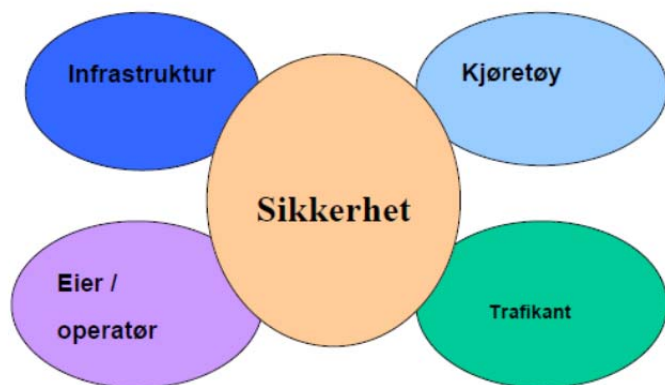
Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Statens vegvesen har i fellesskap utarbeidet *Retningslinjer for saksbehandling og ivaretagelse av brann- og elsikkerhet i vegtunneler* (2011). Disse skal erstatte tidligere *Retningslinjer for saksbehandling ved brannsikring av vegtunneler* utgitt av Samferdselsdepartementet og Kommunal- og regionaldepartementet i 2000 og *Veiledning om brannsikkerhet i vegtunneler* utgitt av Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern i 1999.

Andre sentrale styringsdokumenter for vegtunneler er Statens vegvesens håndbok 021 *Vegtunneler* (2010) og håndbok 111 *Standard for drift og vedlikehold* (2003, ny utgave fra 2014)

3 Totalsikkerhet

3.1 Innledning

Totalsikkerhet i vegtunneler er avhengig av samspillet mellom flere forhold som blir styrt av ulike aktører, som vist på figuren under.



Et sikkerhetskonsept for vegtunneler skal oppfylle den generelle målsettingen at sikkerhetsnivået i tunnelens inngangssone (dvs. 100 m før og de første 100 m inne i tunnelen) skal være på samme nivå som tilstøtende vegnett. Sikkerhetsnivået inne i tunnelen skal ligge på samme nivå som en tilsvarende veg uten vegkryss og gang-/sykkeltrafikk.

Tilsvarende skal gjelde ulykkesens alvorlighetsgrad (skadegrad). Dette skal danne grunnlaget for plan- og prosjekteringsfasen. Nivået skal videreføres i driftsfasen ved hjelp av ulike tiltak som enten har som hovedoppgave å forebygge at en hendelse inntreffer eller å begrense omfanget dersom hendelsen inntreffer.

Trafikkrelatert sikkerhetsarbeid og sikkerhetsforskrifter som blir lagt til grunn ved planlegging, prosjektering og bygging av trafikkanlegg under jord, utgår hovedsakelig fra de erfaringer som man har med trafikk på åpen veg. Bygging og drift stiller vegplanleggere og vegforvaltere overfor andre og mer komplekse problemstillinger i det sikkerhetsrelaterte arbeidet. Dette gjelder for planlegging av sikkerhet i selve trafikkavviklingen, men også ved vedlikeholdsarbeid, beredskapsarbeid og planlegging av redningstiltak.

Alvorlige ulykker og branner i tunneler skjer forholdsvis sjelden. Dessuten opptrer de som regel som små hendelser med mindre konsekvenser både for trafikantene og konstruksjonen.

En trafikkulykke som resulterer i en brann kan få et helt annet ulykkesforløp og skadeomfang i en tunnel enn om tilsvarende hendte på åpen veg. I tunneler er det flere faktorer som reduserer sannsynligheten for at hendelser skjer:

- ingen sideaktivitet på veggen
- stabilt klima
- stabile lysforhold

På den annen side er det også trafikkfaktorer som kan påvirke risikoomfanget gjennom:

- å bedømme rett avstand til øvrige kjøretøy
- å bedømme vegens fall
- å kunne gjennomføre redningstiltak

Store og katastrofale ulykker kan inntreffe, og slike scenarier er man nødt til å vurdere, og så langt det er mulig prøve å forebygge gjennom konstruksjons-, utstyrs- og organisatoriske tiltak.

Arbeidet med tunnelsikkerhet krever en metodisk og systematisk håndtering av det ulykkesforebyggende arbeidet som redningstiltak, skadebegrensende tiltak og beredskapsplaner.

Et overordnet mål for et sikkerhetskonsept for trafikkunneler er:

å skape en optimal totalsikkerhet og en fordeling mellom planlagte og gjennomførte sikkerhetstiltak. Dette forutsetter at ressurser er tilgjengelige og at disse disponeres slik at den totale sikkerheten blir optimal.

og at summen av investeringskostnad og skadekostnad minimeres - dvs at man velger et slikt nivå på den totale investeringskostnaden at summen av skadekostnad og investeringskostnad blir et minimum.

Sikkerhetskonseptets grunntanke ivaretas gjennom den geometriske utformingen og tekniske utrustningen av tunnelen. Dette vil til sammen være avgjørende for det forebyggende sikkerhetsnivå som oppnås. Kunnskap og erfaring om hendelser må tas hensyn til og videreføres ved nyprosjektering og utbedringer.

3.2 Selvbergingsprinsippet

Selvbergingsprinsippet er generelt akseptert i samfunnet og det gjelder i prinsippet for alle typer byggverk.

Et av de verste scenarier som kan inntreffe i en tunnel er en omfattende brann. Ved et slikt tilfelle har tidsaspektet fra når brannen oppstår og til evakuering er i gang en avgjørende innvirkning på konsekvensene av den samme brannen. All erfaring viser at i løpet av 10 – 15 minutter må trafikantene som er involvert i hendelsen ta inn over seg at noe er i ferd med å skje, orientere seg om nødutganger fra brannstedet og iverksette evakuering til sikker plass. I løpet av denne tiden må alt gjøres riktig hva gjelder selvberging. For at dette skal kunne bli vellykket må tunnelutformingen og tunnelutrustningen være utført slik at det er praktisk mulig å kunne utføre riktig selvberging.

Selvberging gjelder som hovedprinsipp i alle norske vegtunneler. Eksterne redningsmannskaper kan bare i unntakstilfeller komme til unnsetning ved en hendelse inne i en tunnel. Dette må også trafikantene kjenne til og det påhviler eier et ekstra ansvar at denne forutsetningen er kjent.

Det vil også være slik at det er trafikantene selv som kan være til hjelp for andre trafikanter i en ulykkesituasjon. Ved at evakuering kan iverksettes så tidlig som mulig og før situasjonen blir kaotisk, vil mulighetene være mye større for at de trafikanter som trenger hjelp til evakueringen vil kunne få den nødvendige veiledningen.

Hovedpoenget for at selvberging skal kunne fungere i praksis er at tunnelen er utformet for og utrustet med tekniske installasjoner som fungerer i en nødsituasjon. All ekstern redningsinnsats skal planlegges og iverksettes i henhold til godkjent beredskapsplan. Men i startfasen av en hendelse vil det alltid være selvbergingsprinsippet som gjelder og som derigjennom påvirker omfanget av hendelsen.

3.3 Organisasjon og sikkerhet

Det må gjenspeiles i enhver organisasjon hvor sikkerheten er forankret og ansvars plassert. Når tunnelen er åpnet for trafikk skal organisasjonen være etablert og alle ansvars- og arbeidsområder skal være identifisert og plassert. Beredskapsplan skal være utarbeidet med beskrivelse av ansvar, arbeidsoppgaver og kommunikasjonslinjer.

Utarbeidelse av beredskapsplanen bør involvere alle parter som vil komme til å inngå i beredskapen. Dette bør skje så tidlig som mulig slik at erfaringene som beredskapspartnerne måtte ha kan inngå som grunnlag i kravspesifikasjonene for planen. Gjennom å definere målene for driftsfasen, inkludert identifisering av driftsoppgaver og driftsprosedyrer vil det være mulig å sette opp en rekke krav til både tunnelutforming og tunnelinstallasjoner som vil gi det beste grunnlag for et godt samspill mellom teknikk og organisasjon.

Erfaringsmessig er det mange eksempler på at driftsorganisasjonen først blir involvert på et tidspunkt hvor alle sentrale beslutninger som påvirker sikkerhet og drift er tatt. Dette kan medføre en risiko for at velgjennomtenkte sikkerhetsløsninger ikke blir tatt hensyn til av driftsorganisasjonen fordi den enten ikke kjenner til eller forstår den bakenforliggende tankegangen og begrunnelsen.

I driftsfasen er det viktig at beredskapsarbeidet følges opp og at nødvendige tilpasninger av enten organisatorisk eller teknisk art blir foretatt som en konsekvens av erfaringene. Alle ulykker og hendelser skal registreres og analyseres på en slik måte at erfaringene blir utnyttet.

4 Strategi for økt trafikantsikkerhet

4.1 Risikoanalyser og akseptkriterier

På basis av ulykkesundersøkelsen og tilsvarende utenlandske undersøkelser har en i samarbeid med vegmyndighetene i Sveits utviklet en fleksibel risikoanalysemodell basert på utnyttelsen av bayesiske nettverk. Flexibiliteten ligger i at delmodeller enkelt kan knyttes opp mot hovedmodellen. Modellen fungerer nå og det vil bli gitt et opplæringstilbud til ansatte i Statens vegvesen. Modellen er forutsatt brukt for nye vegtunneler for å velge optimal utforming og for å sikre at eldre tunneler får sikkerhetstiltak som gir tilstrekkelig sikkerhet.

For å kunne minimalisere risikoen for trafikantene ved kjøring gjennom vegtunneler er det viktig å ha et gjennomtenkt system for risikostyring. I prinsippet består en slik modell av at en først definerer hvilke hendelser og forhold som kan gi ulykker, deretter hvor sannsynlig det vil være at ulykker oppstår og i tilfelle en ulykke faktisk oppstår hvor store konsekvenser den vil medføre.

Som et ledd i dette arbeidet er det i samarbeid med Sveitsiske vegmyndigheter utarbeidet et nytt kvantitativt risikoanalyseverktøy basert på såkalte Bayesiske nettverk. Modellen som er utviklet beregner risiko for trafikkulykker og skadde og drepte, samt brannfrekvenser i tunneler basert på en lang rekke geometriske- og trafikale størrelser som beskriver tunnelen. Prinsippet ved beregningsmetoden går ut på å dele tunnelen/tunnelsystemet inn i homogene delparseller og foreta separate beregninger for hver del og deretter addere resultatet til å gjelde hele tunnelen. Den nye modellen som heter TRANSIT skal utgjøre et supplement /erstatning av dagens beregningsmodell (TUSI).

Risikostyringen vil da bestå i å velge et nivå for hva vi som samfunn vil måtte akseptere av risiko, siden risikoen aldri kan bli null. For å beregne slik sannsynlighet for ulykker og eventuelle konsekvenser av disse kan vi enten bruke kvalitative eller kvantitative metoder. Uansett metode vil en måtte ta stilling til om risikoen som fremkommer kan aksepteres eller ikke.

Denne delen av delprosjektet har forsøkt å gi et svar på hvordan vi skal kunne utvikle slike akseptkriterier og hvordan de skal kunne anvendes. Det er gjort undersøkelser av hvordan dette gjøres i andre land og det er laget forslag til hvordan vi kan gå frem i Norge. Kun Nederland og Storbritannia bruker tallfestede akseptkriterier i form av fN kurver (dvs. kurver som viser sannsynlighet for storulykker med N antall drepte i en logaritmisk skala). Andre land bruker ALARP prinsippet, dvs. As low As Reasonably Practical. Dette betyr i praksis at en gjennomfører tiltak som ligger innenfor en budsjettbegrensning eller gjennomfører tiltak som gir en positiv nytte/kost verdi.

På basis av resultatene fra prosjektet og videre jobbing vil en foreslå følgende som basis for vurdering av om en risiko er akseptabel eller ikke:

Vi foreslår først å skille mellom ”vanlige” trafikkulykker og storulykker. For trafikkulykker bruker vi samme metode som for åpen veg, dvs normal/forventet skadekostnad per. km.

For storulykker brukes ALARP eller fN kurver der dette er hensiktsmessig.

For vurderingene foreslår vi å dele tunnelene inn i tre nivåer:

Nivå 1: Ingen avvik fra Forskrift eller Håndbok 021 – risikoen vil være akseptabel

Nivå 2: Mindre avvik. Oppgradering av eksisterende tunneler. Kvalitativ analyse.
Tekniske bytter mulig – risikoen er da akseptabel

Nivå 3: Større avvik, undersjøiske tunneler, tunneler med mye farlig gods, tunneler med høy ÅDT og tunneler som brukes ifm kolonnekjøring. Kvantitativ analyse er påkrevd.
ALARP vurdering er foreslått.

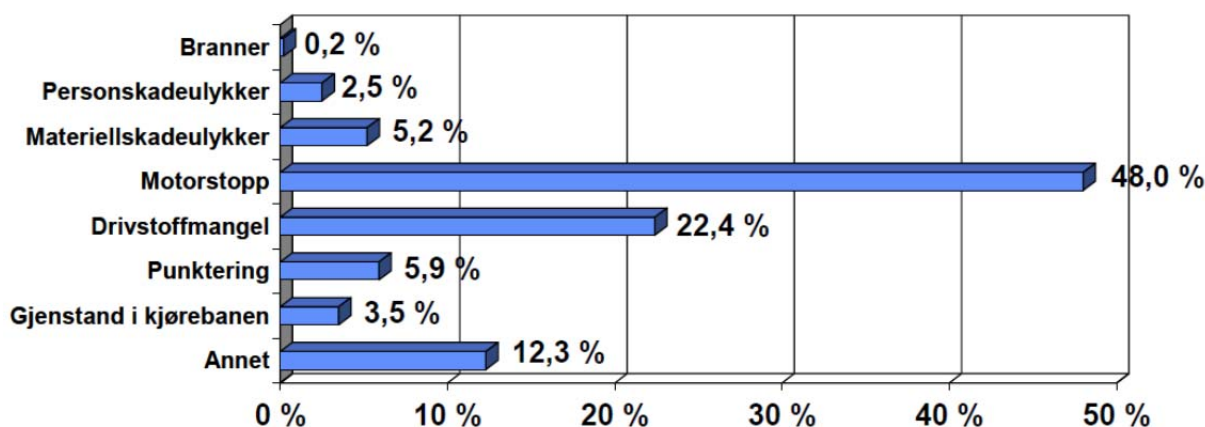
4.2 Hendelser i vegtunneler

4.2.1 Statistikk

Det er de siste 25 årene gjennomført flere undersøkelser av trafikkulykker i norske vegtunneler. Resultatene viser klart at ulykkesfrekvensen (dvs antall personskadeulykker per en mill kjtkm) har sunket, slik den har gjort for veg i dagen. Det noe spesielle er at ulykkesfrekvensen ved kjøring inn i tunnelene er vesentlig mer redusert enn ulykkesfrekvensen inne i tunnelene. Dette har sannsynligvis først og fremst sammenheng med bedret utforming og bedret belysning i inngangssonen. Selv om vi tar bort ulykkestyper som ikke kan forekomme i vegtunneler er ulykkesfrekvensen vesentlig lavere i tunneler enn ellers på vegnettet. En annen konklusjon er at antall personskadeulykker synker med tunnallengden, mens skadeomfanget øker med tunnallengden.

Ufrivillig stopp i vegtunnelene skjer relativt ofte. Utover den stressituasjon trafikanten utsettes for gir dette et problem i forbindelse med trafikkavviklingen og økt sannsynlighet for følghendelser (ulykker etc.).

Årsaker til slike hendelser er motorproblemer (ca 50 %), mangel på drivstoff (ca 20 %), objekter på kjørebane (ca 10 %), punkteringer (ca 5 %) etc.



4.2.2 Resultat fra ulykkesundersøkelser

Den mest omfattende undersøkelsen av trafikkulykker i norske vegtunneler ble publisert i rapporten: "Trafikkulykker i vegtunneler 2 En analyse av trafikkulykker på riksvegnettet for perioden 2001 – 2006" [7]

Undersøkelsen omfatter 797 vegtunneler og 926 personskadeulykker. Tunnelene er inndelt i fire typer:

Ett løps tunneler med toveis trafikk	- 728 stk
Undersjøiske tunneler	- 22 stk
Toløps tunneler i byområder	- 22 stk
Toløps tunneler utenfor byområder	- 25 stk

I et løps tunneler utgjør ca 35 – 45 % av ulykkene utforkjøringer, ca 20 – 25 % påkjøring bakfra og ca 25 % møteulykker. I to løps tunneler utgjør ca 30 – 40 % utforkjøringer, ca 55 – 65 % påkjøring bakfra eller feltskifte.

Litt overraskende resultat var at ulykkesfrekvensen i inngangssonene var omtrent den samme uavhengig av tunneltype. Ulykkesfrekvensen i midtsonene var 0,08 i vanlige ett løps tunneler, 0,09 i undersjøiske tunneler, 0,12 i to løps bytunneler og 0,03 i to løps tunneler utenfor byområder. Disse resultatene samstemmer godt med utenlandske undersøkelser.

Det er ofte et spørsmål om hvorvidt tunneler er sikrere enn veg i dagen eller ikke. Dersom vi først ser på ett løps tunneler med toveistrafikk kan vi i utgangspunktet si at de kun vil ha fire typer ulykker: Møteulykker, Singelulykker Ulykker med samme kjøreretning og det som benevnes andre ulykker. Totalt sett utgjør dette ca 70 % av ulykkene på åpen veg og ca 80 % av de drepte. Fra våre beregninger ser vi at mens ulykkesfrekvensen for åpen veg ligger på ca 0,2 vil ulykkesfrekvensen for hele tunnelen være ca 0,1, dvs 50 % av ulykkesfrekvensen på åpen veg. Ett løps tunneler er således vesentlig sikrere enn en tilsvarende veg i dagen.

For to løps tunneler utenfor tettbygd strøk kan vi i utgangspunktet si at vi har singelulykker, ulykker mellom kjøretøy i samme kjøreretning (feltskifte og påkjøring bakfra). Dette utgjør ca 55 % av ulykkene og 40 % av de drepte. Ulykkesfrekvensen på motorveger ligger på ca 0,06, mens den i våre toløps tunneler utenfor byområder ligger på 0,03.

Konklusjonen blir således at våre et løps tunnelene er vesentlig sikrere enn veg i dagen. Selv når vi tar hensyn til inngangssoner og ulike typer ulykker vil vi kunne si at ulykkesfrekvensen er ca 50 % av den vi kan forvente for veg i dagen.

Selv om tunnelene er sikre er det fortsatt en utfordring med bedret sikring av inngangssonene. Et tiltak som erfaringsmessig gir god effekt er å bedre inngangssone belysningen. Økning av lysnivået ellers i tunnelen mer enn $1,5 - 2 \text{ cd/m}^2$ gir normalt ingen økt sikkerhetseffekt, men kan gi bedret kjørekomfort og trygghet. Det er også et problem med utforkjøringer, eller singelulykker. Her vil ofte en medvirkende årsak til at ulykkene skjer høy fart, mens en medvirkende årsak til stort skadeomfang ofte er en ru fjellvegg. ATK og flat fjellvegg/utstøping vil være gode trafikksikkerhetstiltak.

4.3 Trafikantadferd

Oppstår det en hendelse vi ikke er vant til, for eksempel en brann i tunnelen, vil de fleste trafikanter få problemer. For det første må hver enkelt trafikanter faktisk registrere at det er en brann. Undersøkelser viser at det kan gå opp mot 15 minutter før trafikantene faktiske forstår at det er en alvorlig brann som kan få katastrofale følger. Det er derfor ikke overraskende at flere alvorlig branner de senere år i Europa har ført til at trafikantene har omkommet fordi de ikke har reagert raskt nok. Flere steder har man funnet omkomne inne i bilene og noen har til og med blitt funnet utenfor bilene med bagasjen i hånden. Det er en rekke faktorer som spiller inn på våre valg, det faktum at alle andre også blir sittende i bilene sine, bidrar til denne tregheten i reaksjonsmønster.

Foruten en lang reaksjonstid, er det ofte et problem at mange tar feil valg når de først reagerer. Mange har en tendens til å gå ut samme vei som de kommer inn, fremfor å benytte nødutgangene og nødtelefonene. Langt de fleste branner i tunneler kan slukkes med brannsløkningsapparatene, men mange studier viser at trafikantene er passive og slett ikke tar i bruk apparatene.

Vi kan derfor litt forenklet si at trafikantene:

- forventer at det er trygt å kjøre gjennom tunnelene
- kjører daglig gjennom tunnelene og det går bra
- opplever at det går bra hver gang, og blir mindre oppmerksom på faresignalene
- man bruker forholdsmessig lang tid på tolke faresignalene
- og når man først har forstått faresignalene, tar man ofte feil i valg av løsning

Enhver brann er ulik og vi kan heller ikke forvente at trafikantene generelt skal vite hvilke kriterier som legges til grunn for utlufting i den enkelte tunnel – det vil si styring av vindretning ved hjelp av viftene og dermed røykens retning ved en brann. Trafikantene oppfører seg slik de gjør der og da fordi de tror det er det mest fornuftige. Og uten tilstrekkelig kunnskap om mulige valg (herunder rømningsveier, nødtelefoner, brannsløkningsapparater m.m.) og kunnskap om den konkrete tunnel, kan vi heller ikke forvente at de fleste trafikanter tar de rette valgene.

Trafikanter flest mangler med andre ord kunnskap, og fordi de (heldigvis) sjelden opplever alvorlige hendelser, får de heller ikke praktisk erfaring i å håndtere de ulike hendelsesscenarioene.

Det er ikke gjort over natten å endre adferd. Det er en rekke forutsetninger som skal være på plass før hver enkelt av oss endrer vår adferd. Og selv om vi klarer å endre holdning, er det ikke sikkert alle endrer adferd likevel. Vi kan alle ha en holdning om at det er riktig å holde fartsgrensen, men mange bryter den likevel. Alvorlige ulykker med flere drepte i Europa har ført til økt fokus på tunnelsikkerhet, både blant publikum generelt, media og blant politikere.

Statens vegvesen har som vegeier et særskilt ansvar for både å bygge tunneler som ivaretar sikkerheten, samt gjennomføre informasjonstiltak som skal sikre at færrest mulig blir berørt om ulykken likevel inntreffer. Fordi det er svært ressurskrevende og ikke minst det faktum at det er et langsiktig arbeid å endre adferd, vil en økt innsats for riktigere tunneladferd måtte være målrettet og presis. Det må være en generell målsetning at flest mulig trafikanter

- respekterer skilt, lys og bomber ved tunnelene
- holder fartsgrensen i tunnelen
- holder tilstrekkelig avstand, ikke skifter felt unødvendig
- bruker nødtelefonene ved hendelser
- bruker brannsløkningsapparater ved brann
- lytter på radio (ikke CD, kassett)
- evakuerer gjennom nødutgangene

Kommunikasjon er egnet til å løse utfordringer som skyldes mangel på informasjon. Fordi mange trafikanter oppfører seg passive ved tunnelhendelser kan det skyldes at de ikke har informasjon om hvordan de skal forholde seg. Da kan kommunikasjon være egnet som virkemiddel, men det vil ofte også være andre fysiske forhold ved tunnelene som spiller inn. Det er nødvendig å være klar over at det finnes en rekke ulike virkemidler som er med å sikre måloppnåelse. En viktig

forutsetning er at de brukes på en måte som faktisk gir effekt – og her har alle virkemidler mer eller mindre sterke og svake sider. Kommunikasjon er ett virkemiddel blant flere – og man må hele tiden vurdere effekten av de ulike virkemidlene i sammenheng. Det at enkelte svinger utenom bommene og likevel kjører inn i tunnelen kan bety at man i tillegg bør ta i bruk straff (tvang) for enkelte målgrupper som tydeligvis ikke bryr seg om regelverket.

Hendelser i tunnel vil sjelden være lik hverandre. Det er derfor ikke gitt at en smørbrøddliste over ”korrekt” adferd alltid vil gi ønsket resultat. Improvisasjon kan i enkelte tilfeller også bidra til en reduksjon av skadeomfanget ved en alvorlig hendelse. Men gjennom trening og kunnskap om nødutganger osv øker sjansen for at man tar de rette valg i en krisesituasjon. Ønsker man å nå den gjennomsnittlige trafikant er viktig å sette realistiske målsetninger, og ikke legge ambisjonsnivået for høyt/forvente stor adferdsendring på kort tid. Uansett vil det kreve en flerårig informasjonskampanje med stor tyngde over tid dersom man skal nå ”mannen i gata”.

4.4 Komfortiltak

Vegtunneler er vanligvis minst like sikre som eller sikrere enn tilsvarende vegstrekninger i friluft uten vegkryss, avkjørsler, gang- og sykkeltrafikk. Vegtunneler byr allikevel på særegne utfordringer, som kan relateres til følgende forhold knyttet til komfortaspektet [8]:

1. manglende referanserammer
2. frykt og ubehag
3. monotoni

Det første forholdet, manglende referanserammer, representerer et viktig skille mellom det å kjøre i vegtunnel og på veg i friluft. Når vi kjører på vanlig veg omgis vi av landskap eller bebyggelse. Siden vi bare ser fjell eller betong i tunnel, får vi færre referanser. Dette påvirker vår hastighetsopplevelse og gjør oss dårligere til å vurdere hastighet og ikke minst til å vurdere avstander mellom kjøretøy og hvor langt man har kjørt i tunnelen. Med manglende referanser senkes vårt oppmerksomhetsnivå og vi reagerer saktere. Manglende referanserammer gjør det dessuten vanskeligere å bedømme stigning og fall. Dette kan ha uheldige konsekvenser for trafikk-sikkerheten.

Det andre forholdet er frykt og ubehag i vegtunneler. Få har fobier for vegtunneler, men en betydelig andel av den norske befolkningen oppgir at de opplever et visst ubehag knyttet til det å kjøre i vegtunneler. Blant de scenarioene nordmenn særlig frykter i vegtunneler er 1. brann og røyk, 2. å bli innestengt, 3. dårlige lysforhold, 4. kollidere med møtende trafikk, 5. at tunnelkonstruksjonene skal bryte sammen. Det ser ut til at vegtunnelers lengde og dybde har noe å si for menneskers opplevelse av frykt og ubehag på den måten at frykten eller ubehaget blir verre jo lengre tunnelen er.

Det siste forholdet er monotoni. Vegtunneler mangler referanserammer og har gjerne en ensformig infrastruktur sammenlignet med veger i friluft. Dette kan gi førere som kjører i vegtunneler en opplevelse av monotoni og kjedsomhet. Det kan tenkes at trafikanters opplevelse av monotoni i vegtunneler kan ha konsekvenser for trafikk-sikkerheten på den måten at sekundære distraksjoner tar fokus bort fra trafikken eller at førerne blir trøtte og/eller ukonsentrerte.

Vi konkluderer med at vi trenger mer forskning på følgende spørsmål: Hvorvidt og i hvilken grad øker frykt og ubehag med vegtunnelers lengde og dybde? Hvor lange eller dype skal vegtunneler være for at den andelen av befolkningen som føler ubehag i dem velger dem bort? Øker frykt/ubehag ved vegtunnelers lengde, avtar ubehaget over tid i lange tunneler, eller holdes det konstant? Finnes det tiltak som kan redusere frykt og ubehag? Det kan være vanskelig å nå vegtunnelbrukere gjennom informasjonstiltak. Det indikerer at det er vanskelig å bruke informasjon for å redusere frykt/ubehag. Er det slik at trafikantene som heller velger en omvegn enn å kjøre gjennom vegtunneler, velger bort alle vegtunneler uansett lengde eller dybde, eller velger denne andelen trafikanter bare bort vegtunneler av en viss lengde og dybde? Hvordan øker risikoen for sovning med vegtunnelers lengde, og hvilke tiltak kan iverksettes for å redusere risikoen for sovning? Hvor lang må en tunnel være før monotonien blir trafikkfarlig fordi man senker oppmerksomhetsnivået?

Vi vet altså at en viss andel av befolkningen lider av sykkelig tunnelangst (i underkant av 1 %), ytterligere 2 – 6 % føler så stor redsel at de er ubekvemme ved kjøring i tunneler. Slik redsel for kjøring i tunneler kan dempes noe gjennom lyse vegger, god belysning og tiltak som demper monotonien (jfr rommene i Lærdalstunnelen). Det er imidlertid ingen dokumentasjon på at slike tiltak gir sikkerhetsgevinst. I noen tilfeller har det vist seg at tiltak som hvitting av vegger kan gi økt kjørefart.

4.5 Portalområdet

Portalområdet inkludert området rett utenfor og rett innenfor tunnelåpningen framstår i dag som området med høyest ulykkesfrekvens. Utforming av portalområdet bør derfor utformes annerledes enn i dag for å bedre på denne situasjonen. Området bør, i tillegg til å tilfredsstillende de spesifikke krav som stilles f. eks. for rekkverksløsninger, gis en trafikal og fysisk utforming i tråd med resultater fra moderne atferdsforskning for bilførere når det gjelder behov, oppmerksomhet og reaksjonstid.

De vesentligste problemene er knyttet til tunnelens munningsområde, og spesielt for trafikk inn i tunnelen.¹ Mange av ulykkene er påkjøring bakfra, spesielt i tunneler der det er kryss umiddelbart både før og etter tunnelen, med av- og påkjøringsfelt umiddelbart før og etter tunnelmunningen. Et åpenbart problem er da at førere som skal flette inn i et gjennomgående kjørefelt, vil ha konsentrasjonen rettet skrått bakover for å finne en tilfredsstillende luke, og har ikke konsentrasjonen i stor nok grad rettet forover for å kunne reagere på endringer i kjørefart inn i tunnelen. Man ser ofte at en del bilister reduserer farten til dels betydelig i det de kommer inn i tunnelen, og det kan være vanskelig å oppdage i tide, spesielt hvis man har konsentrasjonen rettet bakover. Godt belysningsnivå i overgangssonen inn i tunnelen vil kunne redusere risikoen for at visse førere reduserer farten uventet i det de kommer inn i tunnelen. Ellers vil utformingen av tunnelmunningen være av vesentlig betydning for skadeomfanget av en ulykke som inntreffer i det området. For nye tunneler bør man helst ikke etablere kryss eller av- og påkjøringsramper rett utenfor tunnelen. Om nødvendig bør kryss lokaliseres i hvert fall mer enn 100 m, kanskje 200 m utenfor tunnelen. All tilbakeblokkering inn i tunnelen er meget uønsket. Ulykkesbildet ser ikke ut til å være knyttet til

¹ Ulykker i tunneler
Kommunikasjon med Henrik Hvoslef, mail 30. september 2011

utkjøring av tunnelen, men tilbakeblokkering fra kryss rett utenfor tunnel-munningen kan være et problem. Lokalt kan det være problem med blending med lav motsol rett utenfor tunnelen.

Rekkverksløsningen, og spesielt rekkverkets stivhet, inn mot tunnelportalen er avgjørende for forløpet av en utforkjøringsulykke som skjer ved innløpet til tunnelen.² Det bør anvendes et relativt stivt rekkverk inn mot portalen, som forsterkes ytterligere fram mot innfestingen i den stive betong-konstruksjonen i portalområdet. Forløpet ved en avkjøring blir mer forutsigbart dersom det er fast grunn under og et stykke bakenfor rekkverket, avhengig av deformasjonsrommets dybde bak rekkverket, det vil si hvor stivt rekkverket er. Det bør derfor asfalteres under rekkverket og så langt bak rekkverket som rekkverkets dimensjonerende deformasjonsrom tilsier.

4.6 Sikkerhet og ITS

På det norske vegnettet finnes det et stort spekter av vegtunneler med ulike utforming og teknisk utstyr, bygd for ulike formål [9]. Håndbok 021 gir grovt sett krav til et minimumsnivå med hensyn på bruk av konkretet ITS-tiltak (eller egentlig tiltak som kan kategoriseres som ITS) samt krav til at mer spesielle og komplekse situasjoner skal vurderes og prosjekteres "etter behov".

Det er imidlertid grunn til å stille spørsmål ved om det er i generelt er fruktbart og fornuftig å ta utgangspunkt i ren ITS-tiltaksvurdering. Det ender fort opp med en prosjektspesifikk og/eller teknologidrevet behovsvurdering i stedet for en vurdering med hovedfokus på formål knyttet til identifiserte behov for vegnett med tunnel sett samlet.

Det er derfor mer fruktbart å betrakte ITS-tiltak som et (av flere) aktuelle tiltak for å nå overordnede mål innen trafiksikkerhet (reduksjon i antall drepte og alvorlig skadde) sammen med andre mål for framkommelighet, miljøbelastning, drift og vedlikehold o.a..

Slike tiltak må imidlertid gjennomføres uten at kostnader for drift og vedlikehold blåses urimelig opp sammenholdt med tiltakenes nytteeffekt. Det er derfor viktig å avklare hvilket nivå man skal legge seg på med hensyn til ITS-virkemidler.

De fleste ITS-tiltak er rettet mot vegnettsformål. ITS-tiltak for vegtunnel bør i hovedsak komme som et resultat av vegnettsvurderinger. I tillegg vil det være noen tunnelspesifikke ITS-tiltak som bør vurderes for tunnelen konkret, uavhengig av vegnettet omkring tunnelen.

Alle ITS-tiltak må underlegges nytte/kostnadsvurderinger for å sikre rimelig nytteeffekt i forhold til totalkostnadene, inkludert kostnader for drift og vedlikehold og framtidige rehabiliteringskostnader.

Det skal tilstrebes standardisering og ensartethet for ITS-tiltakene for å øke gjenkjenning for trafikantene i tilsvarende situasjoner på ulike vegavsnitt.

Implementeringen av ITS-tiltak i tunnel innebærer arbeid med videreutvikling av kriterier for bruk av spesielle ITS-tiltak for vegtunnel. Dette omfatter utvikling av førende løsningsnivåer for ulike

² Ulykker i tunneler

Kommunikasjon med Henrik Hvoslef, mail 6. oktober 2011

kategorier tunnel og en anvisning på prinsipp for utførelse av ulike typer tiltak, samt innarbeiding av bestemmelsene i relevante retningslinjer og veiledere.

4.7 Lange og dype tunneler

4.7.1 Stigning og fall

I arbeidet med etatsprogrammet Moderne vegtunneler har det vært stilt spørsmål om graden av fall og stigning som kan tillates for undersjøiske tunneler ut fra hensyn til trafikksikkerhet. Det er minst fire forhold som må vurderes for å kunne avgjøre om de samlede påkjenninger ved kjøring i undersjøiske vegtunneler ligger innenfor et akseptabelt sikkerhetsnivå for åpen ferdsel. Disse forholdene er:

- graden av fall og stigning
- kjørelengden med fall og stigning
- kjøretøyenes bremskapasitet og
- tyngden på kjøretøyene

Graden av stigning og fall

EU tillater inntil 5 prosent fall og stigning på TERN-vegnettet. Det samme gjelder for oversjøiske riksvegtunneler i Norge. På grunn av Norges spesielle geografi med svært dype fjorder har EU akseptert at Norge kan ha andre bestemmelser for graden av fall og stigning i undersjøiske tunneler.

Bestemmelser for undersjøiske tunneler på riks og fylkesvegnettet i Norge er i følge Håndbok 021 (Tunnelhåndboken) side 25:

“4.2.3 Vertikalkurvatur

Med unntak for undersjøiske tunneler skal ikke veg i tunnel bygges med mer enn 5 % stigning. Veg i undersjøiske tunneler skal ikke overskride kravene til stigning gitt i tabell 4.2.

Tabell 4.2 Maksimal stigning for veg i undersjøiske tunneler

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

Se punkt 4.4, Valg av tunnelklasse, for definisjon av årsdøgntrafikk – ÅDT.

ÅDT-verdiene for ensrettet trafikk i tabell 4.2 gjelder begge tunnellop samlet.

ÅDT-verdiene i tabell 4.2 gjelder vegstrekninger med en normal trafikkfordeling over året og med en tungtrafikkandel jevnt fordelt over året på 10 – 15 %.

I bynære områder med typiske morgen- og ettermiddagsrush, hvor tungtrafikkandelen i maksimumsstimen er mindre enn 7 %, kan ÅDT-verdiene i tabell 4.2 økes med 25 %.

Veg i undersjøiske tunneler, av lokal karakter og med små trafikkmengder, kan bygges med stigning opp til 10 %. Dette skal godkjennes av Vegdirektoratet i hvert enkelt tilfelle.”

Veglengden med fall og stigning

Tilsvarende hvor viktig stigningsgrad og fall er i en undersjøisk vegtunnel er kjørelengden i stigning og fall. For eksempel vil det ikke være problematisk med et fall på 7 prosent hvis høydeforskjellen som skal forseres begrenser seg til eksempelvis 50 meter. Dette medfører en kjørelengde med fall begrenset til om lag 700 meter. Derimot vil et fall på 7 prosent med høydeforskjell på 600 meter innebære en kjørelengde i fall på om lag 8.600 meter, hvilket ikke vil være akseptabelt.

Årsaken til at dette ikke vil være sikkerhetsmessig akseptabelt er risikoen ved at bremsesystemene ikke vil tåle belastningen over så lang strekning. Faren for varmegang og brann vil være betydelig.

4.7.2 Kjøretøytekniske utfordringer i tunneler

Kjøretøyenes tekniske forutsetninger er et område som krever mer oppmerksomhet, spesielt knyttet til varmegang i bremses ved kjøring i helling nedover og økte avgass utslipp ved kjøring i helling oppover kombinert med mulig overoppheting av motor [10]. Det er viktig at luft i lange tunneler har tilstrekkelig kvalitet slik at motorene til kjøretøyene fungerer tilnærmet optimalt.

Vurderingene vedrørende kjøretøy som kjøres i tunneler som har stor helling nedover/oppover og som er lastet til tillatt totalvekt utgjør derfor på den ene siden en sikkerhets utfordring og må på den andre siden inngå som en planforutsetning basert på kjøretøytekniske forutsetninger som det ikke har vært så fremtredende i de foretatte risikovurderingene for disse tunneltypene.

I vedlegg 1, punkt 2.2.2, til forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler er det om tunnelgeometri beskrevet at *“mer enn 5 % stigning i lengderetningen skal ikke være tillatt i nye tunneler, med mindre ingen annen løsning er geografisk mulig”*, og *“I tunneler med stigning på mer enn 3 % skal det treffes ekstra og/eller forsterkede tiltak for å forbedre sikkerheten på grunnlag av en risikoanalyse.”*

For at kjøretøy skal kunne tas i bruk på eller utenfor offentlig veg, må kjøretøyet tilfredsstillende en mengde tekniske krav, deriblant omfattende krav til kjøretøyets bremseanlegg og oppførsel i lange hellinger nedover. Det er kommisjonsdirektiv 98/12/EF som regulerer disse kravene. De tekniske kravene til kjøretøyene er tilnærmet like i hele Europa, og kravene må tas med i vurderingen om hvilke helling nedover/oppover den offentlige vegen kan ha for at kjøretøy og infrastruktur skal kunne brukes på en trafikksikker og miljøvennlig måte.

Tilhenger med tillatt totalvekt mellom 750 kg og 3500 kg

I kommisjonsdirektiv 98/12/EF er det blant annet beskrevet at alle tilhengere med en tillatt totalvekt mellom 750 kg og 3500 kg skal være utstyrt med et driftsbremseanlegg som enten er gjennomgående, halvt gjennomgående eller av påløpstypen. Påløpsbremseanlegg er den dominerende driftsbremsen som benyttes på omtrent alle campingvogner og tilhengerer i den nevnte vektclassen. Det er i direktivet gitt konkret krav til når påløpsbremseanlegget skal begynne å virke (reaksjonsterskel).

Forenklete beregninger viser at driftsbremsene vil begynne å bremse tilhengeren når bilen og tilhengeren kjører nedover en helling som er mellom 3 og 5 %. Det forutsettes da at tilhengeren er lastet til tillatt totalvekt og at påløpsbremseanlegget fungerer i henhold til nevnte direktiv. Føreren

av bilen kan vanskelig forhindre at driftsbremsen på tilhengeren begynner å bremse når hellingen blir større enn 5 %.

Lastebiler som er godkjent for å trekke tilhengere

I kommisjonsdirektiv 98/12/EF er også gitt krav til prøving av kjøretøyets oppførsel i lange hellinger nedover. Kjøretøy med last skal prøves på en slik måte at energitilførselen svarer til den registrert i samme tidsrom for et kjøretøy med last som med en midlere hastighet på 30 km/h kjører nedover en helling på 7 % over en strekning på 6 km. Under prøvingen skal drifts-, nød- og parkeringsbremseanlegget ikke benyttes. Giret som er valgt, skal være slik at motorens turtall ikke overstiger den høyeste verdi fastsatt av produsenten. En integrert mellomakselbrems kan benyttes, forutsatt at den er hensiktsmessig justert på en slik måte at driftsbremseanlegget ikke påvirkes. (Hvis lastebilens største masse overstiger 26.000 kg, skal prøvingsmassen begrenses til 26.000 kg.)

Forenklete beregninger viser at vogntog lastet til maksimal tillatt totalvekt 44.000 kg (i henhold til direktiv 96/53/EF senest endret ved direktiv 2002/7/EF), og har en hastighet på 80 km/h i en helling nedover på 5 %. Vogntoget vil da klare å holde en tilnærmet konstant hastighet per kjørte 1000 meter, avvik i hastigheten er i underkant av 3 %. Dette oppnås kun med å benytte giret, motorbrems og eventuelt mellomakselbrems. Dersom tilsvarende vogntog benyttes i samme hastighet, men er nå lastet til maksimal tillatt totalvekt i henhold til nasjonale totalvekter, dvs. 50.000 kg og kjører nedover en helling på 7 %. I dette tilfellet vil hastigheten øke med ca. 40 % per kjørte 1000 meter. For å ivareta en konstant hastighet nedover denne hellingen på 7 %, må et bremsearbeid utføres for å kunne holde konstant hastighet. Bremsearbeidet kan utføres ved hjelp av tilgjengelig mellomakselbrems, eller driftsbrems. Det er ikke i dag krav om at kjøretøyene skal ha mellomakselbrems, men de fleste norske lastebilene har dette montert som tilleggsutstyr. Statens vegvesen har siden 2005 utført tilstandsundersøkelser på tunge kjøretøy. Disse undersøkelsene kartlegger blant annet tilstanden på bremsene. Resultatene fra 2009 viser at hele 22 % av de utenlandske registrerte tunge kjøretøyene og 15 % av de norskregistrerte tunge kjøretøyene har feil på bremsene. Feil på bremsene vil ha innvirkning på eventuell varmgang ved at andre aksler må gjøre et større bremsearbeid for å oppnå samme retardasjon når driftsbremsen benyttes.

Økt drivstofforbruk på tunge kjøretøy

Vogntog lastet til tillatt totalvekt i helling oppover krever både riktig kvalitet og rikelig mengde med luften for å få tilstrekkelig effekt og kjøling. Stort effektutakt av lastebilens motor vil medføre store krav til bilens kjøleanlegg og eksosanleggets effekt for å rense avgassene. Dette på grunn av at kjøretøyene vil ha forholdsvis liten fart oppover hellingen, og derav liten luftstrøm rundt motoren og eksosanlegg for kjøling. Drivstoff forbruket vil også øke betydelig, og i undersøkelsen “*Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*” (ARTEMIS) er det gjennomført tester som viser at dersom et tungt kjøretøy på kun 20.000 kg kjører oppover en helling på 6 % (50 km/h), vil forbruket øke med ca. 420-445 % i forhold til kjøring på horisontal veg (80 km/h). Avgassene NO_x, Pm og HC vil øke noe men ikke riktig like mye som forbruket i %. Vi mener at disse opplysningene må være viktige parameterer som inngår i vurderingene av “steady state” situasjonen til ventilasjonsanlegget i tunnelene.

4.7.3 Risikobilde med bruk av bratte tunneler i Norge

Norge er det land i verden som har flest undersjøiske tunneler, om lag 30.

På grunn av dype fjorder og for å redusere tunnellengdene bygger vi i Norge tunnelene med stor stigning og stort fall.

I tillegg til dette har Norge godkjent en langt større totalvekt på store kjøretøy enn det man har akseptert i EU. Med en større andel kjøretøy med retardere enn ellers i Europa har Norge en viss gevinst. Men gevinsten har ikke betydning for de kjøretøyene som ikke har retarder, eller de kjøretøyene som utsettes for faren fra kjøretøyer som ikke har retarder.

4.7.4 Anbefaling

Basert på kjøretøytekniske vurderingene foreslår vi at tunneler bygges med maks 5 % helling. Dette er også i samsvar med rådsdirektiv 2004/54/EF som omhandler minimum sikkerhetskrav til tunneler på det transeuropeiske vegnettet (tunneldirektiv).

Det er imidlertid behov for å dokumentere hvilke kombinasjoner av stigningsgrad og fall, kjørelengde med stigning og fall, tyngden på kjøretøy og bremsesystem som gir trafiksikkerhetsmessig forsvarlige løsninger.

Inntil det foreligger tilstrekkelig dokumentasjon på disse forholdene bør det heller ikke ut i fra trafiksikkerhetsmessige hensyn bygges undersjøiske tunneler med stigning og fall på over 5 prosent.

5 Strategi for økt brannsikkerhet

5.1 Brann i vegtunneler

For omtrent ti år siden var det flere katastrofebranner både i veg- og jernbanetunneler i Europa. I 1999 omkom 39 personer i Mont Blanc-tunnelen (Fransk - Italiensk). Samme år døde 12 personer i Tauern-tunnelen (Østerrike) og i 2001 døde 11 personer i St. Gotthardtunnelen (Sveits).

Også i Norge har vi gjennom de siste femten år hatt tunnelbranner, men ikke med tilsvarende omfang som i mellom-Europa. Det oppsto brann i en buss i Ekeberg-tunnelen i august 1996. Her var passasjerene sluppet ut før bussen kjørte inn i tunnelen. Brannen ble i ettertid beregnet til å ha hatt en effekt på 35MW og det oppsto ingen konstruksjonsmessige skader av brannen.

Som konsekvens av sammenstøt mellom kjøretøyer i Seljestadtunnelen i 2000 oppsto det brann i kjøretøyer. To mødre med hvert sitt barn ble fanget i tunnelen under røyken, noe som var særdeles alvorlig på grunn av den store faren for å bli CO-forgiftet eller å få mangel på surstoff.

Høsten 2006 oppsto det brann i et stort kjøretøy i Eidsvoll-tunnelen, og i 2009 oppsto det brann i et stort kjøretøy i Follo-tunnelen [11]. I Follo-brannen omkom sjåføren.

De fire brannene som er omtalt i norske tunneler startet alle i kjøretøyer. Ingen av dem spredde seg til tunnelkonstruksjonen. I tillegg til disse brannene har vi hatt hendelser med kjøretøyer som med liten margin har unngått å kjøre brennende inn i tunneler.

Etter brannene i Europa har brannsikring fått stor oppmerksomhet, det er foretatt endringer i det felles-europeiske regelverket og det er utført en rekke sikringstiltak. Dette gjelder både utforming, overvåking og organisering av tunnelarbeid.

Brannstatistikken generelt for norske tunneler er upålitelig. Vi vet at det årlig skjer 10 – 20 branntilløp i vegtunnelene, men får ikke dokumentert dette på en ordentlig måte. Direktoratet for sikkerhet og beredskap (DSB) er interessert i et samarbeid for å få en pålitelig statistikk. I løpet av 2012 vil vi gjennomgå det materialet som ligger i Vegloggen for å hente ut det som ligger der [12].

Fra norsk og internasjonal statistikk vet vi at det er store forskjeller fra tunnel til tunnel avhengig av blant annet tunnellengde, stigningsgrad, høyde over havet, årsdøgntrafikk og andel tunge kjøretøy. De fleste branner i lette kjøretøy starter ofte i forbindelse med en trafikkulykke. Det er stort sett i disse tilfellene at det oppstår store personskader. Ved branner som oppstår i motorrom eller lignende er det sjelden snakk om personskader. Når det gjelder tunge kjøretøy oppstår branner oftere i motorrom og de medfører ofte røykskader, behov for rømming av tunnelene og alvorlige personskader ellers.

Viktig i forbindelse med brann i tunnel er rask deteksjon (påvisning), mulighet for selvslukking dvs brannslukkere i tunnelen, rask tilkalling av brannvesenet, rask stenging av tunneler og effektiv evakuering av personer i tunnelen. Det finnes en rekke metoder for mekanisk, kjemisk eller visuell deteksjon av branner i tunneler. Fortsatt er det knyttet en del usikkerhet til effektiviteten av slikt utstyret og det er derfor viktig å følge utvikling på området og gjennomføre nødvendig uttesting.

I dag satser vi på brannslukkere montert i tunnelene. Vi vet at disse brannslukkerne har vært brukt ved en rekke anledninger. Det er også utviklet fast montert brannslukkeutstyr (brannslanger) i flere utenlandske tunneler. Vi har så langt vært tilbakeholdne på dette området av flere grunner. Hovedårsaken ligger i at vi ikke vil legge ansvaret for slokking av branner over på trafikantene.

Selv om alvorlige branner med evakueringsbehov opptrer sjelden, er dette en utfordring. Vår erfaring viser at det er vanskelig å få startet en evakuering, selv ved alvorlige branner. Her trenger vi derfor økt kunnskap.

5.2 Passiv brannbeskyttelse

I Norge er det vanlig å benytte isolasjonsmateriale i vann- og frostsikringskledninger for å unngå at det oppstår isdannelse og frostsprengning i berget. De vanligste er ekstrudert polystyren (XPS), isolasjon som festes bak prefabrikerte betongelementer i produksjonsfasen, og polyetylen (PE)-skum, vann-/frostsikring som monteres i profil og tildekkes med sprøytebetong. Tykkelsen på isolasjonsmaterialene brukt i tunnel er som regel ca. 50 mm. Problemet med disse to isolasjonstypene er at de er brennbare.

I Vegdirektørens ledermøte (VLM) 5-2004 ble det fastsatt en målsetning om å fase ut bruken av PE-skum i tunneler. Det ble forutsatt at alternativ isolasjon ble tilgjengelig.

I sluttrapporten fra FOU prosjektet "Tunnelutvikling" i 2007 (Tek-rapport nr. 2489) konkluderes det med at PE-skum fortsatt kan brukes under forutsetning av at den brannsikres med godkjent

brannsikring. Fullskala brannforsøk har vist at PE-skum dekket med nettarmoring og 80 mm sprøytebetong tilsatt nødvendig mengde polypropylen- (PP-) mikrofiber er tilfredsstillende brannbeskyttet. Arbeidet med å finne alternative ubrennbare isolasjonsmaterialer skulle imidlertid fortsette (vedtak i VLM - møte 16-2007).

Vi har ikke erfart hvordan en brann vil utvikle seg om den brennbare isolasjonen bak sprøytebetongen/ betongen tar fyr. Vi vet imidlertid at PE-skum er svært brennbart, og så lenge det finnes oksygen kan brannen bli omfattende. I 2003/2004 gjorde Sintef Brannlaboratoriet, NBL, en utredning om mulige konsekvenser for kledningen og tunnelrommet ved en evt. brann i isolasjonen bak kledningen (Intern rapport nr. 2362). Konklusjonen var at selve kledningen ville tåle en slik brannpåkjenning uten at den kollapset. Røykutviklingen kunne imidlertid bli langvarig alt avhengig av oksygentilgang. Utredningen resulterte i nye krav til antennelighet for brennbare isolasjonsmaterialer i tunnel, iht felles-europeiske standarder.

Brannen i Follo-tunnelen sommeren 2009 medførte at betongen i betongelementene skallet av (tunnelen ble bygget før PP-fiber ble tatt i bruk), slik at armeringen ble blottlagt på relativt store partier. Det var omtrent to centimeter igjen før også XPS-isolasjonen ville vært blottlagt og ikke hatt beskyttelse mot det brennende kjøretøyet.

I tillegg til å beskytte isolasjonen mot å bli antent i ferdig tunnel er det i transportfasen og i monteringsfasen nødvendig å sikre isolasjonen mot å bli antent.

For tunneler med ÅDT over 8 000 er det i dag krav om gjennomgående, prefabrikerte, veggelementer av betong. Elementer av normalbetong er frostisolert med XPS-isolasjon. Som alternativ kan isolasjon av skumglass (Foamglas) benyttes, til en høyere pris. Elementer av lettbetong benyttes uten brennbare isolasjonsmaterialer, og er alternativ vann-/frostsikringskledning i områder med lave til middels frostmengder (kravene er gitt i håndbok 163 Vann- og frostsikring i tunneler).

Prefabrikerte betongelementer tilpasses et konstant profil i tunnelen for å redusere antall elementformer. I tverrsnittsendringer som for eksempel havarinisjer benyttes som regel PE-skum/sprøytebetong (se også kap. 8 i håndbok 163, Vann- og frostsikring i tunneler).

Hvelv av aluminiumskassetter har frostisolering av XPS eller mineralull. Hvelvet er montert i noen få tunneler. Mineralull-isolasjon er ikke brannfarlig, men er vist å ha noe dårligere isoleringsegenskaper pga høyere fuktopptak.

Tunnelduk, en spesiell type armert og brannsikker membran montert i et bøylesystem, er godkjent for bruk i tunneler med lav trafikk (ÅDT < 2 500), og lave frostmengder. Løsningen har vært i bruk i snart 20 år.

En ny type tunnelkledning er tunnelduk/membran som beskyttes med 80 mm nettarmert sprøytebetong. Membran (med tykkelse 1,5 – 2 mm) erstatter isolasjon av PE-skum, og løsningen er godkjent for lave frostmengder.

Med den kunnskap og erfaringer vi har fra tunneler i inn- og utland, samt alternative løsninger utviklet og utprøvd de siste ca. 5 årene, har vi i dag nok alternativer til å kunne anbefale at det i alle nye vegtunneler ikke brukes materialer som gjør tunnelkonstruksjonen brennbar.

5.3 Aktiv brannbeskyttelse

Brannsikkerhet i tunneler omfatter både konstruksjonssikkerhet og personsikkerhet. Begge deler skal ivaretas, men det viktigste er personsikkerheten. For å ivareta personsikkerheten i tunneler skiller man ofte mellom aktive og passive systemer. I dette avsnittet omtales et aktivt system for å kontrollere tunnelbranner, vanntåke.

Vanntåketeknologien er i sterk utvikling og internasjonalt har det vært forsket en god del på dette. Den mest systematiske forskningen ble gjort i EU-prosjektet UPTUN som ble avsluttet i 2006. Resultatene her danner ”state of the art” og er i stor grad gjeldende fortsatt.

Ulike vanntåkesystem basert på hhv. høytrykk og lavtrykk ble i EU-prosjektet testet under ulike brannstørrelser og med ulike deteksjonssystemer for aktivering. Det er viktig å fastslå at vanntåkesystemer vanskelig kan slukke branner, men kan redusere røyk og varme nær brannstedet slik at redningspersonell kan gjøre en reell innsats. Systemene ble testet ut i fra effektmåling slik at redusert branneffekt ble målt. Slike systemer er forbundet med betydelige kostnader og de krever effektivt tilsyn og vedlikehold. De krever i tillegg et deteksjonssystem som kan løse ut slukkesystemet automatisk på stedet der brannen oppstår.

Testene har vist at sløkkanleggene er effektive for å redusere termisk belastning på konstruksjoner og dermed redusere de totale skadekostnadene. Testene har også vist at ved å redusere branneffekten vil personsikkerheten bli bedre og mulighetene for redningsmannskaper bli bedre. Langtidsstabiliteten til slike systemer er det liten kunnskap om av naturlige årsaker.

For våre forhold vil vanntåkesystemer kunne være aktuelle å bruke i høytrafikk tunneler med fare for stillestående køer og i tunneler hvor konstruksjonen kan gå tapt ved en brann. Når vi allikevel ikke tilråder bruk av slike systemer er det ut i fra både kostnadmessige hensyn og hensynet til manglende praktiske erfaringer i tunnelmiljøer med slike systemer og driftsmessig langtidsstabilitet.

5.4 Risikoanalyser og risikoakseptkriterier

Tilsvarende som for trafikantsikkerhet, se kap. 4.1.

5.5 Runehamar Test Tunnel

Runehamartunnelen er 1550 m lang og har et tverrprofil på ca. 50 m². Tunnelen har asfaltdekke og tradisjonell pukket drengroft på hver side. Tunnelen er fysisk avstengt for omverdenen fra begge sider. Adkomst fra øst skjer via port ca. 100 m inne i Innfjordtunnelen. Fra vest er vegen (gamle E-136) fortsatt stengt med rasmasser fra raset i 1989 som var hovedårsaken til at Runehamar-tunnelen ble nedlagt.

Tunnelens beliggenhet, lengde og utforming gjør den særdeles egnet til forskningstunnel. Det er lang avstand fra begge tunnelmunningene til bebyggelse. Aktiviteter knyttet til forskningsarbeid kan skje uforstyrret for omgivelsene.

Forskningsaktiviteten generelt vil i hovedsak være knyttet til:

- brannforsøk hvor bl.a. tid-temperaturkurver over brannutvikling og effektmålinger oppstrøms og nedstrøms brannen under påvirkning av ventilasjon inngår
- omfang av branneffekter og akseptkriterier
- påkjenninger på tunnelkonstruksjonen med og uten beskyttelse
- akseptkriterier ved redning og evakuering i røykfylte tunneler
- materialprøving i fullskalaforsøk
- slukketeknikker ved bruk av sprinkler/vanntåkesystemer
- opplæring og øvelser

Tunnelen er oppgradert med ny strømforsyning som både dekker bygningsmessige fasiliteter inkl. kontor/møtelokale/tele-data og tilstrekkelig ventilasjon i tunnelen. Videre er det etablert egen vanntank med fast forsyningsrør 600 m inn i tunnelen for bruk til slukkeforsøk.

Når det gjelder nyutviklede deteksjons- og slokkeutstyr, vann- og frostsikringskledninger samt bruk av brannhemmende materialer, vil dette kunne testes ut gjennom praktiske forsøk i Runehamartunnelen før godkjenning av nye materialer og produkter.

Tunnelen er velegnet til opplæringstiltak for personell fra lokale brannvesen som har tunneler som særskilte brannobjekter. Økt kunnskap om hvorledes tunnelen og installert tunnelutstyr fungerer i praksis og hvilke muligheter og begrensninger man har til innsats i tunnelbranner, er særdeles verdifullt å få formidlet gjennom praktisk forsøk i tunnelen. Opplæringstiltakene gir også felles strategisk kompetansebygging og kontakt mellom to etater som er avhengig av hverandre ved hendelser i tunneler.

6 Referanser

- 1 Direktiv 2004/54/EF
Minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network
29. April 2004
- 2 FOR 2007-05-15 nr 517
Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler
(tunnelsikkerhetsforskriften)
- 3 Sikkerhetsforvaltning av vetunneler
Håndbok 269
Statens vegvesen, 2007
- 4 Retningslinjer for saksbehandling og ivaretagelse av brann- og el-sikkerhet i
vegtunneler
Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap og Statens vegvesen, Vegdirektoratet
2011
- 5 Vegtunneler
Normaler
Håndbok 021
Statens vegvesen 2010
- 6 Standard for drift og vedlikehold
Håndbok 111
Statens vegvesen 2003
(håndbok 111 er under revisjon, ny utgave vil gjelde fra 2014)
- 7 Trafikkulykker i vegtunneler 2
En analyse av trafikkulykker på riksvegnettet for perioden 2001 – 2006
Veg og trafikkavdelingen, Trafikksikkerhetsseksjonen
Vegdirektoratet, 2008
- 8 Atferd i vegtunneler under normale forhold og i kritiske situasjoner – en litteraturstudie
Tor-Olav Nævestad og Sunniva Meyer
Arbeidsdokument av 9. august 2011 (revidert 05.09.2011), SM/2228/2011
Transportøkonomisk institutt
- 9 Moderne vegtunneler
ITS for vegtunneler
ViaNova Plan og Trafikk AS
2011-12-09
- 10 Kjøretøytekniske utfordringer i tunneler
Notat
Hennig Fransplass
25. november 2011

- 11 Rapport om utforkjøringsulykke med vogntog på E6 i Follotunnelen, Vestby, 10. mai 2009
Rapport Vei 2011/01
Statens havarikommisjon for transport
23.08.2011

- 12 Kartlegging av branner i vegtunneler
Tilbudsinnbydelse
2010176710 Tilbud: "FoU-tjenester Trafikksikkerhet/Konsulentbistand
Vegdirektoratet



Statens vegvesen

Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162