



Statens vegvesen

Veileder for risikoanalyser av vegtunneler (Revidert)

RAPPORT

Veg- og trafikkavdelingen

nr: TS 2007 : 11



Vegdirektoratet
Veg- og trafikkavdelingen
Trafikksikkerhetsseksjonen
Dato: 2007-10-31

Statens vegvesens visjon:

”På veg for eit betre samfunn”

Vi vil

- ***ta ansvar og vise tillit***
- ***vere opne og kundevenlege***
- ***vere romslege og skape arbeidsglede***

RAPPORT	REPORT
Tittel Veileder for risikoanalyser av vegtunneler	Title Guidance for risk analysis of road tunnels
Forfattere Hermann Steen Wiencke Ann Karin Midtgaard Arild Engebretsen	Autors Hermann Steen Wiencke Ann Karin Midtgaard Arild Engebretsen
Avdeling/kontor Veg og trafikkavdelingen Trafikksikkerhetsseksjonen	Department/division Department of Roads and Traffic Road Safety Section
Prosjektnr Internprosjekt	Project number No
Rapportnr 10/2007	Report number 10/2007
Prosjektleder Finn Harald Amundsen	Project manager Finn Harald Amundsen
Etatssatsingsområde/oppdragsgiver Vegdirektoratet	Project program/employer Norwegian Public Roads Administration
Emneord Risikoanalyse	Key words Risk analysis
Sammendrag Formålet med denne veilederen er å gi en beskrivelse av når risikoanalyser skal gjennomføres og hvilke typer analyser som er aktuelle til ulike formål, samt en innføring i hvordan analysene kan gjennomføres. Tre typer analyser omtales; grov risikovurdering detaljert risikoanalyse og statistisk risikoberegning.	Summary The purpose of this guideline is to describe when a risk analysis is necessary. The guideline also describes which analysis to be utilized at different levels, and an introduction to how they can be done. Three methods mentioned; preliminary risk analysis, detailed risk analysis and statistical risk calculation.
Språk Norsk	Language of report Norwegian
Antall sider 41	Number of pages 41
Dato 2007-10-31	Date 2007-10-31

Forord

I forbindelse med innføring av Forskrift om implementering av Europaparlamentets- og Rådskonklusjon 2004/54/EF av 29. april 2004 om minimum sikkerhetskrav til tunneler på det transeuropeiske vegnettet, er det utarbeidet en ny forskrift av 15.05.07 om sikkerhet i vegtunneler som gjelder for Norge (Tunnelsikkerhetsforskriften). Kravene i forskriften er tatt inn i Hb 269 Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler og Hb 021 Vegtunneler. I tillegg stiller brannvernloven krav om risikoanalyse (FOBTOT). Både forskriften og Håndbok 021 stiller krav om å gjennomføre risikoanalyser for vegtunneler.

Det ble derfor vedtatt å utarbeide en veileder for risikoanalyser av tunneler. Veilederen er utarbeidet av Proactima på oppdrag fra Statens vegvesen. Hermann Steen Wiencke har utført arbeidet for Proactima, mens for Statens vegvesen har Finn Harald Amundsen, Ann Karin Midtgaard og Arild Engebretsen bistått Proactima i arbeidet med veilederen.

Formålet med denne veilederen er å gi en beskrivelse av når risikoanalyser skal gjennomføres og hvilke typer analyser som er aktuelle til ulike formål, samt en innføring i hvordan analysene kan gjennomføres. Tre typer analyser omtales; grov risikovurdering, detaljert risikoanalyse og statistisk risikoberegning.

Oslo 31.10.2007



Finn Harald Amundsen
Trafikksikkerhetsseksjonen
Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn og formål med veilederen.....	5
1.2	Målgruppe	5
1.3	Forkortelser	5
1.4	Definisjon av begreper	5
2	Risikoanalyse – felles prinsipper	7
2.1	Avklaringer	7
2.2	Hvorfor gjennomføre en risikoanalyse?.....	7
2.3	Hvem kan gjennomføre risikoanalyser?	8
2.4	Hva skal en risikoanalyse kartlegge?	8
2.5	Uønskede hendelser	9
2.6	Kriterier for valg av metode.....	9
2.7	Gjennomføring av risikoanalysene	12
2.8	Prosesskrav	12
3	Grov risikovurdering	15
3.1	Beskrive analyseobjekt, formål og vurderingskriterier.....	16
3.1.1	Beskrive analyseobjekt	16
3.1.2	Formål med risikoanalysen	16
3.1.3	Beslutningskriterier.....	16
3.1.4	Nullvisjonens krav til et sikkert vegsystem	17
3.2	Identifisere sikkerhetsproblemer.....	17
3.2.1	Foreløpig liste over typiske uønskede hendelser	17
3.2.2	Bruk av sjekklister.....	19
3.3	Vurdere risiko	19
3.3.1	Konsekvens- og sannsynlighetsvurdering.....	19
3.4	Foreslå tiltak eller endringer	22
3.4.1	Identifisere mulige tiltak	22
3.4.2	Vurdering av mulige tiltak	23
3.5	Dokumentere	23
3.5.1	Vurdere resultater.....	23
3.5.2	Prioritering og anbefaling	24
4	Detaljert risikoanalyse	25
4.1	Beskrive analyseobjekt, formål og vurderingskriterier.....	26
4.1.1	Planlegging av analysen.....	26
4.2	Identifisere sikkerhetsproblemer.....	26
4.2.1	Uønskede hendelser	26
4.2.2	Årsaksanalyse	27
4.3	Vurdere risiko	29
4.3.1	Konsekvens- og sannsynlighetsvurdering.....	29
4.3.2	Avanserte konsekvensmodeller	30
4.4	Foreslå tiltak.....	30
4.4.1	Sensitivitetsstudier	30
4.5	Dokumentere	31
4.5.1	Format	31
5	Statistisk risikoberegning	32
5.1	Innledning	32
5.2	Generelt om dagens modell	32

5.3	Nødvendige inngangsdata.....	32
5.4	Kort om beregning av ulykkestall.....	33
5.5	Kort om beregning av branntilløp.....	34
5.6	Kort om beregning av hendelser/havarier.....	35
5.7	Begrensninger	35
5.8	Eksempel på bruk av TUSI ”Veiledertunnelen”	35
6	Tekniske bytter	40
7	Referanser	41

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og formål med veilederen

Formålet med denne veilederen er å gi en beskrivelse av hvilke typer analyser som er aktuelle til ulike formål, samt en innføring i hvordan analysene kan gjennomføres. Tre typer analyser omtales; grov risikovurdering detaljert risikoanalyse og statistisk risikoberegning.

1.2 Målgruppe

Veilederen retter seg til de som skal bestille, gjennomføre eller kvalitetssikre risikoanalyser av vegtunneler. Det vil i første rekke være prosjektledere, planleggere, sikkerhetskrollører og de som gjennomfører risikoanalysene i regionene, og Vegdirektoratet som tilsynsmyndighet. Veilederen vil også være nyttig for eksterne konsulenter som skal gjennomføre risikoanalyser.

1.3 Forkortelser

ADR	ADR-avtalen er "Den europeiske avtale om internasjonal vegtransport av farlig gods", som Norge sluttet seg til i 1976.
D&V	Drift og vedlikehold
DSB	Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap
HAZID	Hazard identification – Identifisering av uønskede hendelser/sikkerhetsproblemer
SVV	Statens Vegvesen
TERN	Det transeuropeiske vegnettet (Trans-European Road Network)
TUSI	TUnnelSIkkerhet – programverktøy for beregning av brann- og trafikkulykkesfrekvenser i vegtunneler, utviklet av TØI og VD
TØI	Transportøkonomisk institutt
VD	Vegdirektoratet
VTS	Vegtrafikksentral
ÅDT	Årsdøgntrafikk – gjennomsnittlig antall kjøretøy per døgn
SDT	Sommerdøgntrafikk

1.4 Definisjon av begreper

Akseptkriterier for risiko	Kriterier basert på forskrifter, standarder, erfaring og/eller teoretisk kunnskap som legges til grunn for beslutninger om akseptabel risiko. Akseptkriterier for risiko kan uttrykkes med ord eller tall.
Analyseobjekt	Vegsystemet bestående av tekniske, organisatoriske, miljømessige og menneskelige faktorer som omfattes av risikoanalysen.
Barrierer	Tiltak og funksjoner som er planlagt for å bryte et spesifisert uønsket hendelsesforløp.

Beredskap	Omfatter alle tekniske, operasjonelle og organisatoriske tiltak som hindrer at en fare utvikler seg til en ulykke eller reduserer skadevirkningene av en ulykke.
Beslutningskriterier	Kriterier som har innvirkning på beslutninger som skal tas, for eksempel akseptkriterier for risiko, økonomiske kriterier, tilgjengelig tid og hva som er politisk akseptabelt.
HAZID-samling	HAZard IDentification – fareidentifikasjon som foregår gjennom en tverrfaglig gruppeprosess
Eksplosjon	En eksoterm kjemisk prosess som, når den forløper ved konstant volum, vil forårsake en meget hurtig og betydelig trykkøkning.
Konsekvens	Mulig følge av en uønsket hendelse. Konsekvenser kan uttrykkes med ord eller som en tallverdi for omfanget av skader på mennesker, miljø eller materielle verdier.
Konsekvensanalyse	Systematisk fremgangsmåte for å beskrive og/eller beregne mulige skadeomfang på mennesker, miljø eller materielle verdier som følge av uønskede hendelser.
Risiko	Uttrykk for den fare som uønskede hendelser representerer for mennesker, miljø eller materielle verdier. Risikoen uttrykkes ved sannsynlighet for og konsekvenser av uønskede hendelser.
Risikoanalyse	Systematisk bruk av tilgjengelig informasjon for å kartlegge farer og vurdere risiko.
Risikobilde	Samlet presentasjon av risiko ved de ulike elementene i et system.
Risikoreduserende tiltak	Tiltak med sikte på å redusere sannsynlighet for og/eller konsekvens av uønskede hendelser.
Trafikksikkerhetstiltak	Alle tiltak som har til hensikt å begrense ulykker og skader i vegtrafikken.
Uønsket hendelse	Hendelse eller tilstand som kan medføre skader på mennesker, miljø eller materielle verdier.

2 Risikoanalyse – felles prinsipper

2.1 Avklaringer

For alle vegtunneler lengre enn 500 meter er det krav om at det skal gjennomføres en risikoanalyse. Kravet er beskrevet i Hb 021 kapittel 607 Beredskapsplan. Denne risikoanalysen skal også inneholde en vurdering av behovet for å innføre restriksjoner på transport av farlig gods. Dersom det for kortere tunneler dokumenteres forhold som kan gi økt risiko skal det også gjennomføres risikoanalyser for disse.

Øvrige krav til risikoanalyser er gitt i Hb 021, Hb 269, FOBTOT, samt i retningslinjer for saksbehandling ved brannsikring av vegtunneler.

Det skal også foretas risikovurderinger og eventuelt nytte/kostnadsanalyser, i de tilfeller brannvernmyndighetene finner grunn til å kreve sikkerhetstiltak utover det som er fastsatt i Hb 021.

2.2 Hvorfor gjennomføre en risikoanalyse?

En risikoanalyse gjennomføres for å kunne ta bevisste beslutninger med hensyn til sikkerhet og ikke for å tilfredsstille et krav i regelverket. Det er viktig å definere hensikten med å gjennomføre risikoanalysen og hva resultatene skal brukes til før risikoanalysen igangsettes: Hvilke beslutninger skal risikoanalysen gi grunnlag for å ta vil være viktig å avklare.

En risikoanalyse vil alltid måtte baseres på erfaringer og en rekke forutsetninger. De vil således aldri kunne gi ”sannheten”, men vår beste faglige vurdering. Det vil derfor være viktig å dokumentere alle forutsetninger og vurderinger som er gjort i analysefasen.

Risikoanalyser skal være et positivt bidrag til å gjøre tunnelene så sikre som mulig. De må ikke brukes til å bortforklare behov for utstyr eller løsninger, men til å finne alternative løsninger og tekniske bytter som gjør tunnelene sikrere.

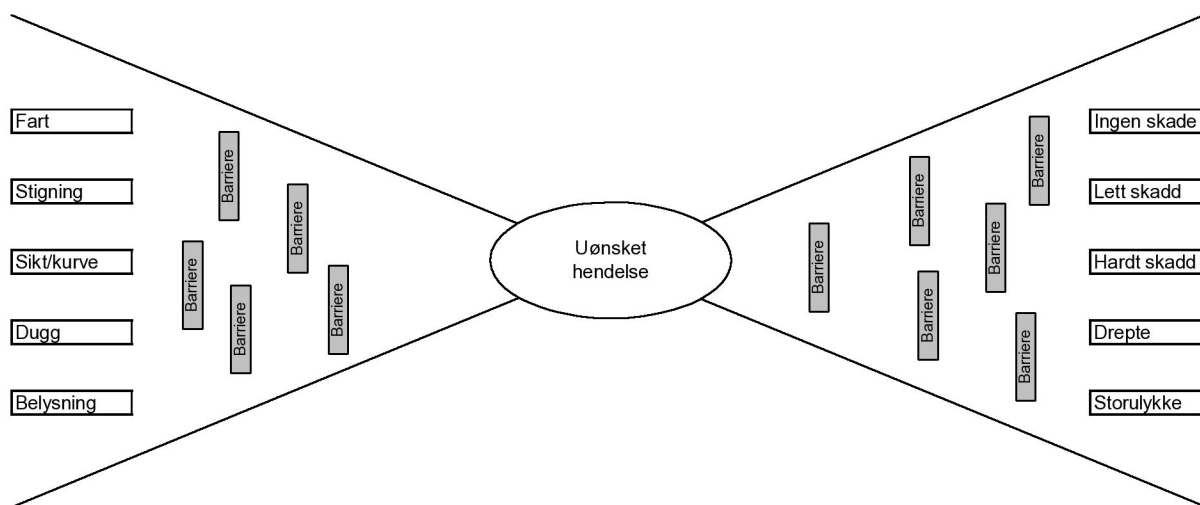
2.3 Hvem kan gjennomføre risikoanalyser?

I prinsippet skal den som gjennomfører risikoanalysen være uavhengig i forhold til prosjektet. Hvorvidt en person er uavhengig/habil eller ikke kan være vanskelig å avgjøre. Konsulenter vil normalt være å anse som uavhengige dersom de ikke er engasjert i prosjekteringen. Prosjektgruppen eller representanter for prosjektet må anses som inhabile, men må selvsagt kunne bidra med opplysninger om prosjektet og ellers stå til rådighet for de som gjennomfører analysen. Uavhengighet bør vurderes i hvert tilfelle, men vi vil gå ut fra at personer fra en annen avdeling eller region i forhold til distriktet vil være uavhengig.

2.4 Hva skal en risikoanalyse kartlegge?

Risikoanalysen skal belyse risikobildet, dvs. identifisere uønskede hendelser/ulykker, årsaker og mulige konsekvenser med tilhørende sannsynlighet. Hvordan dette gjøres, avhenger av hvilken metode som benyttes og hva resultatene skal brukes til, men hensikten er hele tiden den samme; å få en best mulig forståelse av risikobildet.

Figur 1 er en illustrasjon på det risikobildet en risikoanalyse skal prøve å belyse. I midten av figuren er den uønskede hendelsen plassert. Risikoanalysen skal søke å kartlegge alle uønskede hendelser som kan inntreffe i det systemet som skal analyseres. Venstre side av figuren illustrerer årsaksbildet som leder opp til den uønskede hendelsen. Årsaksbildet kan være komplisert der flere faktorer spiller sammen.



Figur 1 Risikobildet som risikoanalysen skal belyse

Høyre side i figuren illustrerer utviklingen av en hendelse. En hendelse kan utvikle seg på mange forskjellige måter, avhengig av sikkerhetsutstyr, hvor i tunnelen hendelsen skjer, værforhold, tid på døgnet osv. På venstre side er barrierer som skal hindre den uønskede hendelsen og på høyre side er barrierer som skal hindre at den uønskede hendelsen medfører alvorlige konsekvenser. Dette er henholdsvis ulykkesforebyggende og skadereduserende tiltak.

2.5 Uønskede hendelser¹

I gjennomsnitt registreres det ca 1300 uønskede kjøretøystopp i norske vegtunneler hvert år av Vegtrafikksentralene. Ca 3000 loggførte kjøretøystopp fra perioden 2001-2003 viser at langt de fleste skjer i de lange og høytrafikkerte tunnelene. Fordelingen av lette og tunge kjøretøy med kjøretøystopp er 80/20. Det vil si at tunge kjøretøy med kjøretøystopp er overrepresentert i forhold til andelen tunge kjøretøy i trafikken generelt, som er 10-12%.

De vanligste registrerte årsakene til kjøretøystopp er vist i Tabell 1.

Tabell 1 Fordeling av de oppgitte årsakene til ca 3000 kjøretøystopp i norske vegtunneler

Oppgitt årsak	Prosentandel
Teknisk feil	52%
Drivstoffmangel	20%
Kollisjon med kjøretøy eller tunnelvegg	11%
Gjenstand i kjørebane	8%
Andre oppgitte årsaker	8%
Brann eller branntilløp	1%
Totalt	100%

Lette kjøretøy stopper dobbelt så mange ganger på grunn av drivstoffmangel som tunge kjøretøy, mens tunge kjøretøy stopper dobbelt så mange ganger som lette på grunn av brann eller kollisjon.

De alvorligste personskadene oppstår som regel i branner forårsaket av en kollisjon. Ca 30% av alle branntilløp fører til antennelse og større brannskader på kjøretøyet. I gjennomsnitt er det 10-15 større eller mindre kjøretøybranner i norske vegtunneler hvert år.

2.6 Kriterier for valg av metode

Før en risikoanalyse gjennomføres skal det alltid foreligge en TUSI beregning. Her fastlegges omfanget av uønskede hendelser som personskadeulykker, branntilløp, uønskede kjøretøystopp etc.

For tunneler som avviker fra Hb 021 vil valg av metode være avhengig av sikkerhetsparametere som stigning, lengde, trafikkmengde og type tunnel. Særskilte forhold ved tunnelen kan også påvirke metodevalget, likeså om tunnelen er under planlegging eller i drift. Tidlige planfaser krever ofte mer overordnede analyser enn byggeplan- og driftsfasen. Valg av analysemetode gjøres med utgangspunkt i kriteriene i Tabell 2.

¹ Kilde: Hendelser i vegtunneler, analyse av registreringer i MERKUR utført av de fem Vegtrafikksentralene (Vegdirektoratet 2004)

Tabellen gjelder for alle tunneler med ÅDT over 4000, men for tunnelene på TERN-vegene skal det ikke være stigning over 5%.

Tabell 2 Kriterier for valg av type risikoanalyse som skal gjennomføres

Tunneltype	Stigningsgrad	Lengde i km	TUSI-beregning	Grov risikovurdering	Detaljert risikoanalyse
Ett- og toløps tunneler	0 – 5 %	0,5 – 1,0	X	X	(X)
		1,0 – 5,0	X	X	(X)
		Over 5,0	X	(X)	X
	Over 5 %	0,5 – 1,0	X	X	
		Over 1,0	X	(X)	X
Undersjøiske tunneler	0 – 10 %	Uansett lengde	X	(X)	X
Av- og påkjøringsrampe i tunnel	Uansett stigningsgrad	Uansett lengde	X	(X)	X

X angir hovedvalg av metode, og (X) angir metoder som kan være et nødvendig supplement. Dette betyr at statistiske risikoberegninger skal gjennomføres for alle tunneler lengre enn 500m. For de korteste tunnelene med liten stigning kan dette være tilstrekkelig. For andre tunneler vil de statistiske risikoberegningene fungere som bakgrunnsinformasjon i en større analyse. Grove og ofte kvalitative risikovurderinger gjøres av tunneler med middels lengde og stigning. Detaljerte kvantitative risikoanalyser gjøres av de lengste, bratteste og potensielt farligste tunnelene. Også for disse analysene er det naturlig å starte med en kvalitativ grovanalyse (fareidentifikasjon).

Eksempel på spesielle særtrekk forhold som påvirker valg av risikoanalysemetode:

- Spesielle konstruksjoner (kryssløsninger i eller like utenfor tunnelen, på- og avkjøringsramper i tunnelen). Gjelder også for tunneler kortere enn 500 meter.
- Stigningsgrad mellom 3% og 5%
- Skarp kurvatur
- Lokale klimatiske forhold (eks vann og is i eller rett utenfor tunnelen)
- Andel tungtrafikk > 15%
- Frakt av farlig gods utover det normale (jf. ADR-overenskomsten)
- Høyt fartsnivå i forhold til skiltet hastighet
- Store variasjoner i trafikkmengden over året, uka eller døgnet
- Fotgjengere, syklistene eller mopedister i tunnelen
- Dyr i tunnelen
- Spesielle beredskapsmessige forhold (lang innsatstid, dårlig vanntilgang osv.)
- Tunnelens kompleksitet for trafikantene

Se for øvrig omtale av sikkerhetsparametere i hb 021 side 56.

Eksempel på valg av metode:

Tenk deg at du planlegger å bygge en tunnel på 450 meter med stigningsgrad $<5\%$. I henhold til Tabell 2 er det for denne tunnelen ikke krav til å gjennomføre en risikoanalyse. Du vet at tunnelen er planlagt i et område der det kan forventes mye is og snø ved tunnelmunningen. I tillegg er det planlagt et høyt antall transporter av farlig gods gjennom tunnelen. Denne informasjonen gjør at det vil være naturlig å gjennomføre en risikoanalyse for tunnelen likevel. Hvilken metode som skal brukes må bestemmes ut fra en helhetlig vurdering av tunnelprosjektet. En løsning kan for eksempel være å gjennomføre grov risikovurdering på et tidlig stadium i prosessen for å sortere ut gode alternative løsninger og stille krav til teknisk utrustning og beredskap. Senere kan det eventuelt gjennomføres en detaljert risikoanalyse av spesielle usikkerhetsmomenter.

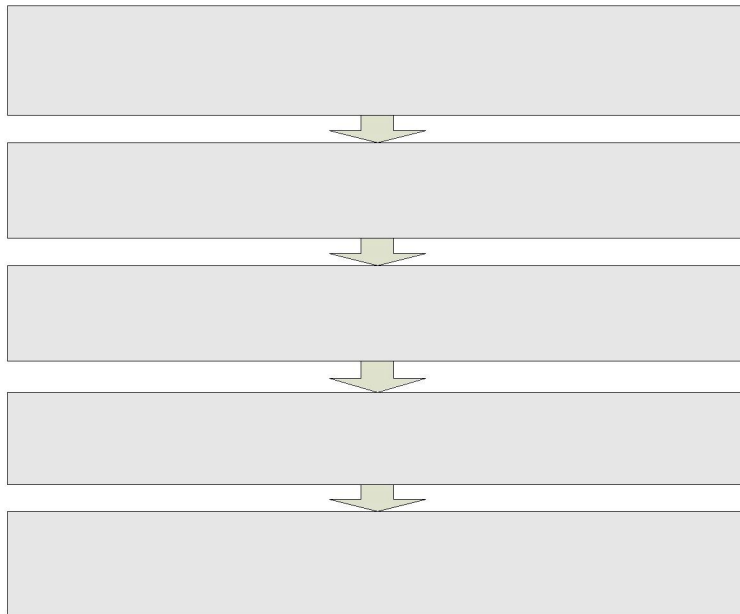
Ofte er det nyttig å gjennomføre en grov risikovurdering som innledning til en detaljert risikoanalyse. En grov risikovurdering gir en oversikt over risikobildet og kan danne et godt grunnlag for å prioritere hva det skal fokuseres på i den detaljerte analysen.

Dette betyr at følgende analyseprosess ofte vil være aktuell:

1. Statistisk analyse ved hjelp av TUSI for å tegne et enkelt risikobilde
2. Grov risikovurdering for å identifisere og prioritere sikkerhetsproblemer, samt foreslå tiltak. Den grove analysen kan vise om det er behov for en mer detaljert analyse.
3. Detaljert risikoanalyse for å studere særskilte problemer

2.7 Gjennomføring av risikoanalysene

Figur 2 viser risikoanalyseprosessen som er beskrevet i *"Veileder for risikoanalyse i vegtrafikken²"*. Figuren beskriver hovedtrinnene i en generell risikoanalyseprosess som brukes på alle områder av Statens Vegvesens virksomhet.



Figur 2: De fem trinnene i risikoanalyseprosessen

Beskrivelsen av grov risikovurdering og detaljert risikoanalyse i kapittel 3 og 4 følger disse fem hovedtrinnene i prosessen.

2.8 Prosesskrav

Trinn 2, 3 og 4 i femtrinnsmodellen over er ofte hensiktsmessig å gjennomføre i en tverrfaglig analysegruppe sammensatt av personer med ulik, men relevant kompetanse. For at prosessen skal bli effektiv bør forarbeid og etterarbeid gjøres i en mindre planleggingsgruppe, eventuelt av den ansvarlige for risikoanalysen internt eller en konsulent. I en grov risikovurdering er ofte den tverrfaglige samlingen hovedaktiviteten i vurderingen.

Detaljerte risikoanalyser bør gjennomføres som en kombinasjon av en tverrfaglig analysegruppe som gjennomfører trinnene 2, 3 og 4 og mer detaljerte/kvantitative studier gjennomført av mindre grupper eller enkeltpersoner internt eller eksternt. I detaljerte risikoanalyser blir den tverrfaglige samlingen bare en av flere informasjonskilder i analysen.

² Vegdirektoratet, 2007

Eksempel på grov risikovurdering:

- Risikoanalysen planlegges av en mindre gruppe på 2-3 personer som har erfaring med risikoanalyser. Disse fremskaffer informasjonen som beskrevet i kapittel 3.1.1. Det må bestemmes hvem som skal være prosessleder i det tverrfaglige analysegruppemøtet.
- Den tverrfaglige analysen gjennomføres typisk i løpet av en heldagssamling. Møtedeltakerne kan for eksempel være medarbeider med erfaring fra planlegging, bygging og drift og vedlikehold av tunneler, vegforvaltning/trafikkteknikk, elektroinstallasjoner i tunneler, trafikkstyring (VTS), trafikantatferd, tunge kjøretøy og trafiksikkerhet generelt. Det er også nyttig med eksterne representanter fra politi, brannvesen og ambulansetjenesten og eventuelt brukerrepresentanter fra bilorganisasjoner og transportselskaper (f.eks busselskap). Deltakelse fra kommunen bør også vurderes. Typisk deltakerantall på heldagssamlingene er 5-10 personer.
- Den mindre gruppen fullfører dokumentasjonen av analysen.

Det er viktig at prosesslederen har kunnskap om risikoanalyser og gruppeprosesser, og stiller godt forberedt.

Arbeid som bør gjennomføres i forkant av det tverrfaglige møtet:

- Beskrive og avgrense analyseobjektet: Er det bare tunnelen som skal analyseres eller hele vegprosjektet tunnelen er en del av, eventuelt tilhørende eksisterende veg i dagen. Nærliggende kryss utenfor tunnelen (innenfor 300 meter) bør tas med i analysen.
- Dele inn systemet i delelementer som tunnelåpning, kurver, midtparti osv
- Synliggjøre delelementene. Dette kan for eksempel gjøres ved hjelp av tegninger eller bruk av Vidkon (sekvens av stillbilder) for eksisterende tunneler.
- Innhente relevante ulykkesdata fra STRAKS ulykkesregister og eventuelle analyserapporter av dødsulykker, sammenlignbare data fra andre tunneler, trafikk tall, fartsmålinger etc.
- Utarbeide foreløpig sjekkliste over mulige uønskede hendelser.
- Fremskaffe kart og profiltegninger
- Gjennomføre statistisk risikoberegning ved hjelp av TUSI
- Kartlegge kompetansebehovet for risikoanalysesamlingen, vurdere tidsbehov og kalle inn til møtet/møtene
- Det bør gjennomføres ventilasjonsberegninger ut fra de krav som fremgår av Håndbok 021, samt utarbeide en beskrivelse av de forutsetningene som er lagt til grunn for beregningene, både for normalsituasjonen og i en brannsituasjon.
- Det bør også utarbeides en beskrivelse for hvordan ventilasjonsanlegget er forutsatt styrt og regulert i aktuelle scenarier, ut fra valgte beredskapsopplegg.

Eksempel på detaljert risikoanalyse:

- En mindre gruppe av personer som har erfaring med risikoanalyser vurderer hva som skal være fokus i den detaljerte analysen ut fra hensikten med den og avklarer dette med oppdragsgiver for analysen. Ofte er det nyttig å bruke resultatene fra en tidligere grov risikovurdering i planleggingen av den detaljerte analysen. Det utarbeides en spesifisering av fremgangsmåten som skal legges til grunn for den detaljerte risikoanalysen.

- Risikoanalysen gjennomføres i henhold til bestilling og krav i håndbøker etc..
- Planleggingsgruppen sjekker at utførelsen er i henhold til spesifikaasjon, vurderer resultatene og legger dem frem for oppdragsgiver/beslutningstager. Det må være rutiner for oppfølging av risikoanalysen for å sikre at den blir gjort kjent for alle beslutningstakere og vektlagt i beslutningene som tas.

3 Grov risikovurdering

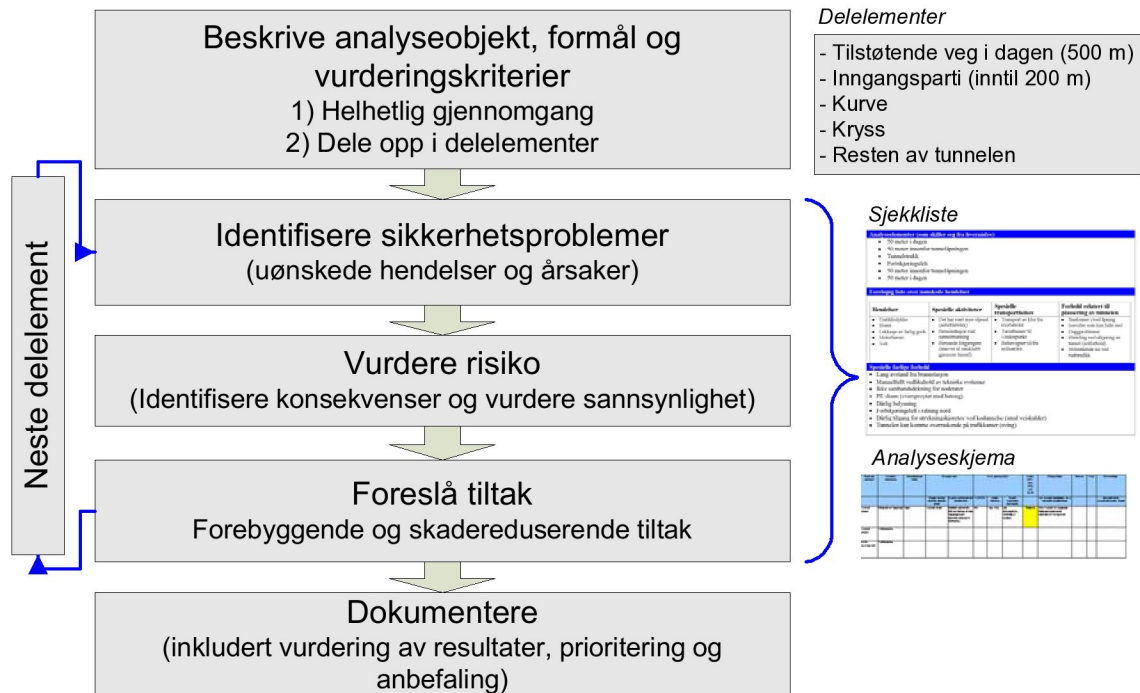
Anbefalt fremgangsmåte for grov risikovurdering er beskrevet i dette kapittelet. Det er en prosessorientert metode med involvering av en gruppe med tverrfaglig kompetanse. Det gjennomføres først en helhetlig gjennomgang der man ser på gjennomgående forhold ved hele tunnelen og så deles tunnelen inn i ulike elementer (inngangspart, midtparti, kurver etc). Både for hele tunnelen og hvert element identifiseres sikkerhetsproblemer; hvilke uønskede hendelser som kan inntreffe og hvilke forhold som bidrar til dette. For hvert sikkerhetsproblem vurderes risiko dvs. hvor ofte den uønskede hendelsen antas å inntreffe (sannsynlighet eller frekvens) og hva konsekvensene kan bli. Deretter foreslås risikoreducerende tiltak som enten reduserer antall hendelser eller konsekvensene av hendelsene.

De ulike trinnene i figuren, samt krav til prosessen som skal gjennomføres, er beskrevet i Kapittel

Figur 3 viser prinsippene for hvordan en grov risikovurdering gjennomføres. Trinn 2, 3 og 4 bør ses i sammenheng og kan gjerne gjennomføres i løpet én HAZID-samling (tverrfaglig risikoanalyse møte). Trinn 1 og 5 kan gjøres separat av en mindre gruppe eller enkeltperson, jf. Kapittel 2.8.

En grov risikovurdering som gjennomføres i forkant av en detaljert risikoanalyse brukes til å bestemme hva som skal prioriteres i den detaljerte analysen.

Figur 3 Gjennomføring av grov risikovurdering/HAZID samling



3.1 Beskrive analyseobjekt, formål og vurderingskriterier

3.1.1 Beskrive analyseobjekt

Det første trinnet i Figur 3 gjennomføres i forkant av HAZID-samlingen. Første aktivitet i dette trinnet er å beskrive og avgrense analyseobjektet; hva som skal analyseres (kun tunnel eller også nærliggende kryss/rundkjøringer og eventuell omkjøringsveg). Deretter gjøres en helhetlig gjennomgang av analyseobjektet der man ser på gjennomgående trekk ved hele tunnelen (eks tunnelprofil, teknisk utrustning, trafikkmengder osv). Deretter deles analyseobjektet inn i naturlige delementer, som for eksempel:

- Tilstøtende veg i dagen (inntil 500 meter)
- Eventuelle kryss
- Inngangsparti (inntil 200 meter)
- Kurver
- Resten av tunnelen
- Eventuelt alternativ rute for spesielt farlig gods

For hvert enkeltelement vurderes spesielle særtrekk som er spesifikt for elementet (f.eks stigning, fartsnivå osv) – se kapittel 2.5.

Det kan også være aktuelt å vurdere omkjøringsvegen som ett element, i og med at denne vegen blir sentral dersom tunnelen stenges. Også tilstøtende kryss og rundkjøringer er aktuelle å inkludere dersom de for eksempel kan medføre fartsendring eller kø inne i tunnelen.

3.1.2 Formål med risikoanalysen

Gjennom analysen må det avdekkes om det finnes spesielle forhold ved tunnelen som kan gi spesielt høyt risikonivå. Her vil også eventuelle krav fra brannvesenet utover Hb 021 etc. måtte vurderes.

Formålet er å avdekke om tekniske bytter/kompenserende tiltak gir minst like høyt sikkerhetsnivå for tunnelen som om det ikke hadde vært fravik eller spesielle særtrekk. En risikoanalyse kan også benyttes til å vurdere og sammenligne flere alternative løsninger i planfasen eller alternative tiltak i driftsfasen.

3.1.3 Beslutningskriterier

For at risikovurderingene skal være i tråd med overordnede sikkerhetsmål for virksomheten må det vurderes om risikonivået ligger innenfor rammen av hva som er teknisk og økonomisk mulig å oppnå.

Resultatene fra risikoanalysen presenteres typisk som forskjell i antall drepte og hardt skadde ved forskjellige tunnelløsninger og tiltak. Valg av endelig løsning kan da gjøres med utgangspunkt i fire ulike kriterier:

- *Endring i risiko*; dvs. en vurdering av hvor stor risikoreduserende effekt ulike alternativer til nullalternativet har eller hvilken effekt ulike risikoreduserende tiltak har. Dette kan være kvantifisert ved en tallverdi eller det kan være kvalitative vurderinger der risiko beskrives og rangeres i ulike kategorier (for eksempel høy,

middels, lav). Her velges typisk det sikreste alternativet eller mest effektive tiltaket basert kun på nytteverdi (reduksjon i antall drepte eller hardt skadde)

- *Kostnadseffektivitet*; I kostnadseffektivitetsanalysen beregnes forventet kostnad i kroner per forventet sparte liv eller hardt skadd som følge av valg av løsning eller iverksettelse av tiltak. Den mest kostnadseffektive løsningen eller tiltaket blir valgt.
- *Grensekostnad = grensenytte*. Dette prinsippet kan brukes for å vurdere hvor mye man skal investere i risikoreduksjon. Grensenytten kan måles i den statistiske verdien av et tapt liv eller en hardt skadd (eller et sammenveid mål). Man skal da investere i sikkerhet til kostnaden er like stor eller overskrider verdien av ett liv og/eller hardt skadd. Dette kan sette en grense mellom alternative løsninger i planfasen for hvilke som er sikkerhetsmessig lønnsomme og hvilke risikoreduserende tiltak som skal implementeres.
- *Nytte-kostnadsanalyse*: I en fullstendig Nytte-kostnadsanalyse verdsettes alle effektene av et tiltak i kroner. Kroneverdiene brukes så til å veie betydningen av de ulike konsekvensene opp mot hverandre. Dersom den beregnede forventede verdien av alle konsekvensene ved et tiltak blir positiv er tiltaket samfunnsøkonomisk lønnsomt. Nytte-kostnadsanalyse er beskrevet i Håndbok 140 – Konsekvensanalyser.

3.1.4 Nullvisjonens krav til et sikkert vegsystem

I tråd med nullvisjonen skal nye vegger utformes ut fra menneskets forutsetninger og ha barrierer mot feilhandlinger og alvorlige konsekvenser av disse. feilhandlinger. Det betyr at:

- Vegens utforming skal *lede til sikker atferd*. Løsningene skal være *logiske og letteste* for trafikantene og redusere sannsynligheten for feilhandlinger. Veggen skal gi trafikantene nødvendig informasjon uten å være stressende. Veggen skal *invitere* til ønsket fart gjennom linjeføring, utforming og fartsgrenser. Det skal være enkelt å handle riktig og vanskelig å handle feil.
- Vegens utforming skal beskytte mot *alvorlige konsekvenser av feilhandlinger*. Veggen skal ha beskyttende barrierer som tilgir en feilhandling. Fartsnivået skal være tilpasset vegens sikkerhetsnivå og menneskets tåleevne.

Disse to hovedpunktene fokuserer på hver sin del av Figur 1, det vil si på å redusere sannsynligheten for en uønsket hendelse og å redusere konsekvensene av disse. De kan brukes som hjelp til å identifisere sikkerhetsproblemer og vurdere risiko ved disse i analysen. Et eksempel på dette er vist i Vedlegg 1, basert på ”Vurdering av ulykkesrisiko ved ny Rv. 7 Sokna – Ørgenvika”.

Nullvisjonens krav må ses på som en tilleggsvurdering utover kravene i håndbok 021, som i utgangspunktet er i tråd med nullvisjonen. Ved denne tilleggsvurderingen kan man imidlertid optimalisere løsningene sikkerhetsmessig utover minimumskravene i håndboka.

3.2 Identifisere sikkerhetsproblemer

3.2.1 Foreløpig liste over typiske uønskede hendelser

Prosessen med å identifisere sikkerhetsproblemer kan starte helt åpent eller med å gå gjennom en foreløpig liste over uønskede hendelser utarbeidet i forkant av HAZID-samlingen. Deretter identifiseres eventuelle andre uønskede hendelser.

I Tabell 3 er det presentert en liste over uønskede hendelser som kan brukes som et utgangspunkt for identifikasjonen av sikkerhetsproblemer.

Tabell 3 Liste over typiske uønskede hendelser, med eksempel

Elementer		
<ul style="list-style-type: none"> Tilstøtende veg i dagen (inntil 500 meter) Inngangsparti (inntil 200 meter) Kurve 	<ul style="list-style-type: none"> Kryss Resten av tunnelen 	
Liste over uønskede hendelser		
Uønskede hendelser	Varianter	
1. Trafikkulykke	a) Moteulykke	Lette kjøretøy Lett mot tungt kjøretøy Tunge kjøretøy
	b) Påkjøring bakfra	Lette kjøretøy Lett kjøretøy påkjørt av tungt
	c) Påkjøring av myke trafikanter	Etter motorhavari for eksempel
	d) Utforkjøring	Vegg, bankett, portal, havarilomme etc.
	e) Feltskifteulykke	
2. Brann	a) Liten brann (5 MW)	Brann i lett kjøretøy
	b) Stor brann (> 20 MW)	Brann i tungt kjøretøy
3. Lekkasje av farlig gods	a) Drivstoff	
	b) Giftige stoffer	
4. Kjøretøystans	a) Lette kjøretøy	
	b) Tunge kjøretøy	
5. Velt	a) Buss	Særlig høye busser, bobiler og tilhengere med høyt tyngdepunkt
	b) Annet tungt kjøretøy	
Spesielle farlige forhold	Sikkerhetsparametere	
<ul style="list-style-type: none"> Snøfonner i/ved åpning Issvuller på bakken Istapper som kan falle ned Duggproblemer Blending ved utkjøring av tunnel (solforhold) Mangelfullt vedlikehold av tekniske systemer Dårlig belysning Forbikjøringsfelt etc. Dårlig tilgang for utrykningskjøretøy ved kødannelse Ulogisk beliggenhet (etter kurve) Fallende gjenstander Myke trafikanter (fotgjengere, syklistler) Kjent problem med oljesøl Høy andel tunge kjøretøy Utbredt transport av farlig gods Mye busstrafikk Mye motorsykeltrafikk Komplisert trafikkbilde (skilt etc.) Fartsvariasjon (saktegående kjøretøy) Gjenstander i vegbanen Bratt stigning Mange rapporterte ulykker og nestenulykker Ikke sambandsdekning for nodetater PE-skum Vanninntrengning Strømbrudd 	<ul style="list-style-type: none"> Tunnellengde Antall løp Antall kjørefelt Tverrsnittgeometri Vertikal og horisontal profil Konstruksjonstype Enveis- eller toveistrafikk Trafikkvolum per løp (herunder fordeling i tid) Risiko for trafikkork (per døgn eller sesongbestemt) Atkomsttid for redningstjenestene Nærvær og prosentandel av tunge lastebiler Særtrekk ved atkomstveiene Kjørefeltbredde Hastighetsaspekter Geografisk og meteorologisk miljø 	

Det er viktig å se på tabell 3 som en foreløpig liste over uønskede hendelser. Målet med identifikasjonen av sikkerhetsproblemer er å gjennomføre en idédugnad der spesifikke risikofaktorer for den aktuelle tunnelen skal identifiseres.

3.2.2 Bruk av sjekkliste

Tabell viser også et eksempel på en sjekkliste som kan brukes i analyseprosessen for å kartlegge uønskede hendelser og mulige årsaker til disse. Den øverste delen i sjekklisten viser de ulike elementene i tunnelen. Den andre delen viser listen over uønskede hendelser i Tabell . Den tredje delen viser spesifikke farlige forhold som kan brukes ved vurdering av mulige årsaker til de uønskede hendelsene. Sjekklisten må utvides etter hvert som nye aktiviteter, transportbehov og farlige forhold oppdages.

Eksempel på hvordan sjekklisten kan brukes:

- Analyseobjektet deles i elementer og legges inn i øverste del av sjekklisten. Prosesslederen presiserer hvilket element som til enhver tid er i fokus.
- For hvert element identifiseres og diskuteres uønskede hendelser og mulige årsaker. Som et minimum skal hendelsene i del 2 av sjekklisten dekkes.
- Det kontrolleres til slutt at ingen relevante punkter på den nedre delen av sjekklisten er uteglemt fra diskusjonen.
- Deretter fortsetter analysen på neste element.

Årsaksanalysen baseres delvis på sjekklisten i tabell 3 og delvis på en strukturert diskusjon blant deltakerne. Hensikten med årsaksanalysen er å identifisere risikofaktorer og mulige risikoreducerende tiltak.

3.3 Vurdere risiko

3.3.1 Konsekvens- og sannsynlighetsvurdering

Risikovurderingen består av å vurdere mulige konsekvenser av de identifiserte sikkerhetsproblemene og tilhørende sannsynligheter. Gjennom denne prosessen kartlegges risikobildet, jf tabell 4 som viser et eksempel på analyseskjema utarbeidet i MS Excel.

Tabell 4 Eksempel analyseskjema

Del-element	Sikkerhetsproblemer			Risikovurdering		Kommentar	Risiko	Mulige tiltak	Kommentar
		Uønsket hendelse	Årsak	Konsekvens	Sannsynlighet/frekvens				
Mellom inngangssonene	Trafikkulykke	Møteulykke	Snur i tunnel pga kø, røyk, eksos etc. Innkjøring i feil løp	1-3 drepte	En gang per 11 til 100 år	Kan også føre til hardt skadde	Høy	Skilting ved kjøring i feil retning	
Mellom inngangssonene	Trafikkulykke	Påkjøring bakfra	Saktegående kjøretøy	Lettere skadd	Minst en gang per år		Lav	Deteksjon av saktegående kjøretøy	
Forbi-kjøringsfelt	Trafikkulykke	Feltskifteulykke	Havari, fartsvariasjon, lysforhold, vegoppmerking	Hardt skadd	En gang per 2 til 10 år		Middels	Deteksjon av saktegående kjøretøy	
Hele tunnelen	Brann	Brann i buss	Teknisk feil, kollisjon, antent	10 drepte	Sjeldnere enn hvert 1000. år	Usikkerhet om konsekvens ved brann	Middels	Slokkeutstyr, ventilasjon	Vurderes nærmere i detaljert analyse

Forklaring på kolonnene i tabellen:

Delelement: De ulike delene som tunnelen ble delt inn i, jf. tabell

- **Sikkerhetsproblemer:** Vurdering av uønsket hendelse og årsaker. Det tas utgangspunkt i sjekklister i tabell 3..
- **Risikovurdering:** Konsekvensklasser og sannsynlighetsklasser (se under).
- **Kommentar:** Andre relevante opplysninger som er viktige for risikovurderingen. Pass spesielt på å logge informasjon dersom hendelsen kan plottes i ulike konsekvenskategorier
- **Risiko:** Vurdering av risiko ut fra kombinasjonen av konsekvensvurderingen, sannsynlighetsvurderingen og andre relevante faktorer, for eksempel mulighet for alvorlige konsekvenser (for eksempel mer enn 20 drepte).
- **Mulige tiltak:** Liste over forebyggende og skadereduserende tiltak.

Pass på å dokumentere mest mulig fullstendig i analyseskjemaet. Det er viktig å være klar over at det er ikke bare kategoriseringen av konsekvens og sannsynlighet som er målet med den grove risikovurderingen. Forutsetninger og antagelser for scenariene, muligheten for ulike konsekvenser etc. er like viktig.

Hvis ønskelig kan prosjektør brukes for å skape enighet om konklusjonene. Et tekstdokument kan brukes som et alternativ til et analyseskjema. Uansett hvilken metode som benyttes er det viktig å få med alle elementene fra vurderingene. Dette sikrer at vurderingene er etterprøvbare og at det senere kan undersøkes eksakt hvilke scenarier analysegruppen

vurderte og hvilke risikovurderinger som ble gjort. Dersom analysen baserer seg på et tekstdokument kan følgende sjekklister være til hjelp:

- Delelement
- Sikkerhetsproblemer
 - Uønskede hendelser
 - Årsaker/risikofaktorer
- Eksisterende tiltak/ foreslått løsning eller plan
- Risikovurdering
 - Konsekvensvurdering
 - Sannsynlighet/frekvensvurdering
 - Mulighet for ulike konsekvenser, potensiale for mange drepte
 - Rangering av sikkerhetsproblemer
- Mulige tiltak og anbefaling
- Beskrive forhold som må analyseres nærmere i en detaljrisikoanalyse

I kategoriseringen av sikkerhetsproblemer i den grove risikovurderingen kan for eksempel følgende konsekvenskategorier benyttes:

- Lettere skadd
- Hardt skadd
- 1 – 4 drepte
- 5 – 20 drepte
- Mer enn 20 drepte

Sannsynlighet kan for eksempel deles inn i:

- Svært ofte (minst en gang per år)
- Ofte (en gang per 2 til 10 år)
- Sjelden (en gang per 11-100 år)
- Svært sjelden (en gang per 101 til 1000 år)
- Ekstremt sjelden (sjeldnere enn hvert 1000. år)

I mange tilfeller er det mulig å plassere en hendelse i flere konsekvenskategorier. Se for eksempel hendelsen *brann i buss* i

. En bussbrann kan resultere i alt fra ingen skadde (med høy sannsynlighet) til titalls omkomne (med lav sannsynlighet). Hva skal da legges inn i analyseskjemaet? Dette er en vurdering som analysegruppen må gjøre. Det er viktig å få frem i skjemaet hvilke forutsetninger som er gjort og at det er mulig å vurdere hendelsen på ulike måter. Dette viser at tekstbeskrivelsen er minst like viktig som selve konsekvens- og sannsynlighetsvurderingen.

Det beste er om analysegruppen angir sannsynlighet/frekvens for ulike mulige utfall av den uønskede hendelsen, dvs. en frekvens/sannsynlighet for lettere skadd, en for hardt skadd, en for 1-4 drepte etc. Da får vi et best mulig bilde av hvilke konsekvenser som er mulige og hvor sannsynlige de er.

En alternativ fremgangsmåte er å velge en representativ konsekvens, noe som betyr at en konsekvensklasse representerer flere konsekvensklasser. Da må utfallsrommet dokumenteres i kommentarfeltet. Ulempen med denne løsningen er at vi får et lite helhetlig bilde av hva som kan skje. I tillegg oppstår det et problem når sannsynligheten skal angis. Tenk for eksempel på en hendelse som både kan medføre lettere skadde og drepte. Hvis vi bruker drepte som representativ konsekvens blir det feil å koble både sannsynligheten for lettere skadde og drepte med konsekvensen drepte. Men det blir også feil å bare ta med drepte og tilhørende sannsynlighet, i og med at vi da ser bort fra muligheten for skadde. Dette understreker hvor viktig det er å være tydelig på å dokumentere hva som er tenkt i analysen.

Det er viktig at prosesslederen forstår problemstillingen beskrevet over, slik at det er gjennomtenkt hvilke sannsynligheter/frekvenser og konsekvenser som settes sammen. Ved bruk av hendelsestrær oppstår ikke problemet fordi metoden ”automatisk” skiller mellom sannsynlighet/frekvens for den uønskede hendelsen og sannsynlighet/frekvens for ulike konsekvenser. Se for øvrig beskrivelsen av hendelsestreanalyse i Kapittel 4.3.1.

TUSI kan brukes som et utgangspunkt når sannsynligheten skal vurderes. Analysegruppen må også ha muligheten for svært alvorlige konsekvenser i tankene, som for eksempel i Mont Blanc-ulykken, det vil si ulykker som hittil ikke har skjedd i Norge. Sjeldnere enn hvert 100. år kan være vanskelig å forholde seg til.

3.4 Foreslå tiltak eller endringer

3.4.1 Identifisere mulige tiltak

Dersom den grove risikovurderingen gjøres som første fase i en etterfølgende detaljert analyse, kan det vurderes å gjennomføre tiltaksanalysen som en del av den detaljerte analysen.

Risikoreduserende tiltak kan enten være ulykkesforebyggende eller skadereuserende. Eksempler i den første kategorien er bredt midtfelt med freste striper eller midtrekkverk, i og med at de motvirker at trafikkulykken skjer. Eksempler på skadereuserende tiltak er deteksjons- og varslingssystemer. Skadereuserende tiltak kalles også beredskapstiltak. Merk at alle skadereuserende tiltak regnes som beredskap, ikke bare innsats fra beredskapsetatene.

Det er i utgangspunktet krav til en rekke forebyggende og skadereuserende tiltak i håndbok 021. Når tiltak i risikoanalysen vurderes kan hensikten være å:

- Identifisere hvilke tiltak som i utgangspunktet er påkrevd
- Vurdere krav som vil ha begrenset nytte, og derfor kan være unødvendige
- Vurdere om enkelte tiltak kan erstattes av andre (teknisk bytte)
- Vurdere ytterligere tiltak

Det er ofte ikke hensiktsmessig å gå detaljert inn på tiltak for *alle* uønskede hendelser, men fokusere på hendelsene med størst risiko. Tiltakene som foreslås kategoriseres ut fra om de er forebyggende eller skadereuserende. Dersom det skal gjennomføres en beredskapsanalyse vil de skadereuserende tiltakene være viktig input til denne analysen.

3.4.2 Vurdering av mulige tiltak

Utfordringen er å måle effekten av de ulike tiltakene opp mot hverandre. Dette kan gjøres ved å vurdere:

- Hvor mye vil sannsynligheten for en uønsket hendelse reduseres?
- Hvor mye kan konsekvensene eller skadeomfanget reduseres?

Dette må sees i sammenheng med beslutningskriteriene, jf. Kapittel 3.1.

3.5 Dokumentere

3.5.1 Vurdere resultater

Dokumentasjon av risikovurderingene er en fortløpende prosess som kan gjøres på flere måter, for eksempel i en analysetabell eller ved å skrive inn i et tekstdokument. Uansett om det brukes en tabell eller et tekstdokument kan en risikomatrix brukes til å illustrere risikoen, slik at de ulike sikkerhetsproblemene kan sammenlignes. Et eksempel på en slik matrix er vist i figur 4. En risikomatrix brukes først og fremst som et presentasjonsverktøy, ikke som et analyseverktøy³. Merk at fargene i figuren er brukt for å nyansere risikobildet, og må ikke forveksles med risikoakseptkriterier.

Figur 4 Eksempel på risikomatrix

Svært ofte (minst en gang per år)					
Ofte (en gang per 2 til 10 år)					
Sjelden (en gang per 11-100 år)		2	1a		
Svært sjelden (en gang per 101-1000 år)				1b	
Ekstremt sjelden (sjeldnere enn hvert 1000. år)					
	Lettere skadd	Hardt skadd	1-4 drepte	5 – 20 drepte	Mer enn 20 drepte

1a) Bussulykke med 1-4 drepte

1b) Bussulykke med 5-20 drepte

2) Feltskifteulykke

Fargekodene angir en vurderingsskala for risiko og kan tolkes slik:

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

Eksempelet med fargekoder viser til å rangere de uønskede hendelsene, og som støtte til å vurdere hvilke uønskede hendelser som bør vurderes nærmere i analysen med hensyn på

³ Det er flere grunner til at risikomatriksen ikke er egnet som et analyseverktøy: For det første gjør bruken av tilnærmet logaritmisk skala på sannsynlighet, men ikke på konsekvens at risikoreduksjon ett sted i matriksen ikke kan sammenlignes med risikoreduksjon et annet sted i matriksen. For det andre; dersom en uønsket hendelse plottes som *ett* punkt i matriksen vil ikke spekteret av mulige konsekvenser komme godt nok frem.

risikoreducerende tiltak. Endelige beslutninger om hvilke tiltak som skal innføres bestemmes *ikke* ut fra risikomatriksen, men ut fra beslutningskriteriene i Kapittel 3.1.3.

3.5.2 Prioritering og anbefaling

Vanligvis benyttes risikoanalysen som underlag når problemer skal sammenlignes og tiltak skal prioriteres. Dette brukes deretter som underlag opp mot beslutningskriteriene, jf. Kapittel 3.1.

4 Detaljert risikoanalyse

Det forutsettes at det alltid gjennomføres en grov risikovurdering i forkant av en detaljert risikoanalyse. Identifikasjon av sikkerhetsproblemer som er gjennomført i den grove risikovurderingen vil også være relevant for den detaljerte analysen og trenger derfor ikke gjentas.

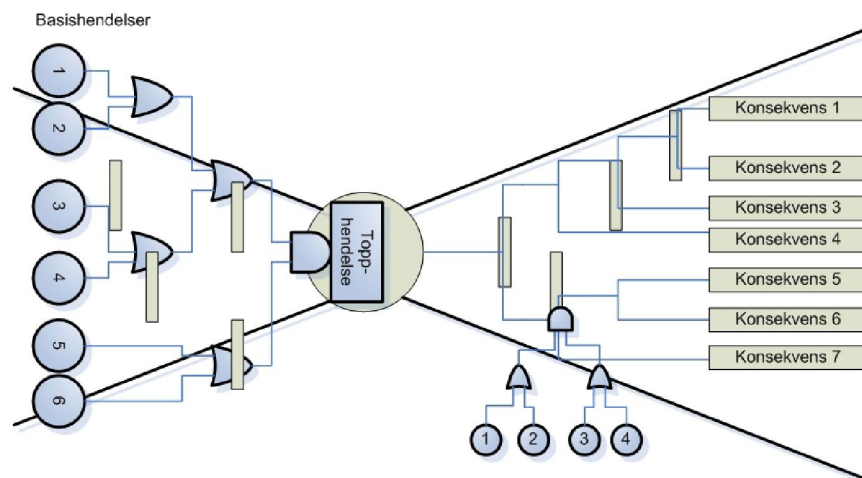
Dette kapitlet gir en generell veiledning i detaljerte risikoanalyser. Den er delvis basert på rapporten "Bruk av risikoanalyser i planlegging og drift av vegtunneler" (Nilsen og Njå, 2004). I og med at eksterne konsulenter kan benyttes, og at disse konsulentselskapene har ulike verktøy, er det ikke hensiktsmessig å gi en detaljert kokebok på hvordan analysene skal gjennomføres. Konsulentselskapene må ha en viss frihet i hvordan analysene skal gjennomføres. Innholdet i dette kapitlet angir derfor prinsippene som skal legges til grunn for de detaljerte analysene uten å gå inn på analysemetodene i detalj.

Når beskrivelsen av risikoanalysen som skal gjennomføres blir utformet er det naturlig å legge resultatene fra den grove risikovurderingen til grunn.

Siden feiltreanalyse og hendelsestreanalyse er velkjente og anerkjente analysemetoder er disse brukt som eksempler i dette kapitlet. Men det presiseres at andre metoder også kan benyttes, for eksempel Bayesianske nettverk. Denne veilederen gir kun en kort innføring i feiltre- og hendelsestreanalyse. Det henvises til faglitteratur for utfyllende informasjon om disse risikoanalyseteknikkene.

Figur 5 viser hvordan den detaljerte risikoanalysen kan gjennomføres ved å bruke feiltrær i årsaksanalysen og ved analyse av skadereduserende barrierer, og ved å bruke hendelsestrær i konsekvensanalysen. Figuren er en variant av Figur 1 der den uønskede hendelsen er plassert i midten, venstre side angir årsakene som kan føre til den uønskede hendelsen, og høyre side angir mulige konsekvenser.

Figur 5 Eksempel på kombinert feiltre- og hendelsestreanalyse



Denne typen omfattende analyser vil være ressurskrevende å gjennomføre for mange uønskede hendelser og barrierer. Dette understreker viktigheten av å prioritere problemene og ressursbruken gjennom den grove risikovurderingen. Det gjelder å først kartlegge og få oversikt over sikkerhetsproblemer før prioriteringen av hvilke problemer som skal studeres i detalj.

4.1 Beskrive analyseobjekt, formål og vurderingskriterier

4.1.1 Planlegging av analysen

Som for den grove risikovurderingen er det viktig å tenke nøye gjennom hvorfor risikoanalysen gjennomføres og hva resultatene skal brukes til. Det er viktig å legge tilstrekkelig vekt på planleggingen av analysen.

Den grove risikovurderingen som allerede er utført gir oss verdifull informasjon som kan brukes i planleggingen av den detaljerte analysen. Relevante spørsmål i den sammenheng er:

- Må det gjennomføres en ny identifikasjon av sikkerhetsproblemer, eller er den som allerede er gjennomført i den grove risikovurderingen tilstrekkelig?
- Hvilke sikkerhetsproblemer skal analyseres i detalj? Hvilke trenger vi ikke å ta med i den detaljerte analysen?
- Skal det gjøres en detaljert årsaksanalyse? For hvilke hendelser? Skal i så fall årsaksanalysen kvantifisere sannsynlighet/frekvens for enkelte uønskede hendelser?
- Skal det gjøres en detaljert konsekvensanalyse? For hvilke hendelser?
- Skal det gjennomføres detaljerte/kvantitative konsekvensberegninger? (for eksempel brannsimuleringer)
- Skal sensitivitetsanalyser gjennomføres?
- Hvordan skal risiko vurderes? Hvilke vurderingskriterier skal brukes?
- Hvordan skal effekten av risikoreduserende tiltak vurderes? Og hvordan skal de kvantifiseres? Hvilke beslutningskriterier skal legges til grunn?

For vurderingskriterier henvises til Kapittel 3.1.

4.2 Identifisere sikkerhetsproblemer

4.2.1 Uønskede hendelser

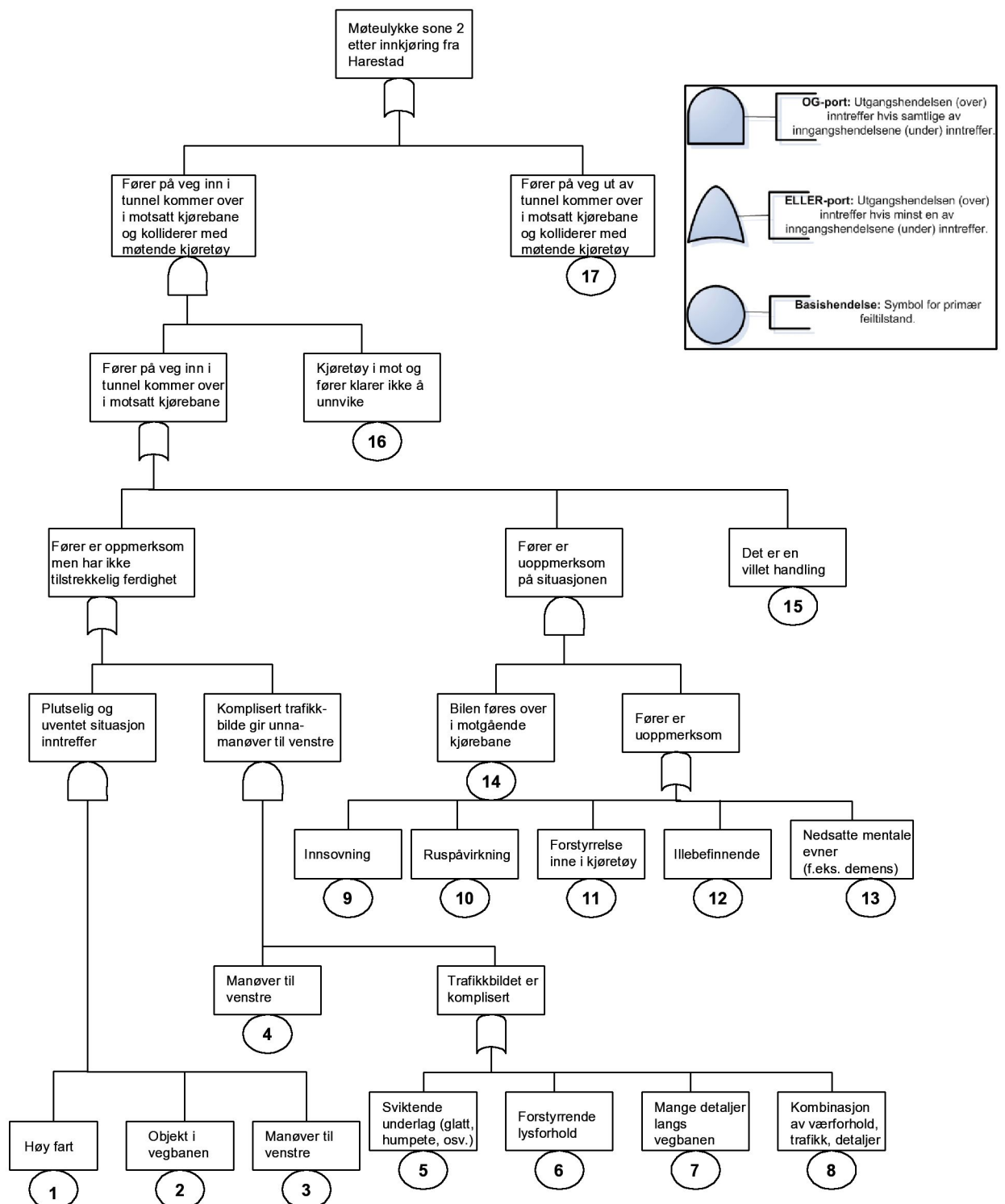
Det tas utgangspunkt i de uønskede hendelsene eller sikkerhetsproblemene som den grove risikovurderingen viser bidrar mest til risiko, eventuelt en oppdatert liste over sikkerhetsproblemer dersom det har skjedd endringer i konseptvalg, forutsetninger etc. siden den grove risikovurderingen ble gjennomført. Det er viktig å ta hensyn til hvilket spekter av konsekvenser som er mulig, det vil si at muligheten for mange drepte bør vektlegges. Normalt vil det være hensiktsmessig å kun inkludere enkelte sikkerhetsproblemer i den detaljerte analysen, ut fra kategoriseringen i den grove risikovurderingen. Dette kan for eksempel være hendelser der:

- Vi mangler erfaringer med den aktuelle typen hendelse. Dette er mest aktuelt for spesielle hendelser, for eksempel klorgassutslipp dersom tunnelen brukes til transport av gass fra en klorfabrikk

- Det planlegges spesielle konstruksjoner eller spesielle design (lokk etc.)
- Det er nødvendig med bedre bakgrunnskunnskap for vurderingen av sannsynlighet/frekvens for den uønskede hendelsen
- Et stort spekter av konsekvenser er mulig, inkludert muligheten for storulykker

4.2.2 Årsaksanalyse

Ofte gir den grove risikovurderingen et tilstrekkelig bilde av årsakene til de uønskede hendelsene. Men noen ganger er det ønskelig å gå mer i detalj. Da kan for eksempel feiltreanalyse benyttes som et verktøy. En begynner da med den uønskede hendelsen (topphendelsen) og modellerer årsakene til denne hendelsen. Nederst i feiltreet er basishendelsene. Dersom det angis sannsynligheter for at basishendelsene inntre kan en regne ut sannsynligheten for at topphendelsen skal inntre. Alternativt kan feiltreet brukes kvalitativt (uten å tallfeste) for å få en oversikt over årsakssammenhengene. Erfaring har vist at det ofte er vanskelig å angi sannsynligheter for basishendelsene i et feiltre. Men det er gode erfaringer med bruk av kvalitative feiltrær, i og med at de tydelig får frem kompliserte årsakssammenhenger. Et eksempel på et feiltre er vist i figur 6. Figuren er hentet fra rapporten "Bruk av risikoanalyser i planlegging og drift av vegtunneler" (Nilsen og Njå, 2004). Den viser et eksempel hentet fra en risikoanalyse for Rennfasttunnelen nord for Stavanger.



Figur 6 Eksempel på feiltreanalyse (fra Nilsen og Njå, 2004)

4.2.2.1 Vurdering av sårbarhet for barrierer

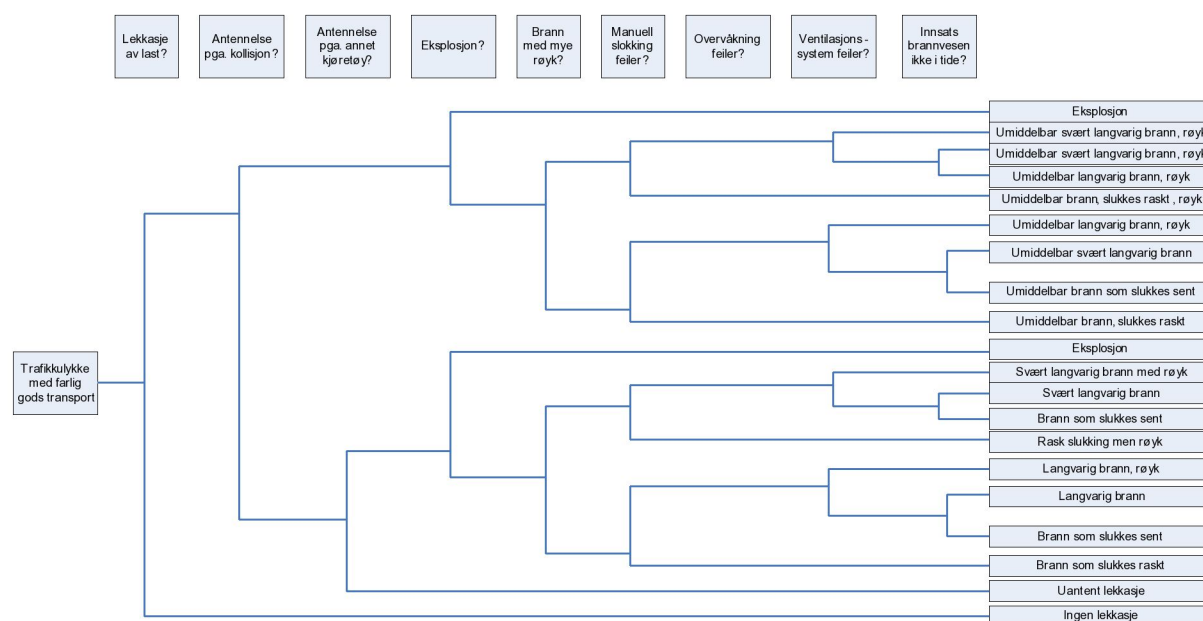
Feiltreanalyse kan også være aktuelt å bruke ved vurdering av spesifikke barrieresystemer. Hvis for eksempel en grov risikovurdering har identifisert en barriere til å være svært kritisk kan feiltreanalyse brukes til å analysere årsaker til at denne barrieren skal svikte. At barrieren svikter settes da som topphendelse i feiltreet.

4.3 Vurdere risiko

4.3.1 Konsekvens- og sannsynlighetsvurdering

I den grove risikovurderingen oppnås som regel en ganske god forståelse av hvilke konsekvenser de ulike uønskede hendelsene kan medføre. Men noen hendelser, for eksempel branner med potensiale for mange drepte, kan være hensiktsmessig å vurdere med hendelsestreanalyse. Hendelsestrær kan være både kvalitative og kvantitative. Erfaringer har vist at kvalitative hendelsestrær i liten grad gir nyttig informasjon ut over at de viser mulige scenarier, mens kvantitative hendelsestrær ofte er nyttige siden de bidrar til et betydelig mer nyansert konsekvensbilde enn i den grove risikovurderingen. I tillegg kan man ved hjelp av sensitivitetsstudier⁴ få inntrykk av hvor kritiske de ulike skadereduserende barrierene (beredskapstiltakene) er. Dette kan igjen brukes til oppfølging av barrierene, for eksempel til å vurdere vedlikeholdsintervaller, til å foreslå ytterligere barrierer etc. Sannsynlighetene som angis i hendelsestreeet kan ofte baseres på data over inntrådte hendelser eller på kunnskap om beredskapstiltakene/barrierene. Figur 7 viser et eksempel på et hendelsestre for hendelsen ”Trafikkulykke med farlig gods transport”.

Figur 7 Eksempel på hendelsestre



⁴ I en sensitivitetsstudie analyseres endringer i sluttresultatet ved å gjøre endringer i input-informasjonen. Da kan vi for eksempel sammenligne virkningen av at ulike barrierer feiler, virkningen av at barrierer forbedres, virkningen av ”nye” barrierer etc.

Forklaring – hendelsestre:

Hendelsestreet i figur 7 viser mulige hendelsesforløp basert på utfallene i grenspørsmålene øverst i figuren. Disse grenspørsmålene reflekterer enten hendelser (for eksempel brann) eller ytelsen til barrierer (for eksempel manuell slokking). Grenspørsmålene er stilt på en slik måte at de uønskede utfallene inntre når svaret på hvert spørsmål er ”ja”. Dermed beskriver den øverste slutthendelsen i figuren det verst tenkelige hendelsesforløpet av de 6 hendelsesforløpene som er beskrevet. Barrieren ”overvåking” ikke er tatt med i analysen, i og med at den ikke påvirker utfallene (forenkling). De 6 hendelsesforløpene kan grupperes, i og med at noen slutthendelser kan antas å ha tilnærmet like konsekvenser, jf. teksten som beskriver slutthendelsene.

Det neste skrittet i analysen vil være å utarbeide en såkalt konsekvensmatrise som beskriver konsekvensene ved hver slutthendelse eller hver gruppe av slutthendelser. Denne matrisen kan for eksempel angi konsekvenser i form av antall drepte og skadde, og eventuelt innen andre kategorier som for eksempel miljøskade, tap av omdømme etc. Dersom det angis sannsynligheter for at svaret på grenspørsmålene skal være ”ja” og ”nei” kan sannsynligheten for hver slutthendelse (gitt at den uønskede hendelsen inntre) beregnes ved å gange sammen sannsynlighetene langs de enkelte hendelsesforløpene. Dersom det er angitt en sannsynlighet for at den uønskede hendelsen skal inntre (for eksempel ved hjelp av en feiltreanalyse) eller ved hjelp av statistikk, kan sannsynligheten for de ulike slutthendelsene beregnes ved å multiplisere sannsynligheten for den uønskede hendelsen med den betingede sannsynligheten for hver slutthendelse: $P(\text{slutthendelse}) = P(\text{uønsket hendelse}) * P(\text{slutthendelse gitt uønsket hendelse})$.

Sannsynligheten for at en uønsket hendelse skal inntre kommer fra en forståelse av årsakssammenhenger oppnådd i en årsaksanalyse (for eksempel feiltreanalyse) eller fra en statistisk analyse. For statistisk analyse kan ofte TUSI benyttes, jf. Kapittel 5.

4.3.2 Avanserte konsekvensmodeller

For enkelte scenarier kan det være aktuelt å gjennomføre detaljerte konsekvensstudier. Dette kan for eksempel være brann- og røykstudier for brannscenarier eller det kan være gassdispersjonsstudier for utslipp av farlig gods. Slike studier er ofte ressurskrevende og vil normalt gjøres som en egen studie, gjerne i etterkant av en detaljert risikoanalyse dersom denne har påvist at spesielle scenarier bør studeres nærmere. Slike studier vil ofte kunne gjenbrukes for andre tunneler.

4.4 Foreslå tiltak**4.4.1 Sensitivitetsstudier**

Dersom analyser er gjennomført med hendelsestrær og/eller feiltrær kan det gjennomføres sensitivitetsstudier der det analyseres hvor stor betydning feil på de ulike barrierene har for

sannsynligheten for uønskede hendelser og for ulike konsekvenser. Vi kan da danne oss et inntrykk av hvor robust systemet er. Også nytten av å implementere ytterligere barrierer eller endringer i design kan vurderes (dersom en planlagt tunnel analyseres).

4.5 Dokumentere

4.5.1 Format

Formatet på dokumentasjonen må tilpasses målet og hensikten med analysen. Det er for eksempel ikke gitt at risikoanalysen alltid vil være den beste måten å presentere resultatene. Det er viktig å ta med forutsetninger og antagelser som er gjort i resonneringer og i konklusjoner, og alle figurer og tall må forklares verbalt.

5 Statistisk risikoberegning

5.1 Innledning

Arbeidet med utviklingen av en EDB-modell for beregning av risiko (ulykkesrisiko og hendelser) startet i 1987. Bakgrunnen for modellen var norske og utenlandske undersøkelser om trafikkulykkesrisiko (spesielt PIARC, men også andre internasjonale kilder) i tunneler. De andre delene av beregningene var basert på daværende regelverk og håndbøker om bygging av tunneler i Norge. Dagens versjon ble sist justert i 2002. Modellen vil bli justert fortløpende.

5.2 Generelt om dagens modell

Dagens versjon av beregningsmodellen TUSI 2.0 (TUNnelSIkkerhet) er et Excelbasert regnearksystem til hjelp ved beregning av risiko i tunneler. Modellen behandler generelt alle typer vegtunneler, med unntak av enfeltstunneler (med toveis trafikk), tunneler med rampeløsninger/vegkryss, enveistrafikkerte tunneler kortere enn 150 meter og toveistrafikkerte tunneler kortere enn 300 meter.

Antallet kjørefelt i hver retning er dog begrenset to gjennomgående kontinuerlig, pluss eventuelt et tilleggsfelt over deler av tunnelens lengde.

Modellen beregner:

- Trafikkulykker med personskade
- Kjøretøystopp (tunge og lette)
- Branntilløp (tunge og lette)

Med trafikkulykker menes i denne sammenheng trafikkulykker med personskade som har bakgrunn i den trafikale situasjonen. Dette i motsetning til ulykker hvor bakgrunnen er farlig gods/eksplosjoner eller lignende.

Beregningene skjer som funksjon av tunnelens lengde, geometriske forhold i tunnelen som horisontal- og vertikalkurvatur, feltkonfigurasjon og trafikkmengde og trafikkfordeling (lette/tunge). For å gjennomføre beregningene deles tunnelen, av brukeren, opp i mest mulig ensartede lengdeelementer/soner. (F eks samme stigning, samme radiusklasse, feltkombinasjon etc.) Maksimalt kan en tunnel ha 11 ulike lengdeelementer/soner. Det er fire "faste" soner i en tunnel med tovegs trafikk. I hver ende finnes:

-50 m inngangssone

-100m overgangssone

I tillegg betraktes (for ulykkesberegningene) en sone 50 m utenfor tunnelmunningen i hver ende. For tunneler med trafikk i en retning finnes inngangssonen og overgangssonen kun i innkjøringen.

5.3 Nødvendige inngangsdata

Beregningene kan utføres mer eller mindre detaljert avhengig av hvilke inngangsvariable som framskaffes. I sin absolutt enkleste form må en kjenne tunnelens samlede lengde og

ÅDT (sum lett og tung) samt hvorvidt det er en eller to trafikretninger. I sin mest omfattende form må en kjenne tunnelens:

Vertikal- og horisontalkurvatur

Vertikalkurvaturen framkommer enten som stigningsforhold på det enkelte delement eller som høyder i vertikale knekkpunkter. Horisontalkurvaturen inndeles i 4 kurvaturklasser.

Feltkonstellasjon

Trafikken for tunge og lette biler (ÅDT) inndelt etter ulike felt i tunnelen. Beregningene håndterer trafikk i en eller to retninger, i to gjennomgående felt (i hver retning). I tillegg kan deler av tunnelen ha et tilleggsfelt (forbikjøring/krabbefelt) i hver retning. Hver retning og felt kan ha ulik trafikkmengde for henholdsvis tunge/lette biler.

5.4 Kort om beregning av ulykkestall

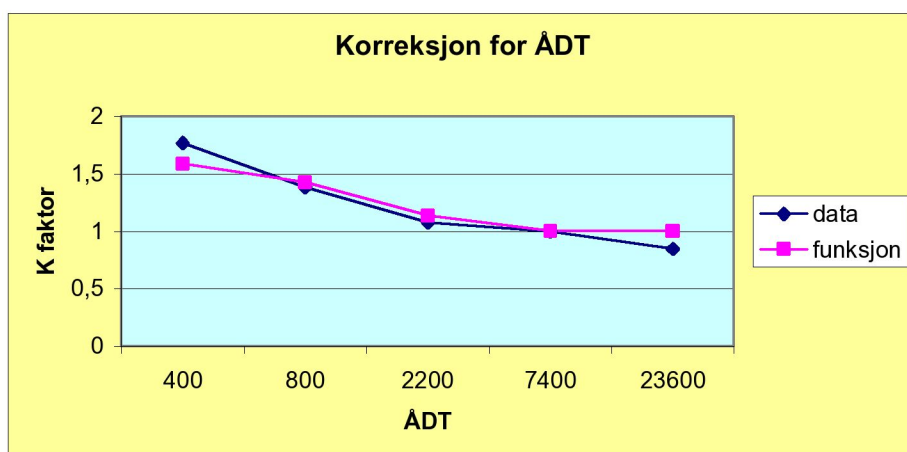
Ulykkestallene beregnes som antall ulykker pr år og resultatene gis pr felt, pr element tunnelen er delt inn i samt for hele tunnelen. Oppdelingen av tunnelen i ulike elementer gjøres som nevnt av brukeren og på en slik måte at hvert enkelt lengdeelement representerer en mest mulig ensartet del av tunnelen. Ulykkesberegningen foretas på tradisjonelt vis med et trafikkarbeid og en ulykkesfrekvens. Det er gjennom ulykkesfrekvensen beregningen tar hensyn til geometrien i tunnelen. Det tas utgangspunkt i en ulykkesfrekvens (U_f) som gjelder for veg i dagen avhengig av fartsgrensen. Her ligger en default-verdi, men den kan om ønskelig overprøves dvs velges fritt, for det aktuelle området. Tabell 4 viser den benyttede sammenhengen mellom fartsgrense og ulykkesfrekvens.

Tabell 5 Sammenheng mellom fartsgrense og ulykkesfrekvens

Fartsgr km/t	U_f ul/mill vognkm
90	0,09
80	0,14
70	0,16
60	0,20
50	0,25

1. Veg i dagen-frekvensen korrigeres til å gjelde tunneler.
2. Korreksjon for envegs eller tovegs trafikk i tunnelen.
3. Korreksjon for ÅDT.

Som eksempel viser Figur 8 den benyttede korreksjon for ÅDT.



Figur 8 Korreksjon for ÅDT

4. Korreksjon for tunnelens samlede lengde.

Disse korreksjonene som alle framkommer som multiplikative korreksjoner foretas for hele tunnelen, uten at denne er delt opp i delstrekninger. For hvert enkelt lengdeelement og felt foretas ytterligere korreksjoner:

5. Sone for sone som nevnt innledningsvis. 50 m utenfor tunnelen benevnes sone 1, de første 50m inne i tunnelen sone 2, deretter påfølgende 100m sone 3. For tovegs tunneler blir det tilsvarende i "den andre enden". Sone 4 kalles midtsonen. Lengden av midtsonen blir avhengig av tunnelens samlede lengde ($L_{midt} = L - 2(50 + 100)$). Dersom midtsonen er 0m er lengden av tunnelen 300m, hvilket er den korteste tunnelen modellen kan brukes på.
6. Det korrigeres for stigning og kurvatur. Dette gjøres i en operasjon fordi korreksjonen for stigning og kurvatur er større enn summen av enkeltkorreksjonene. Det korrigeres dessuten for hvorvidt stigningen er positiv eller negativ.
7. Korreksjon for ulike felt i tunnelen.

Avslutningsvis multipliseres alle korreksjonsfaktorene sammen til et sett av K_{Uf} -total korreksjonsfaktor for ulykkesfrekvensen. Den enkelte faktoren gjelder i et lengdeelement og et felt i tunnelen. Ved hjelp av den initiale ulykkesfrekvensen for veg i dagen og trafikken på det enkelte delement kan nå ulykkestallet på det enkelte element (lengde og felt) beregnes. Deretter kan det summeres og regnes ulykkestall felt, for felt gjennom hele tunnelen. Likeledes sone for sone og selvsagt hele tunnelen.

5.5 Kort om beregning av branntilløp

Beregningen av branntilløp er basert på en erfaringsbasert frekvensmetode, som tar utgangspunkt i en initiell verdi for brannfrekvenser for lett/ tunge kjøretøyer. Det foretas separate beregninger for lette og tunge kjøretøyer og det tas hensyn til tunnelens samlede lengde og stigning.

5.6 Kort om beregning av hendelser/havarier

Beregningen av hendelser/havarier i tunnelen er basert på svært enkle forutsetninger og bør av den grunn benyttes som en antakelse. Det tas utgangspunkt i en initialverdi for hendelser pr millioner vognkilometer.

5.7 Begrensninger

TUSI må i utgangspunktet betraktes som et enkelt hjelpemiddel for å gjennomføre risikoanalyser i tunneler. Beregningene er basert på erfaringsmateriale fra ulike kilder i Europa og i Norge. Dette gir selvsagt opphav til unøyaktigheter, men benyttet med skjønn vil resultatene absolutt kunne være tilstrekkelige. Generelt burde dette erfaringsmaterialet likevel vært gjennomgått og eventuelt oppdatert. Av mer direkte svakheter/begrensninger ved dagens foreliggende modell kan nevnes:

Avkjørsler og ramper

Beregningene omfatter ikke avkjørsler og ramper som en del av et tunnelsystem. Dette betyr at dersom en skal foreta en beregning for en tunnel som er en avkjøringsrampe, må dette gjøres som en separat tunnel med trafikk i en retning.

Kryss

En har ikke muligheten for å håndtere eventuelle kryss eller rundkjøringer som en del av tunnelen.

Enfeltstunnel med tovegs trafikk

Dagens TUSI omfatter ikke enkle enfeltstunneler med møteplasser og trafikk i to retninger.

Skadegrader

TUSI er laget på et tidspunkt før nullvisjonen var vedtatt som rettesnor for den offentlige transportpolitikken. Det betyr at beregningene har ulykkesantall som en resultatvariabel. I nullvisjonens ånd ville det vært ønskelig å ta mer hensyn til alvorligheten av skadene i den enkelte ulykken og operere med skadekostnader som resultatvariabel.

Brann og hendelsesberegningene

Brann og hendelsesberegningene er svært enkle og burde gjennomgå/forbedres. Det er mulig vi heller skulle bruke inngangstall for branner der brannvesenet har vært utkalt eller brannen på annen måte er meldt inn til VTS.

5.8 Eksempel på bruk av TUSI "Veiledertunnelen"

Etter at TUSI er åpnet må man velge "lagre som". I dette tilfellet er det valgt følgende filnavn; "TUSI2.1_Veiledertunnelen_V1". Dette filnavnet gir informasjon om hvilken TUSI versjon som er benyttet, tunnelens navn og at det er første versjon.

I TUSI er det mulig å skrive inn verdier i de gule cellene, alle de andre cellene vil være låst, slik at risikoen for å gjøre feil er minimal.

Navigering mellom de forskjellige arkene gjøres ved å trykke på knappene fram(grønn) og tilbake(rød).

Generelle data

Veiledertunnelen er 1000 meter lang og med knekkpunkter i vertikalkurvaturen på 450 meter og 550 meter.

Fartsgrensen i tunnelen er 80 km/t.

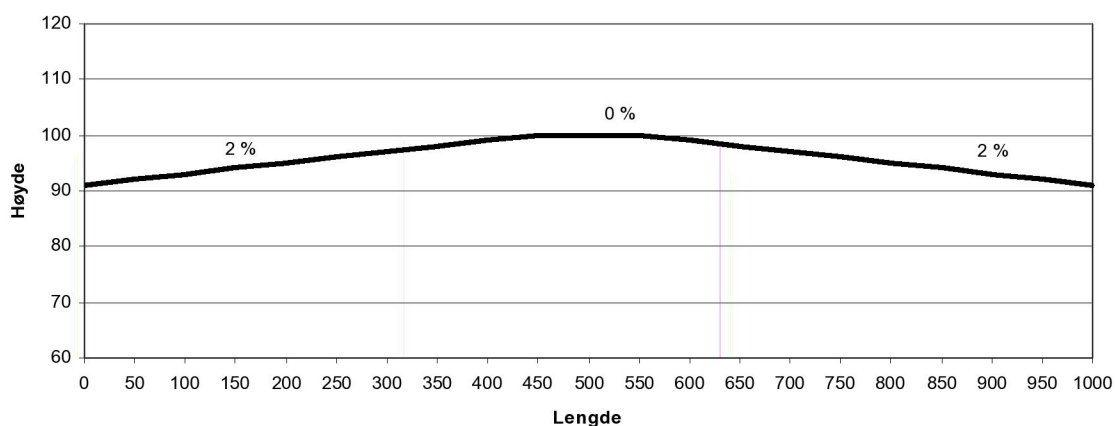
ÅDT i beregningsåret er estimert til 4000 og den er likt fordelt på begge retninger.

Tungtrafikkandelen er 10%.

I TUSI legges inn på følgende måte;

	B	C	D	E	F	G	H	I	
2			Generelle inngangsdata:						
3	Tilbake								
4		Navn:	Veiledertunnelen				Trafikkretning:		
5		Fylke:	25				Envegs		
6		Alternativ:	1				trafikk		
7		Vegnr:	EV 1						
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14				HP	KM				
15		Start:							
16		Slutt:							
17		Lengde(m):			1000				
18									
19									
20									
21									
22		Fartsgrense (km/t)		80					
23		Årsdøgtrafikk kjt		4000					
24		Andel tung i %		10					
25									
26									

Veiledertunnelens vertikageometri;



Tunnelen har 2% stigning inn mot midten fra portalen i begge ender. Midt i tunnelen er det en flat strekning på 100 meter. Horisontalkurvens radius er tilnærmet uendelig i hele tunnelen, dvs at tunnelen er rett.

Dette modelleres slik i TUSI;

226	Tilbake	Geometriske data													Veiledertunnelen	Alternativ: 1	Fartsgrense i km/t: 80																																																																																																																																																																																																																																															
227															Total lengde i meter: 1000																																																																																																																																																																																																																																																	
228	Fram																																																																																																																																																																																																																																																															
229																																																																																																																																																																																																																																																																
230		Feltnr:																																																																																																																																																																																																																																																														
231	HJELP 20	Lengde av tilleggsfelt retning 1:																																																																																																																																																																																																																																																														
232	Retning	1																																																																																																																																																																																																																																																														
233	←	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255
234	←	1	3																																																																																																																																																																																																																																																													
235	→	2	4																																																																																																																																																																																																																																																													
236	→	2	5																																																																																																																																																																																																																																																													
237	→	2	6																																																																																																																																																																																																																																																													
238		Lengde av tilleggsfelt retning 2:																																																																																																																																																																																																																																																														
239	Dellengde beregnet	50	50	100	300	100											300	100	50	50																																																																																																																																																																																																																																												
240		Sone 1	Sone 2	Sone 3	Sone 4										Sone 3	Sone 2	Sone 1																																																																																																																																																																																																																																															
241	Radiusklasse:																																																																																																																																																																																																																																																															
242	>=600	50	50	100	300	100											300	100	50	50																																																																																																																																																																																																																																												
243	599-300																																																																																																																																																																																																																																																															
244	299-150																																																																																																																																																																																																																																																															
245	<150																																																																																																																																																																																																																																																															
246	Sum del	50	50	100	300	100											300	100	50	50																																																																																																																																																																																																																																												
247																																																																																																																																																																																																																																																																
248																																																																																																																																																																																																																																																																
249	HØYDE M	90	91	92	94	100	100	0	0	0	100	94	92	91	91																																																																																																																																																																																																																																																	
250	Høydediff	1	1	2	6	0	-100	0	0	100	-6	-2	-1	0																																																																																																																																																																																																																																																		
251																																																																																																																																																																																																																																																																
252	Stign %	←	1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	0,0											2,0	2,0	2,0	0,0																																																																																																																																																																																																																																										
253	→	2	2,0	2,0	2,0	2,0	0,0											-2,0	-2,0	-2,0	0,0																																																																																																																																																																																																																																											
254																																																																																																																																																																																																																																																																

Neste ark er trafikkarket. Her legger man inn trafikkfordelingen på felt og fordeler trafikken på retning, der at det er stor forskjell på trafikken i de to retningene. I "Veiledertunnelen" ser det slik ut;

226	Tilbake	Trafikkfordeling													Veiledertunnelen	Alternativ: 1							
227																							
228	Fram																						
229																							
230																							
231	HJELP 32																						
232																							
233	ADT kjt/døgn																						
234	(begge retn) :	4000																					
235	Andel tung(%) :	10																					
236																							
237																							
238																							
239																							
240	Kontrollsum	4000	4000	4000	4000	4000	4000	0	0	0	0	4000	4000	4000	4000								
241																							
242	Trafikkfordeling antall kjt i aktuelt felt:																						
243	Tillegg	1																					
244	←	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
245	←	1	3	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000						
246	→	2	4	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000						
247	→	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
248	Tillegg	6																					
249																							
250	Trafikkarbeidsfordeling og lengder i ulike soner. Tusen kjtkm :																						
251		Sone 1	100	100	146,00	146,00	9,1																
252		Sone 2	100	100	146,00	146,00																	
253		Sone 3	200	1000	292,00	1460,00	90,9																
254		Sone 4	700	1022,00	1022,00																		
255		SUM	1100	1100	1606,00	1606,00	100																

Siden dette er en etløpstunnel med trafikk i begge retninger vil 100 % av trafikken i hver retning gå i samme kjørefelt. Når det gjelder trafikkfordelingen er den satt til 50 % i hver retning.

Neste ark i TUSI er det som inneholder ulykkesfrekvenser, her velger TUSI en ulykkesfrekvens alt etter hvilken fartsgrense som blir oppgitt for tunnelen.

225	side 8-1																
226	Tilbake	Ulykkesfrekvenser		Veiledertunnelen		Alternativ: 1											
227						Basis i dagen gitt fartsgrense: 80 km/t		Uf-mill vognkm 0,14 (kan endres)									
228	Fram					Beregnet basis i tunneller: 0,105											
229																	
230																	
231	HJELP 40																
232																	
233																	
234																	
235								All+pgdwn									
236																	
237																	
238																	
239																	
240																	
241																	
242	Tillegg	1															
243	←	1	3	3,223	2,452	1,611	1,051	0,876	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0,701	1,074	1,635	2,686	
244	→	2	4	2,148	1,635	1,074	0,701	0,876	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1,051	1,611	2,452	2,686	
245	→	2	5						#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
246	Tillegg	6															
247																	
248																	
249																	
250	Tillegg	1															
251	←	1	2						#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
252	←	1	3	0,451	0,343	0,226	0,147	0,123	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0,098	0,150	0,229	0,376	
253	→	2	4	0,301	0,229	0,150	0,098	0,123	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0,147	0,226	0,343	0,376	
254	→	2	5						#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
255	Tillegg	6															
256																	

Ulykkesfrekvensen i det gule feltet er det mulig å endre, og den bør endres hvis man har bedre viten om ulykkesfrekvensen på tilstøtende veg med samme fartsgrense. Dette vil gi bedre beregninger, for ulykker i tunnelen.

Hvis man f.eks ønsker å se på effekten av å endre fartsgrensen i tunnelen kan man endre basisfrekvensen i dagen i den gule cellen på dette arket. Hvis man ikke har eksakte tall kan man bruke følgende formulering som et grunnlag for å si hva den nye basisfrekvensen vil bli, å redusere farten med 5% vil redusere antall skadde med 10% og antall drepte med 20%.

Det neste arket er resultatarket for personskadeulykker;

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
250		Lengder (meter)		Trafarb X1000 kjtkm	%	Ulykkesfrekvens pr mill kjtkm	Antall ulykker pr år					
251	Sone 1	100	100	146,00	146,00	9,09	0,376	0,376		0,055	0,055	19,8
252	Sone 2	100		146,00			0,286			0,042		
253	Sone 3	200	1000	292,00	1460,00	90,91	0,188	0,152		0,055	0,222	80,2
254	Sone 4	700		1022,00			0,123			0,125		
255	SUM	1100	1100	1606,00	1606,00	100,00	0,172	0,172		0,277	0,277	100

Resultatet er oppgitt både som en frekvens og et absolutt tall, dvs antall personskadeulykker per år.

Resultatet for tunnelen inklusive de 50 siste meter før tunnelen finner man i summelinjen, ulykkesfrekvensen her er 0,172. For selve tunnelen er resultatet 0,152. Som man ser av resultatene er ulykkesfrekvensen høyest i innkjøringssonene, mens det er flest ulykker i midtsonen, pga at midtsonen er vesentlig lengre enn innkjøringssonene.

Det neste resultatarket gjelder branntilløp, og ikke fullt utviklede branner.

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
249					Antall branner / år			Antall år mellom brann				
250		Lengder (meter)			Lett bil	Tung bil	SUM	Lett bil	Tung bil	SUM		
251	Sone 1				0,001	0,000	0,002	761,0	3424,7	622,7		
252	Sone 2	100			0,003	0,001	0,003	380,5	1712,3	311,3		
253	Sone 3	200	1000		0,009	0,002	0,011	108,7	489,2	89,0		
254	Sone 4	700			0,013	0,003	0,016	76,1	342,5	62,3		
255	SUM	1000	1000									

Resultatet her er oppgitt som antall branntilløp pr år og antall år mellom hvert branntilløp. I tillegg skiller det også på lette og tunge kjøretøy når det gjelder branner.

I tillegg til disse resultatarkene er det et ark kalt hovedresultater.

Tilbake

Utskrift

Hovedresultater: Veiledertunnelen Alternativ: 1

Total lengde: 1000 m ADT: 4000

Resultatene gjelder inne i tunnelen

Kjøretøystopp: 14,6 antall pr år
Beregningen er basert på data fra video-overvåket tunnel

Personekadeulykker:
0,222 antall pr år
0,152 pr mill kjtkm (ulykkesfrekvens)

Branntilløp:
0,013 antall pr år lett bil
0,003 antall pr år tung bil
0,016 totalt antall pr år

Tovogs trafikk

sone 2

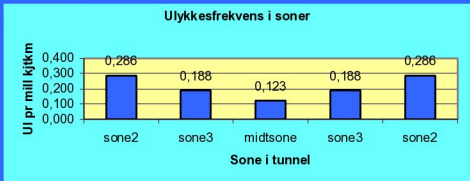
sone 3

midtsone

sone 3

sone 2

Ulykkesfrekvens i soner



Sone i tunnel	Ulykkesfrekvens (U pr mill kjtkm)
sone2	0,286
sone3	0,188
midtsone	0,123
sone3	0,188
sone2	0,286

	Lengder i meter
Sone 2	2x50
Sone 3	2x100
Midtsone	700
Totalt	1000

Egne merknader:
Ikke endret frekvens på veg i dagen

I det gule feltet her kan man skrive inn egne kommentarer. Resultatene som er oppgitt på dette arket gjelder bare for selve tunnelen. I tillegg til personekadeulykker og branntilløp vil en også finne et estimat for antall hendelser, dvs. uønskede stopp i tunnelen.

6 Tekniske bytter

Tekniske bytter er beskrevet i forskrift for tunnelsikkerhet (10.05.07) og betyr at en del forskriftskrav kan byttes ut med alternative tekniske tiltak. Forutsetningen for dette er at det oppnås samme eller bedre totalsikkerhet (brann og trafikkulykker).

Tabellen under viser aktuelle tiltak og hvilke typer effekter de forventes å ha:

Tabell 6 Effekt av tiltak

Tiltak	Trafikkulykker		Branner	
	Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens
Breddeutvidelse	x			x
Midtrekkverk	x	x	x	
Midtmarkering	x	x		
Midtfelt	x			
ATK	x	x		
Fartsgrensereduksjon	x	x		
Variable fartsgrenser	x	x		
Trafikkreduksjon	x		x	
Skyttelsignalanlegg	x		x	
Forbikjøringsforbud	x		x	
Trafikkdeteksjon				x
Forbud mot sykling/fotgjengere	x			x
Ekstra kjørefelt	x		x	x
Redusert stigningsgrad	x		x	
Økt horisontalkurvatur	x		x	
Videoovervåking		x		x
Mobil vifte				x
Økt viftekapasitet				x
Innsnakk på radio		x		x
Variable tekstskilt		x		x
Røykdykkerutstyr				x
Vanntankvogn				x

Merk at avkryssingen i tabellen over viser de direkte virkningene av tiltakene. Alle tiltak som påvirker sannsynligheten for ulykker vil indirekte også påvirke antall branner. Tidligere publikasjoner viser at de fleste alvorlige branner oppstår som en følge av kollisjoner.

7 Referanser

- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap - DSB (2003). *Transport av farlig gods på veg og jernbane – en kartlegging*.
<http://www.dsb.no/File.asp?File=PDF/Farlig%20Gods/farliggoods72dpi.pdf>
- Europaparlaments og rådsdirektiv 2004/54/EF (tunneldirektivet)
- Nilsen og Njå (2004). *Bruk av risikoanalyser i planlegging og drift av vegtunneler*
- Statens Vegvesen (2005). *Veileder for risikovurderinger i vegtrafikken*.
- Statens Vegvesen *Håndbok 021 – Vegtunneler*
- Statens Vegvesen *Håndbok 140 – konsekvensanalyser*
- Statens Vegvesen (2006) *Vurdering av ulykkesrisiko ved ny Rv 7 Sokna-Ørgenvika. Reguleringsplan*. Region sør, Utbyggingsavdelingen, 16.10.2



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo
Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1503-5743