

# Risicanalysmetoder

– Delprojekt 2.2, bilaga till regeringsuppdrag  
Personsäkerhet i tunnlar

Boverket september 2005

Titel: Riskanalysmetoder –  
Delprojekt 2.2, bilaga till regeringsuppdrag Personsäkerhet i tunnlar  
Utgivare: Boverket september 2005  
Upplaga: 1  
Antal ex: 500  
Tryck: Boverket internt  
ISBN: 91-7147-896-5  
Diarienummer: 10823-1233/2003

Publikationen kan beställas från:  
Boverket, Publikationsservice, Box 534, 371 23 Karlskrona  
Telefon: 0455-35 30 50  
Fax: 0455-819 27  
E-post: publikationsservice@boverket.se  
Webbplats: www.boverket.se

©Boverket 2005





# Innehåll

Sammanfattning.....	7
1 Inledning.....	11
2 Projektbeskrivning.....	13
3 Avgränsningar.....	15
4 Generella riskanalysmetoder.....	17
5 Teckenförklaring.....	21
6 Grov inventering av riskanalysmetoder för personsäkerhet i tunnlar.....	23
6.1 Allmänt.....	23
6.2 Kvalitativa modeller.....	23
6.2.1 Allmänt.....	23
6.2.2 Checklistor.....	23
6.2.3 Riskscanning.....	25
6.3 Semikvantitativa modeller.....	25
6.3.1 Allmänt.....	25
6.3.2 Grovanalys.....	25
6.3.3 What-if-metoden.....	26
6.3.4 Indexmetod.....	26
6.3.5 MIR – Modul för inventering av risker.....	27
6.4 Kvantitativa modeller.....	29
6.4.1 Allmänt.....	29
6.4.2 NBR Veiledning.....	30
6.4.3 DARTS.....	31
6.4.4 TNO.....	31
6.4.5 FarGo.....	32
6.4.6 RAS.....	32
6.4.7 QRAM modellen.....	35
6.4.8 The Dutch Model for the Quantitative Risk Analysis of Road Tunnels (TunPrim).....	38
6.4.9 Säkerhet i järnvägstunnlar - BVH 585.30.....	41
6.4.10 LULQRA – London Underground Limited Quantitative Risk Analysis.....	44
6.5 Stödande riskanalysmodeller för frekvensuppskattningar.....	48
6.5.1 Allmänt.....	48
6.5.2 Händelseträdsanalys.....	48
6.5.3 Felträdsanalys.....	49

6.5.4	<i>Modell för skattning av sannolikheter för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen</i> .....	50
6.5.5	<i>TUSI-modellen</i> .....	51
6.5.6	<i>Vägverkets trafiksäkerhetsmodell i EVA 2.31</i> .....	52
6.6	Stödjande riskanalysmodeller för konsekvensuppskattningar ....	53
6.6.1	<i>Allmänt</i> .....	53
6.6.2	<i>Modeller för konsekvensskattningar av brandhändelser</i> .....	53
6.6.3	<i>Modeller för konsekvensskattningar av andra typer av händelser</i> ....	56
6.7	Andra typer av stödjande riskanalysmodeller.....	58
6.7.1	<i>MTO - Människa Teknik och Organisation</i> .....	58
6.7.2	<i>Känslighetsanalys</i> .....	60
6.7.3	<i>Osäkerhetsanalys</i> .....	60
6.7.4	<i>Kostnadsnyttoanalys</i> .....	61
6.7.5	<i>Ras och skred</i> .....	62
6.7.6	<i>Översvämning</i> .....	62
6.8	Sammanställning av modeller .....	62
7	Behov av riskanalyser i planeringsprocessen .....	67
7.1	Allmänt .....	67
7.2	Förstudie .....	68
7.3	Utredning.....	69
7.4	Arbetsplan, järnvägsplan.....	70
8	Värdering av riskanalysmodeller i planeringsprocessen.....	73
8.1	Allmänt .....	73
8.2	Lämpliga modelltyper i olika planeringsskeden.....	73
8.3	Värdering av modeller .....	74
8.3.1	<i>Allmänt</i> .....	74
8.3.2	<i>Förstudie</i> .....	77
8.3.3	<i>Utredning</i> .....	78
8.3.4	<i>Plan</i> .....	79
9	Diskussion .....	83
10	Referenser.....	85

## Sammanfattning

Denna rapport behandlar Delprojekt 2.2, Riskanalys i regeringsuppdraget Personssäkerhet i tunnlar. Uppdraget har varit att beskriva olika riskanalysmodeller som är användbara för väg- och spårtunnlar i olika planeringsskedena. Modellerna som beskrivs är enkla modeller, kvalitativa modeller och stödjande modeller. Med enkla modeller avses här kvalitativa och semikvantitativa, exempelvis checklistor och indexmetoder respektive grovanalyser och ”what if”-analyser. Modellerna är välkända då de använts under lång tid inom andra områden än i tunnlar.

Några kvantitativa modeller som kan nämnas är:

- Quantitative Risk Assessment Model (QRAM). Beräknar risker med transporter av farligt gods på öppen väg eller i vägtunnlar. Arbetet med att ta fram analysmodellen har stötts av OECD och PIARC.
- The Dutch modell (TunPrim). Modellen är anpassad för vägtunnlar och skall kunna användas för att optimera säkerhetsnivån genom en kombination av förebyggande åtgärder, optimering av självräddning och skadebegränsande åtgärder vid en inträffad olycka. Modellen är ej färdigställd.
- Säkerhet i järnvägstunnlar enligt BVH 585.30. Banverkets handbok för säkerhetsvärderingar av spårtunnlar. Det pågår ett arbete med att revidera handboken som skall vara klart under år 2005.
- London Underground Limited Quantitative Risk Analysis (LULQRA). London Underground Limited har utvecklat modellen för riskanalys av sina befintliga tunnelbanelinjer. Modellen behandlat inte bara spårtunnlar utan hela systemet.

Stödjande modeller är dels modeller som ingår som en del i en kvantitativ riskanalys, exempelvis en osäkerhetsmodell, dels fristående modeller t.ex. datoriserade brand- och utrymningsberäkningar.

Fristående modeller kan också här kombineras för att ingå som delar i en deterministisk scenarioanalys. En deterministisk scenarioanalys kan antingen ses som ett moment som skall ingå i en kvantitativ riskanalys eller som en helt fristående modell där beslut och slutsatser kan dras utan någon koppling till den kvantitativa riskanalysen.

Kraven på och formerna för beslutsunderlaget kan behöva skilja sig mellan de olika planeringsfaserna. Detta påverkar vilka analysmodeller som skall användas. Lämpliga modelltyper som framkommit i rapporten för de olika planeringsskedena är följande:

Modelltyp	Förstudie	Utredning [Väg- och järnvägsutredning]	Plan [Arbetsplan och järnvägsplan]
Enkla modeller	Ja Någon lämplig metod används för en riskinventering, t.ex: Checklistor Riskscanning Grovanalys ”What if”-metod Indexmetod MIR	Ja Någon lämpliga metod används för en riskanalys av alla alternativ, t.ex: Checklistor <sup>1</sup> Riskscanning <sup>1</sup> Grovanalys ”What if”-metod Indexmetod MIR  <sup>1</sup> tillsammans med någon annan enkel metod	Ja Som en del i en kvantitativ riskanalys
Kvantitativa modeller	Nej	Ja Preliminär kvantitativ riskanalys för ett utvalt alternativ. Som alternativ kan någon indexmetod (enkel modell) användas där en jämförelse sker dels mellan alternativen och dels med en eller flera liknande befintlig tunnel	Ja Kvantitativ riskanalys
Stödjande modeller	Nej	Ja Utrymning – handberäkningsmodeller  Brand – endimensionella modeller	Ja, flera Exempelvis datoriserade brand och utrymningsmodeller som en del i en scenarioanalys

Det finns en koppling till vilka säkerhetsmål som tagits fram i projekten och hur dessa mål skall verifieras via kvantitativa/kvalitativa analysmodeller. Målen behöver också nödvändigtvis inte verifieras via modeller utan kan även vara tillvägagångssätt. Det innebär att ovanstående tabell kan förändras beroende på vilka säkerhetsmål som gäller, eller om nya tas fram i ett projekt. Angivna modelltyper och modeller skall här ses som verktyg i det säkerhetsarbete som bedrivs i tunnelprojekt.



När en större samsyn finns mellan myndigheterna i personsäkerhetsfrågor och hur frågorna skall hanteras i planeringsprocessen så bör det finnas möjligheter att på sikt bygga upp gemensamma analysmodeller. Flera av de modeller som beskrivits i detta dokument bör kunna användas till detta.



# 1 Inledning

Persönsäkerhetsfrågorna, och då särskilt avstånd till utrymningsväg, hur farligt godstransporter skall hanteras samt val av riskanalysmodeller, har i flera väg- och spårtunnelprojekt stått i fokus. Orsaken har bl.a. varit att det för tunnlar finns olika tolkningar av lagar från myndigheter med olika sektoransvar: Vägverket, Banverket, Räddningsverket och Boverket. Det har lett till skilda ställningstaganden i kritiska sakfrågor, främst mellan Banverket/Vägverket och Räddningsverket. Boverket har i tunnelsammanhang inte tagit ställning i kritiska sakfrågor vilket i sig kan ses som en brist.

För att bland annat öka förståelsen mellan de olika myndigheterna och möjliggöra ökad samsyn gällande persönsäkerhetsfrågorna genomförs nu ett regeringsuppdrag om persönsäkerhet i tunnlar.

Detta dokument behandlar en del i regeringsuppdraget för persönsäkerheten i tunnlar, Delprojekt 2.2, Riskanalys. Projekt som ingår i regeringsuppdraget är:

1. Kartläggning av det legala ramverket
- 2.1 Riskvärdering
- 2.2 Riskanalysmetoder (Behandlas i detta dokument)
3. Helhetssyn på tunnelns livscykel – med inriktning på persönsäkerhet
4. Planeringsprocessen

Med tunnlar avses här spår- och vägtunnlar, dvs. inga metrotunnlar med tillhörande undermarksstationer.



## 2 Projektbeskrivning

Delprojekt 2.2, Riskanalys i regeringsuppdraget som behandlar personsäkerhet i tunnlar har haft följande upplägg:

- Grov inventering av riskanalysmetoder för att bedöma och utforma personsäkerhet i tunnlar.
- Behov av riskanalyser i planeringsprocessen för spår- och vägtunnlar. (Detta ingick inte i delprojekt 2.2 men har av projektgruppen ansetts varit nödvändig att ta fram för att kunna färdigställa rapporten.)
- Fördelar och begränsningar med ett antal utvalda analysmodeller för tunnlar i planeringsprocessen.

I projektgruppen som har styrt arbetet har följande personer ingått:

Erik Lindberg	Banverket
Staffan Abrahamsson	Boverket
Tomas Rantatalo	Fire Safety Nordic AB, samordningsansvarig delprojekten
Marcus Andersson	Brandskyddslaget
Johan Häggström	Brandskyddslaget
Omar Harrami	Räddningsverket
Mattias Strömgren	Räddningsverket, ansvarig för delprojekt 2.2
Bernt Freiholtz	Vägverket
Johan Hansen	Vägverket

Genom att ovanstående deltagare, exklusive Brandskyddslaget, även representerar delprojekt 2.1, Riskvärdering, har en naturlig samordning mellan delprojekt 2.1 och 2.2 skett.

Samordning har även skett med delprojekt 4 som behandlar planeringsprocessen.



### 3 Avgränsningar

Delprojekt 2.2 behandlar riskanalysmodeller i driftskedet för tunnlar i planeringsprocessen fram till bygglov. Risker som avses är personrisker för trafikanter, resande och personal som befinner sig i tunneln. Övriga typer av risk, såsom exempelvis miljö- och egendomsrisker samt risker för tredje man, behandlas inte i detta dokument. Med tunnlar avses både väg- och spårtunnlar men inte så kallade metrotunnlar som innefattar underjordstationer.

Riskanalyser skall här ses som en del i det säkerhetsarbete som bedrivs i tunnelprojekt.

Frågeställningar som t.ex. att projektet skall beskriva hur de hade tänkt fortsätta arbetet med säkerhetsfrågor vilket normalt ingår i en tillåtlighetsprövning, säkerhetskoncept m.m, tas inte upp då fokuset i detta delprojekt är analysmodeller.





## 4 Generella riskanalysmetoder

Det finns ett flertal olika typer av generella riskanalysmetoder som kan användas i tunnlar och som beskrivs i bl.a. Svenska brandförsvarsförningens, Räddningsverkets och Kemikontorets handböcker [1-3] samt även i [4], se tabell 3.1–3.3. Några av metoderna har bedöms vara mera intressanta för tunnlar och beskrivs mera i detalj i detta dokument tillsammans med andra riskanalysmetoder som tagits fram eller använts i infrastrukturprojekt.

Tabell 3.1 *Analysmetoder tekniska system.*

Analysmetoder för Tekniska och sociotekniska system	Beskrivning av modell
Checklistor	Kontroll av standardbetonade system gentemot förutbestämd lista. Stöd vid riskidentifiering.
Indexmetoder <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ICI – The Mond index</li> <li>○ DOW Fire</li> <li>○ Explosion index</li> </ul>	Värdering av ett system i jämförelse med ett referenssystem. Vid jämförelse med referenssystem ökas indexet för faktorer som är mindre gynnsamma och minskas med gynnsamma faktorer och riskreducerande åtgärder.
Grovanalys	Översiktig identifiering och bedömning av riskkällor
”What if”-analys	Utgår från att försöka hitta potentiella skadehändelser med utgångspunkt från vissa avvikelser eller störningar genom att ställa frågor med formen ”vad händer om?”.
Feleffekt analys FMEA/FMECA	Analys av riskabla komponentfel, orsaker och konsekvenser.
Felträdsanalys	Trädmetodanalys av orsaken till en given händelse.
Händelseträdsanalys	Trädmetodanalys av alternativa konsekvenser av en given händelse.
Scenarioanalys	Urval och detaljerad analys av vissa tänkbara scenarier [41,42, 43]
Kvantitativ riskanalys (QRA)	Är en systematisk metod för identifiering och beräkning av risk. Består av fyra delar:

Analysmetoder för Tekniska och sociotekniska system	Beskrivning av modell
	<p>Består av fyra delar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifiering av risk</li> <li>• Beräkning av frekvenser och sannolikheter</li> <li>• Beräkning av konsekvenser</li> <li>• Sammanvägning av frekvens och konsekvens för olika händelser</li> </ul> <p>En eller flera analysmetoder kan användas för respektive del.</p> <p>Normalt sett ingår också andra delar när en QRA genomförs, såsom värdering av risken och en osäkerhetsanalys.</p>

Tabell 3.2 *Analysmetoder Människa Teknik Organisation.*

Analysmetoder för Människa Teknik och Organisation	Beskrivning av modell
<p>Analys av mänskligt tillförlitlighet HRA (Human Reliability Analysis)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Absolute Probability Judgement (APJ)</li> <li>▪ Human Cognitive Reliability Method (HCR)</li> <li>▪ Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)</li> <li>▪ Influence Diagram Analysis (IDA)</li> <li>▪ Paired Comparisons (PC)</li> <li>▪ Success Likelihood</li> </ul>	<p>Metoder som används för att uppskatta människans grad av tillförlitlighet i olika situationer.</p>

Analysmetoder för Människa Teknik och Organisation	Beskrivning av modell
Index Method (SLIM) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tecnica Empirica Stima Operatori (TESEO)</li> <li>▪ Technique for Human Error Rate Prediction (THERP)</li> </ul>	
Människa Teknik Organisation (MTO)	Analys av samspelet mellan människa, teknik och organisation vilket HRA-analyserna skall ses som en del i.



## 5 Teckenförklaring

ATC	Automatisk tågkontrollsystem.
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. Farligt gods olycka. Uppstår när en kokande vätska under tryck plötsligt frigörs från en bristande tank och exploderar med stor kraft. Vanligen bilas även ett eldklot med relativt stor diameter som kastas högt upp i luften, där ämnen förbränns mycket snabbt under avgivande av stark intensiv värmestrålning. Med och utan eldklot kan i vissa sammanhang ha beteckningen ”hot BLEVE” och ”cold BLEVE”.
BVH	Banverkets handbok
CFD	Computational Fluid Dynamics
DART	Durable and Reliable Tunnel Structures
DSM	Decision Support Model
F/N	Frequency/Number. Ett sätt att presentera samhällrisken. Visar sambandet mellan skadehändelsers frekvens och konsekvens tex omkomna.
FAR	Fatal Accident Rate
FED	Fractional Effective Dose
HGV	Heavy Goods Vehicle
HRA	Human Reliability Analysis
LPG	Liquefied Petroleum Gas, är den engelska benämningen för propan, butan, butan/propan- blandningar eller gasol som är kondenserad till vätska genom inverkan av tryck och/eller temperatur.
LULQRA	London Underground Limited Quantitative Risk Analysis
MIR	Modul för Identifiering av Risker
MKB	Miljökonsekvensbeskrivning
MTO	Människa Teknisk Organisation
NBR	Norges Byggstandardiseringsråd
NFPA	National Fire Protection Association, Intresseorganisation i USA
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
QRA	Quantitative Risk Analysis
GRAM	Quantitative Risk Assessment Model
RAS	Risk Account System, Innehåller resultat ifrån analyser av olika risker i Öresundsförbindelsen
SKI	Statens Kärnkraftinspektion
STEPS	Simulation of Transient Evacuation and Pedestrian movementS
TUSI	Tunnel Sikring
VCE	Vapor Cloud Explosion



## 6 Grov inventering av riskanalysmetoder för personsäkerhet i tunnlar

### 6.1 Allmänt

Nedan följer en sammanställning av riskanalysmodeller som identifierats och bedömts intressanta att utvärderas noggrannare i det vidare arbetet. Urvalet syftar till att ge viss spridning mellan olika typer av modeller med olika grader av kvantitativa inslag. Detta för att i ett senare skede kunna utvärdera lämpligheten hos de olika modelltyperna för olika skeden i ett tunnelprojekt. Vissa av modellerna kan framförallt ses som stödjande delar i en riskanalys för en tunnel och/eller som metoder för att bedöma säkerhetsparametrar i delar av en tunnels säkerhetssystem, medan andra är modeller för att bedöma den samlade riskbilden för ett helt tunnelsystem.

Den viktigaste parametern vid bedömning av riskanalysmetodernas applicerbarhet i olika planeringsskeden är vilken information som önskas som beslutsunderlag i respektive skede och i vilken form informationen önskas sammanställd. För varje modell sammanfattas därför vilken ”utdata” modellen ger.

En fullständig riskanalys med värdering av risk förutsätter att risker identifieras, analyseras och värderas. Modellerna nedan skall ej ses som uteslutande av varandra, utan en kombination av olika modeller kan behövas för att uppnå detta.

### 6.2 Kvalitativa modeller

#### 6.2.1 Allmänt

Kvalitativa modeller används för att identifiera risker utan att uttryckligen kvantitativt värdera förekomsten eller allvarligheten i de olyckor som tas upp. Metoder som beskriver, diskuterar eller rangordnar risker för olika olyckstyper ingår i dessa modeller.

#### 6.2.2 Checklistor

Används för att kontrollera standardbetonade system gentemot en etablerad checklista. Kan användas som stöd för riskidentifiering i samband med omfattande riskanalyser i ett tidigt skede. En sådan checklista för tunnlar skulle kunna tas fram med kontrollpunkter som har att göra med tunnelns planerade utformning och som leder till en lista med risker som är relevanta att studera vidare för det aktuella systemet. Checklistan bör baseras på en generell riskanalys, statistik och erfarenhet.

*Utdata*

Resulterar i en checklista där tunnelsystemets utformning gått igenom och som identifierar aktuella risker att studera vidare.

*Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Detta förfarande kan antagligen appliceras med gott resultat på tunnlar om väl anpassade checklistor tas fram. Som exempel kan nämnas att checklistor tas upp som modell för riskidentifiering i NBR: Veiledning för såväl järnvägs- som vägtunnlar.

Checklistor kan exempelvis upprättas för:

- Tunnelkonstruktion:
  - Tvärsnitt (enkel- eller dubbelrör etc.)
  - Betong- eller bergtunnel?
  - Går tunneln under vatten?
  - Tunnellängd?
  - Möjlighet att anordna utrymningsvägar kontra behov
  - Etc.
- Trafik:
  - Trafikarbete
  - Maxbelastning
  - Farligt gods aktuellt, restriktioner?
  - Vanlig godstrafik aktuell, restriktioner?
  - Etc.
- Drift:
  - Trafikledning
  - Olyckshantering
  - Övningar
  - Beredskapsplaner
  - Räddningstjänstens insatsmöjligheter

En checklistametod som är utvecklad specifikt för vägtunnlar är en tysk modell ifrån ADAC [5]. Checklistan ifrån ADAC är indelad i följande huvudkategorier:

- Tunnelsystem
- Trafik
- Ventilation vid brand
- Brandskydd
- Organisation vid olyckor/haveri
- Trafik och trafikövervakning
- Belysning och kraftförsörjning
- Kommunikation
- Utrymningsvägar



### 6.2.3 Riskscanning

Riskscanningen följer exempelvis delar av SKI metodbeskrivning för yttre händelseanalys [38]. Scanningen kan genomföras i en ”workshop” där experter med olika kompetenser och kunskaper om systemet ingår.

#### *Metod*

Identifiering av händelser

Syftet är i ett första steg att ta fram en lista på möjliga händelser som skall studeras vidare.

#### *Relevans-scanning*

Nästa steg är att sortera ut händelser, ”screen out”, som inte är relevanta, vilket innebär att de inte kan inträffa på platsen eller har mycket liten sannolikhet för att de skall inträffa.

#### *Konsekvens-scanning*

Syfte är i detta steg att sortera ut händelser som inte kommer att ha någon konsekvenspåverkan eller har mycket liten påverkan på tunneln

#### *Utdata*

Ger en lista på relevanta händelser som kan påverka personsäkerheten i tunneln.

#### *Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Möjligheterna att genomföra en riskscanning i tunnlar med stöd av en analysgrupp med olika kompetenser bör vara goda. Stor expertis finns vanligen inom olika teknikområden vid en projektering vilket underlättar riskscanningen.

## 6.3 Semikvantitativa modeller

### 6.3.1 Allmänt

Som ”semikvantitativa modeller” räknas modeller som exempelvis presenterar risker med en klassindelning, eller ger kvantitativa resultat endast för delar av begreppet risk (modeller som exempelvis bara levererar en olycksfrekvens).

### 6.3.2 Grovanalys

Metod för översiktlig identifiering och bedömning av riskkällor. I en grovanalys görs endast grova bedömningar av sannolikhet och konsekvenser med klassindelning i tabellform. Metodiken är anpassad för att användas tidigt i planeringsstadiet. Medför en systematisk genomgång av systemet för att identifiera riskkällor och möjliga skadehändelser. Checklistor kan tas fram som underlag för riskidentifieringen. Kallas även för preliminär riskanalys vilket antyder att dess användningsområde kanske främst är som en tidig värdering och underlag för mer detaljerade analyser.

*Utdata*

Ger tabeller med skadehändelser, bakomliggande händelser, sannolikhet, konsekvens och rekommendationer (exempelvis en åtgärd eller mer detaljerade analyser).

*Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Kan appliceras för en grov bedömning och framförallt för jämförelse mellan olika alternativ och identifiering av risker. Grovanalyser har en begränsning i att bedömningen av sannolikheter och konsekvenser för enstaka skadehändelser ofta blir relativ i förhållande till andra skadehändelser vilket gör den lämplig för jämförelse och mindre lämplig för detaljerade slutsatser om risknivåer.

**6.3.3 What-if-metoden**

Metoden utgår ifrån att försöka hitta potentiella skadehändelser med utgångspunkt från vissa avvikelser eller störningar genom att ställa frågor på formen ”Vad händer om?”. Förutsätter att utförarna har goda erfarenheter av det system som studeras. Exempel på en fråga som skulle kunna ställas i ett järnvägstunnelprojekt är: ”Vad händer om växel x står i fel läge?” eller ”Vad händer om ATC:n ej fungerar?”. Metoden liknar en grovanalys men är mer detaljerad och systematisk i sättet att identifiera risker. Resultat presenteras i tabeller liknande de för grovanalyser.

*Utdata*

Tabeller med skadehändelser, bakomliggande händelser, sannolikhet, konsekvens och rekommendationer (exempelvis en åtgärd eller mer detaljerade analyser).

*Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Metoden används främst inom processindustrin, men kan anpassas för tunnlar och trafiksystem. En fördel med metoden är att den studerar detaljer i systemen och identifierar svaga länkar som kan leda till olyckor. På så sätt kan åtgärder föreslås och värderas på ett detaljerat sätt för det aktuella systemet. Kan användas för analyser av utformningar av enskilda delar av säkerheten och som del av en större riskanalys.

**6.3.4 Indexmetod**

Indexmetoder kan användas genom att värdera ett system i jämförelse med ett referenssystem. Vid jämförelse med referenssystem ökas indexet för faktorer som är mindre gynnsamma och minskas med gynnsamma faktorer och riskreducerande åtgärder. För tunnelsystem så skulle detta innebära att en ”acceptabel” tunnel skulle behöva tas fram med allt vad det innebär i form av trafikarbete, personbelastning, farligt gods/godstransporter, utrymningsvägar, säkerhetsutrustning. Inom ett projekt skulle de unika egenskaperna för den studerade tunneln användas för att öka och minska indexet i förhållande till referenstunneln (exempelvis ökande index för längre tunnel, minskande index för tätare mellan utrymningsvägar).

Detta innebär att ett stort arbete skulle behöva läggas på att verifiera viktningfaktorer för olika parametrar som påverkar personriskerna i en

tunnel. Dessa måste bli ”rätt” och vara heltäckande för att det verkligen skall verifieras att risknivån behålls på en acceptabel nivå. Positivt är att själva analysen kan utföras enklare och ger sannolikt förhållandevis repeterbara resultat. Negativt skulle kunna vara att det för utföraren av analysen blir svårt att överblicka alla faktorer och att resultaten blir beroende av hur väl metoden täcker in och värderar säkerheten.

Ett användningsområde för metoden är som föregångare till en mer kvantitativ analys i ett skede där utformningen inte är helt klar men där det ändå behövs svar på viktiga frågor såsom ungefärliga avstånd mellan utrymningsvägar, blocksträckor, separation av persontrafik och godstrafik etc.

#### *Utdata*

Ett riskindex som skall jämföras med acceptabelt riskindex (1).

#### *Tunnelrelevans/applikerbarhet*

Metodikerna kan användas på de flesta problem. Att ta fram en indexmetod för tunnlar kräver sannolikt stort utredningsarbete, detta beror på när analysen skall användas och hur detaljerade svar som metoden skall ge. Det är sannolikt möjligt att ta fram en modell för tidig värdering av hur olika förhållanden och åtgärder kan ”bytas” mot varandra (exempelvis tunneltvärsnitt kontra avstånd mellan utrymningsvägar). Goda möjligheter bör finnas att kunna jämföra olika tunnelalternativ mot varandra.

### **6.3.5 MIR – Modul för inventering av risker**

MIR [6] har tagits fram för värdering av Vägverket, och har inriktats mot Vägverkets planeringsprocess. Metoden används inte idag av Vägverket men däremot av Banverket som har anpassat den till sin planeringsprocess. Där har bl.a. kriterier för relevansbedömning utvecklats, dvs. ett underlag som används för bedömning av riskernas ”relevans”, dvs. storlek eller betydelse för den fortsatta planeringen.

MIR är inte en riskanalysmetod i egentlig bemärkelse utan beskriver ett arbetssätt för att få med väsentliga delar i olika planeringsfaser. Metoden är ej specifik för tunnlar och bygger på en händelseanalys och en konsekvensanalys. Händelsernas och konsekvensernas relevans värderas separat i en skala 0–3, se tabell 6.1 och 6.2 och sammanställs för bedömning och eventuella åtgärdsförslag.

#### *Händelseanalys*

Relevans för oönskade händelser syftar på i vilken grad en viss ”risk” kan drabba det objekt som analyseras. Relevansvärdet anger hur viktigt det är att man beaktar ”risken” i den fortsatta planeringen.

#### *Konsekvensanalys*

Relevans för konsekvens syftar på i vilken grad skyddsobjekt, dvs. egendom, personer eller miljö kan identifieras och objekt komma till skada vid en olyckshändelse. Relevans anger hur viktigt det är att man beaktar förhållandet i den fortsatta planeringen.

**Tabell 6.1** Relevans önskade händelser.

<b>Oönskade händelser</b>		
<b>Värde</b>	<b>Relevans</b>	<b>Förklaring</b>
0	Utan relevans	Oönskad händelse kan inte inträffa, orsaker och verksamhet saknas.
1	Liten relevans	Oönskad händelse kan få viss mindre omfattning. Verksamheten är liten eller orsaker saknas.
2	Stor relevans	Oönskad händelse kan få större omfattning. Verksamheten är betydande och flera orsaker kan identifieras. Skyddsåtgärder finns.
3	Mycket stor relevans	Oönskad händelse kan få stor omfattning. Verksamheten är stor och flera orsaker kan identifieras. Skyddsåtgärder saknas eller är otillräckliga

**Tabell 6.2** Relevans konsekvenser.

<b>Konsekvens</b>		
<b>Värde</b>	<b>Relevans</b>	<b>Förklaring</b>
0	Utan relevans	Konsekvens kan inte inträffa, skadeobjekt saknas.
1	Liten relevans	Skadeobjektet har ringa storlek. Barriärer begränsar eventuell skadepåverkan.
2	Stor relevans	Skadeobjekt är påtagligt i omfattning. Barriärer är otillräckliga för att begränsa eventuell skadepåverkan.
3	Mycket stor relevans	Skadeobjektet är stort och betydelsefullt. Barriärer har ringa betydelse.

I MIR finns det också ett förslag på en katalog för önskade händelser samt förslag på katalog för konsekvenser som användaren kan utgå ifrån.

*Katalog Oönskade händelser*

1. Kollaps hos konstruktion
2. Ras, skred
3. Vibrationer

4. Ändringar av grundvattenytans läge
5. Vattengenombrott
6. Kemikalieutsläpp
7. Explosion eller brand
8. Trafikolycka fordon (sammanstötning, urspårning),  
entreprenadutrustning
9. Fel i trafikledning
10. Sabotage
11. Meteorologiska fenomen
12. Övrigt

#### *Katalog Konsekvenser*

1. Miljöskador mark, jord och vatten
2. Egendomsskador byggobjekt
3. Egendomsskador tredje man
4. Personskador trafikanter/arbetare
5. Personskador tredje man
6. Avbrott i väg eller järnväg

Arbetsättet och strukturen med en enkel tunnelanpassning för vägtunnlar redovisas i tunnel 2004, bilaga 8 [7].

#### *Utdata*

Resulterar i ett antal checklistor, tabeller.

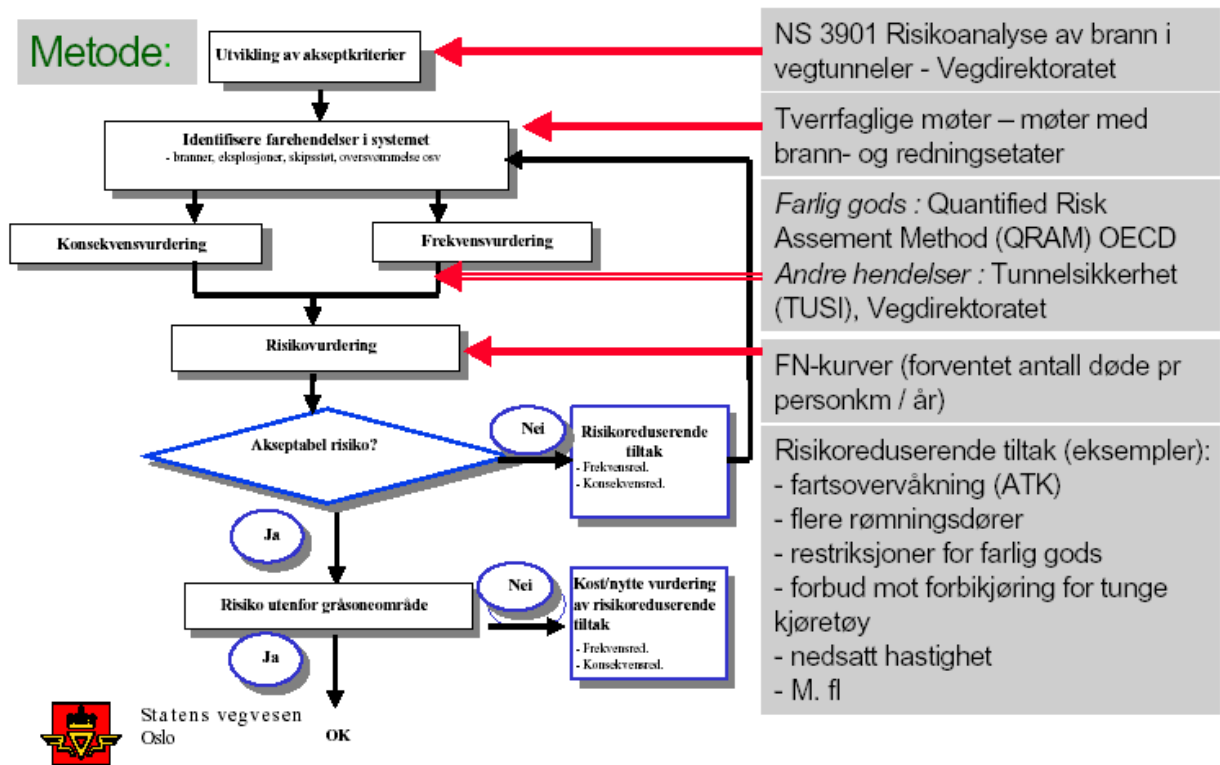
#### *Tunnelrelevans/applikerbarhet*

Brett användningsområde både för väg- och spårprojekt, arbetsättet kan anpassas.

## 6.4 Kvantitativa modeller

### 6.4.1 Allmänt

Flera av modellerna som beskrivs nedan har mycket gemensamt, exempelvis vad gäller upp-lägg, användande av händelseträd och felträd, presentation av risk i F/N-kurvor, medelrisk etc. Dessa QRA-metoder skulle kunna grupperas till en principiell metod, dock presenteras de separat här för att ge en bild av skillnader, exempelvis i vilken enhet risker presenteras. Detta då informationen kan vara värdefull för att få en bild av vad som är vanligt förfarande och vad som är gemensamt för olika accepterade modeller. Exakt vad som skall ingå i QRA är inte helt självklart dock finns det vissa grundläggande aktiviteter som ingår vilket beskrivs över-siktligt med hjälp av den modell som motsvarigheten till Vägverket i Norge, Statens Vegvesen, använder.



Figur 6.1 QRA modell för vägtunnlar i Norge [8].

Bilden av vad en QRA skall innehålla enligt figur ovan är inte helt fullständig utan att nämna att det bör ingå en osäkerhetsanalys i metoden. Det finns även andra sätt att mäta risken än mot en acceptabel kvantifierad risknivå vilket beskrivs i delprojekt 2.1.

#### 6.4.2 NBR Veiledning

Norges byggstandardiseringsråd har tagit fram vägledningar för riskanalyser för såväl vägtunnlar som järnvägstunnlar [9,10].

Vägledningen för järnvägs- och tunnelbanetunnlar beskriver en kvantitativ riskanalysmodell som skall användas för att värdera risknivån utifrån fysiska, psykologiska och organisatoriska förhållanden. Metodiken är ej detaljstyrd av vägledningen, dock diskuteras vilka typer av olyckor som bör studeras (brand, sammanstötning, urspårning, läckage av giftiga ämnen etc). Presentation av risken detaljstyrs ej heller, dock talas en del om att bedöma olycksfrekvenser och olyckskonsekvenser och att en sammanvägning kan göras i riskmatriser, i F/N-kurvor eller som ”förväntat antal omkomna” (medelrisk). Vilken bas som skall användas för frekvenserna värderas ej utan följande nämns:

- Per år
- Per år och km spårlängd
- Per passagerarkilometer

- FAR (Fatal Accident Rate, uttryckt som antal omkomna per 108 timmars exponering),

Vägledningen nämner händelsetråd och feltråd som metoder för att beräkna frekvenser för starthändelser och sluthändelser.

Vägledningen utgör egentligen ej en detaljerad metodbeskrivning utan är en översiktlig vägledning för att utföra en kvantitativ riskanalys i järnvägstunnlar.

Vägledningen för vägtunnlar gäller endast för brandrisker och är något mindre omfattande. Den ger begränsad information kring utförande där det specificeras vilka brandscenarier som skall studeras och vilka maxeffekter som skall användas.

#### *Utdata*

Olika utdata möjliga, se ovan.

#### *Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Vägledningarna är framtagna för vägtunnlar respektive järnvägstunnlar. Som ”modeller” lämnar de dock mycket öppet och kan ej ses som metodikbeskrivningar utan snarare översiktliga beskrivningar av arbetssätt.

### **6.4.3 DARTS.**

DARTS är en QRA-modell som tagits fram inom ramen för EU-projektet DARTS (Durable and Reliable Tunnel Structures). Syftet med DARTS var att utveckla operativa metoder och hjälpverktyg för att i beslutsprocessen välja, i varje individuellt fall, den kostnadsoptimala tunneltypen och konstruktionsprocessen med hänsyn till ”miljö, teknisk kvalitet, säkerhetsåtgärder och lång underhållslivslängd” [11].

#### *Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Någon färdig modell har ej studerats vilket gör att det inte går att uttala sig om dess applicerbarhet.

### **6.4.4 TNO**

TNO har utvecklat en modell för kvantitativ riskanalys i transporttunnlar. Modellen innerhåller riskidentifiering, värdering av sannolikheter och konsekvenser, presentation av risk genom F/N-kurva, medelrisk och förväntad årlig skada. Dessutom värderas risker och riskreducerande åtgärder. Modellen är utvecklad för både väg- och tågtunnlar. Analys av farligtgodsoolyckor sker i modellen. Modellen är fortfarande i forskningsstadiet och det finns enligt [12] på TNO, inte mycket material på engelska om den.

#### *Utdata*

- F/N-kurvor på basen
- Medelrisk (förväntat antal omkomna per år)
- Förväntad skada per år

*Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Framtagen för transporttunnlar, ej specifikt för farligt gods. Intressant att studera vidare, dock ej färdig som modell.

**6.4.5 FarGo**

FarGo [13] är en kvantitativ riskanalysmodell som värderar sannolikhet och konsekvens för olyckor och sammanväger till förväntat antal döda/år (medelrisk). F/N-kurvor används ej. Specialanpassad för farligt gods och ej anpassad för tunnlår. Modellen används för farligtgodstransporter på väg och järnväg, ej specifikt i tunnel. FarGo utgår ifrån VTI-handböckerna som senare blev en handbok ifrån Räddningsverket.

*Utdata*

Resultaten presenteras som en medelrisk (förväntat antal omkomna per år).

*Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Då modellen ej är särskilt framtagen för tunnlår är det sannolikt svårt att värdera olyckor i tunnlår kvantitativt utan stöd från andra modeller.

**6.4.6 RAS***Allmänt*

RAS (Risk Account System) [14,15,16] är ett system framtaget av Øresund Link Consultants i syfte att användas i Øresundskonsortiets riskhantering. Programmet är framtaget för att på ett systematiskt sätt kunna sammanställa resultat från analyser som gjorts av olika riskkällor vid förbindelsen. Detta innebär att RAS i sig inte utgör en riskanalys, utan är en databas som sammanställer och lagrar resultat från utförda kvantitativa riskanalyser.

*Typ av olyckor som studeras*

RAS används för att sammanställa risknivåer för väg- respektive järnvägstrafik över Øresundsförbindelsen. Fokus ligger på de olyckor som äger rum under förbindelsens normala drift där olyckor på hela förbindelsens sträckning beaktas. Detta innebär att olyckorna kan äga rum på ö, i tunnel eller på själva bron. Systemets karaktär innebär att riskbidraget från ett stort antal olika olyckor kan studeras och presenteras gemensamt. Exempel på olyckor som studerats är:

- Trafikolyckor
- Kollision med brostruktur (fartyg och flyg)
- Urspårning av tåg
- Explosioner
- Toxiska utsläpp
- Grundstötning mot tunnel
- Kollaps till följd av jordbävning
- Brand



De brandscenarier som analyserats är uppdelade enligt följande:

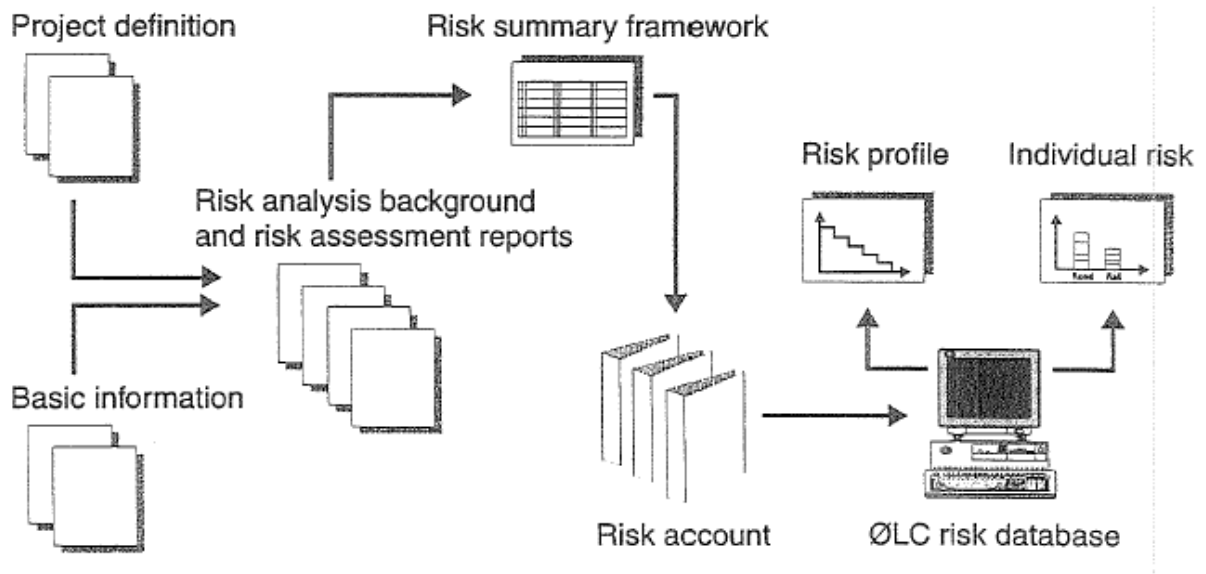
Motorväg	Järnväg
- Personbil	- Passagerartåg
- Lastbil	- Godståg
- Heptan	- Heptan (farligt godsolycka)
- LPG	- LPG (farligt godsolycka)

#### *Metodik*

De olika moment som ingår i sammanställningen av olika riskanalysrapporter med hjälp av RAS är:

- Projektdefinition – En sammanställning av de rapporter, ritningar o.s.v. som ligger till grund för projektet.
- Grundläggande information – Här ingår exempelvis rapporter om trafikbelastning, farligt gods och väderleksförhållanden.
- Bakomliggande riskanalysrapporter – Detta steg består främst av en analys av statistisk information (olycksfrekvenser) och olika specialproblem. Riskanalysrapporterna utgör grunden för riskbedömningar i det aktuella fallet.
- Riskbedömningsrapporter – I riskbedömningsrapporterna görs uppskattningar av förväntat antal döda samt omfattning av trafikstörningar för de definierade riskkällorna.
- Ramverk för risksummering – För att kunna sammanställa resultat från olika riskbedömningsrapporter har sex ramverk för risksummering tagits fram. Dessa är:
  1. Total störning
  2. Störning för järnväg
  3. Störning för motorväg
  4. Totalt antal omkomna
  5. Omkomna på järnväg
  6. Omkomna på motorväg
- Riskdatabas – Innehåller all information från ramverken för risksummering och används för att analysera, summera och presentera data från dessa.

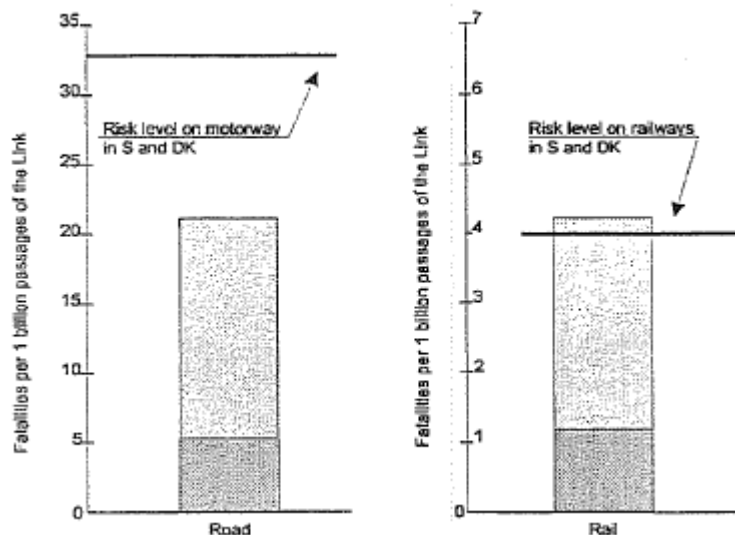
En schematisk beskrivning av arbetsgången i RAS ges i figur 6.2 nedan.



Figur 6.2 Schematisk beskrivning av RAS.

#### Utdata

Risken avseende liv presenteras i form av F/N-kurvor och som förväntat antal omkomna per år. Risken kan studeras för motorvägsanvändare, järnvägsanvändare samt för tredje man. Det finns även en möjlighet att beräkna individrisken för de personer som färdas på motorväg respektive järnväg. Detta resultat kan enkelt jämföras med valda acceptanskriterier, i detta fall genomsnittlig risknivå på danska och svenska motorvägar och järnvägar för en miljard resor över en sträcka motsvarande Öresundsförbindelsen totala längd. Ett resultat från genomförd RAS visas i figur 6.3 nedan. Här visas riskbidraget från tunneln med mörk skuggning och från bro och ö med en ljusare skuggning.



Figur 6.3 Jämförelse av risknivå på Öresundsförbindelsen och motsvarande sträcka i Sverige och Danmark.

Även för störningar på förbindelsen kan resultatet presenteras i form av en F/N-kurva, i detta fall med antal dagar som konsekvensmått.

#### *Kommentarer*

RAS utgör i sig inte någon riskanalys, men är en användbar metod för att på ett tydligt och strukturerat sätt kunna presentera resultaten från genomförda kvantitativa riskanalyser. Dess utformning gör det möjligt att väga in resultat från nya analyser i den sammanlagda riskbilden och därmed kontinuerligt uppdatera resultatet. En fördel med RAS är att det går att väga samman resultaten från kvantitativa riskanalyser av olika slag. Exakt hur respektive analys genomförts är inte väsentligt så länge som resultatet kan delas upp med konsekvensmått enligt valda ramverk för riskhantering. Detta innebär att det för olika olycksscenarioer går att välja den riskanalysmetod som anses mest lämplig i varje enskilt fall.

#### *Tunnelrelevans/applikerbarhet*

Användbar både för väg- och spårtunnlar. Ger goda möjligheter till överföring av olika riskanalyser som genomförs i planeringsskedet till driftskedet.

### **6.4.7 QRAM modellen**

#### *Allmänt*

QRAM (Quantitative Risk Assessment Model) [17, 18, 19, 20] är ett dataprogram framtaget av INERIS (Frankrike) och WS Atkins (UK) i samarbete med Institute of Risk Research från University of Waterloo (Canada). Arbetet har övervakats och följts upp av en samordningskommitté bildad av OECD och PIARC. Det framtagna programmet syftar till att beräkna riskerna med transporter av farligt gods på öppen väg eller i vägtunnlar och skall kunna användas för att jämföra olika alternativa lösningar eller som en jämförelse mot acceptanskriterium.

#### *Typ av olyckor som studeras*

Modellen studerar endast det riskbidrag som ges av farligt godstransporter. Risker förknippade med ”vanliga” trafikolyckor o.s.v. på öppen väg eller i tunnlar exkluderas.

#### *Metodik*

QRAM är ett program för att avgöra risker förknippade med farligt gods på väg. I programmet delas de tänkbara händelseförloppen in i 13 olika, i förväg definierade, scenarier. Två av dessa behandlar bränder i lastbilar, något som ses som ett allvarligt problem, medan resten behandlar olika typer av olyckor med farligt gods. Samtliga definierade scenarier återfinns i tabell 6.3 nedan.

Tabell 6.3 Aktuella olycksscenarier.

Scenario	Description	Capacity of tank	Size of breach (mm)	Mass flow rate (kg/s)
1	HGV fire 20 MW	-	-	
2	HGV fire 100 MW	-	-	
3	BLEVE of LPG in cylinder	50 kg	-	
4	Motor spirit pool fire	28 tonnes	100	20.6
5	VCE of motor spirit	28 tonnes	100	20.6
6	Chlorine release	20 tonnes	50	45
7	BLEVE of LPG in bulk	18 tonnes	-	
8	VCE of LPG in bulk	18 tonnes	50	36
9	Torch fire of LPG in bulk	18 tonnes	50	36
10	Ammonia release	20 tonnes	50	36
11	Acrolein in bulk release	25 tonnes	100	24.8
12	Acrolein in cylinder release	100 tonnes	4	0.02
13	BLEVE of carbon dioxide in bulk	20 tonnes	-	-

Beroende på vilken vägsträckning som skall studeras kan det vara nödvändigt att dela in sträckan i ett flertal homogena segment. Användaren definierar själv de parametrar som gäller för de olika segmenten. Exempel på parametrar som programmet tar hänsyn till är:

- Den aktuella vägsträckans längd
- Trafikbelastning
- Antal personer i fordon
- Andel farligt gods
- Fördelning mellan olika klasser av farligt gods
- Tunnelgeometri

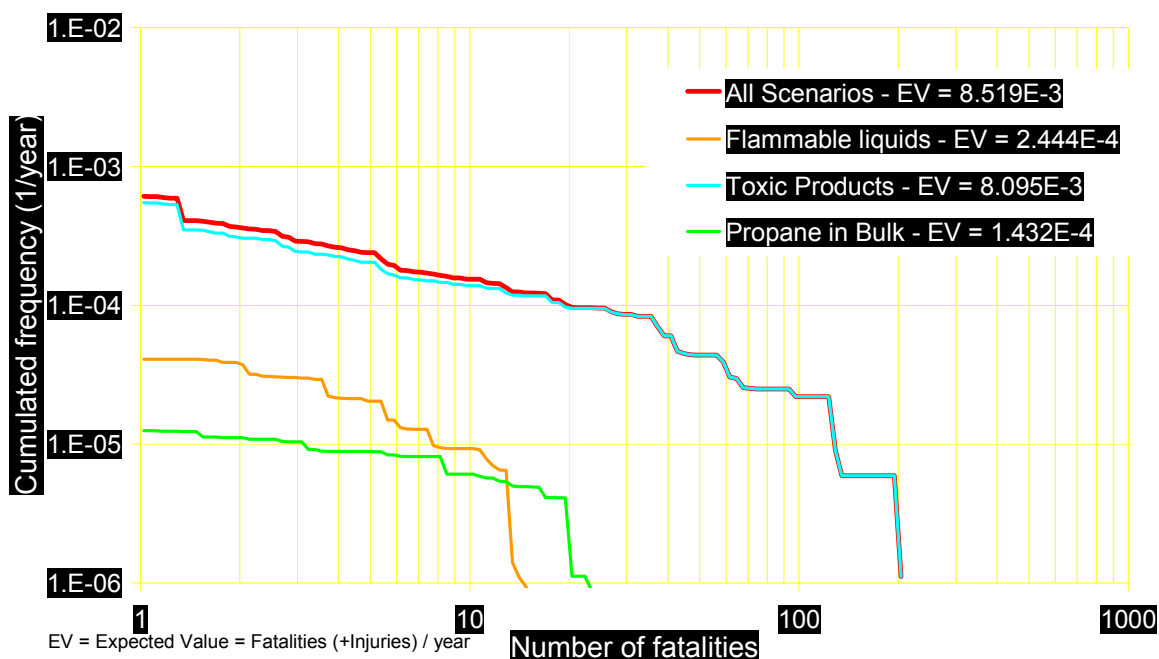
Användaren måste även ange hur sannolikt det är att en trafikolycka inträffar inom området samt vad den relativa sannolikheten är för att en given olycka skall resultera i ett av de definierade scenarierna. En möjlighet finns att använda fördefinierade så kallade default-värden för sannolikheten. Dessa bygger på olycksstatistik från olika länder. Händelsetråd används för att beräkna den relativa sannolikheten för uppkomst av fördefinierade scenarier.

I programmet görs en beräkning av den årliga sannolikheten per sträcka för att de olika scenarierna skall inträffa. Programmet utför även en beräkning av vilken fysisk påverkan respektive scenario kommer att resultera

i. Denna påverkan kan exempelvis vara en temperaturgradient vid brand i en lastbil eller koncentrationskurvor vid utsläpp av toxisk gas. Genom att beräkna hur många individer som befinner sig inom riskzonen och i vilken omfattning de skadas av den fysiska påverkan görs en beräkning av antal döda och skadade. Någon närmare analys av beräkningsgången har inte varit möjlig att genomföra eftersom programvaran inte varit tillgänglig.

#### Utdata

De konsekvenser som inkluderas i modellen är uppdelade i personskador, skador på tunnel samt tidsförluster. Till personskador räknas dödade och skadade till följd av farligt godsolycka, såväl bland trafikanter som bland befolkningen i övrigt. Risker presenteras i programmet i form av individriskkurvor och som F/N-kurvor, se figur 6.3. Skador på tunneln värderas i monetära termer. Förlusten av tid till följd av en farligt godsolycka värderas inte utan anges i absoluta termer.



Figur 6.3 Samhällsriskpresentation via F/N kurva i QRAM modellen.

#### Kommentarer

QRAM är en relativt omfattande och komplex metod som kräver tid för att förstå och att kunna använda på ett korrekt sätt. Den stora mängden indata som användaren behöver ange bidrar till att beräkningsprocessen blir svår att överskåda och att metoden blir relativt tidskrävande. Hur konsekvenser beräknas har inte kunnat studeras, men eftersom programmet tagits fram och verifierats under lång tid bör eventuella brister i beräkningar av fysisk påverkan från olika förlopp i stor utsträckning kunnat identifieras och

åtgärdas. Modellen används i nuläget i Frankrike för riskanalys i tunnlar där farligt gods skall transporteras.

Eftersom programmet ger möjligheten att variera indata kan en enkel känslighetsanalys lätt genomföras av vissa valda parametrar. Detta medger även en jämförande studie mellan alternativa utformningar av vägsträckor. Själva vägens utformning (t.ex. 2 + 1) och eventuella riskreducerande åtgärder inkluderas inte i beräkningarna, vilket innebär en begränsning av tillämpbarheten.

Ett generellt problem med användandet av programvaran tycks vara brister i användargränssnittet. Som exempel kan här nämnas otydlighet vid inmatning av data och svårigheter att spåra beräkningsgången. Nyare versioner av programvaran finns i dagsläget framtagna, varför påpekade problemområden nu kan vara åtgärdade. Någon möjlighet har dock inte funnits att studera nyare versioner.

Till QRAM-modellen finns det även kopplat en beslutsmodell som används till stöd för beslutsfattare av val av vilka farligt gods transporter som kan tillåtas i tunneln.

#### *Tunnelrelevans/applikerbarhet*

Framtagen för vägtunnlar. Modellen är specifik för farligt gods, kan dock sannolikt byggas på med andra modeller som ”instick” på det sätt som görs i Norge.

### **6.4.8 The Dutch Model for the Quantitative Risk Analysis of Road Tunnels (TunPrim)**

#### *Allmänt*

Modellen [21, 22] utvecklades av Centre for Tunnel Safety i Nederländerna. Från början var modellen excel-baserad, dock blev den för stor och omarbetas nu till en datormodell. Denna är ej färdig i dagsläget. Modellen är anpassad för vägtunnlar och skall kunna användas för att optimera säkerhetsnivån genom en kombination av förebyggande åtgärder, optimering av självräddning och skadebegränsande åtgärder vid en inträffad olycka.

#### *Typ av olyckor som studeras*

Modellen inkluderar följande olyckstyper:

- Trafikolyckor
- Fordonsbränder
- Farligt gods av olika typer

#### *Metodik*

Modellen är en händelseträdbaserad QRA som ger utdata i form av F/N-kurva och medelrisk, dvs förväntat antal döda per år. Tunneldesignen testas gentemot resultatet av QRA:n. Dessutom finns en möjlighet att göra en mer specialiserad scenarioanalys för undersökning av passagerarnas möjligheter att självutrymma. Hela modellen innefattas av ett enda händelseträd där alla olika typer av olyckor således skall representeras. Händelseträdet innehåller därför ett stort antal förgreningar:

- Tid på dygnet (för bestämning av trafik)
- Enväg/tvåvägstunnel (enkelrör/dubbelrör)
- Trafiksituation (uppstår trafikstockning uppströms/nedströms från olycksplatsen)
- Olyckans placering i tunneln
- Olyckstyp (personbil, buss, farligt gods)
- Utströmning av farliga ämnen
- Brand
- Sannolikhet för spridning uppströms/nedströms
- Detektion av händelse (värdering av sannolikhet och effekt från trafikdetektorer (stillastående/långsamtgående trafik), detektion av de som använder tunneln, branddetektorer, tunneloperatörens handlande)
- Ventilation
- Utrymningsvägar
- Etc

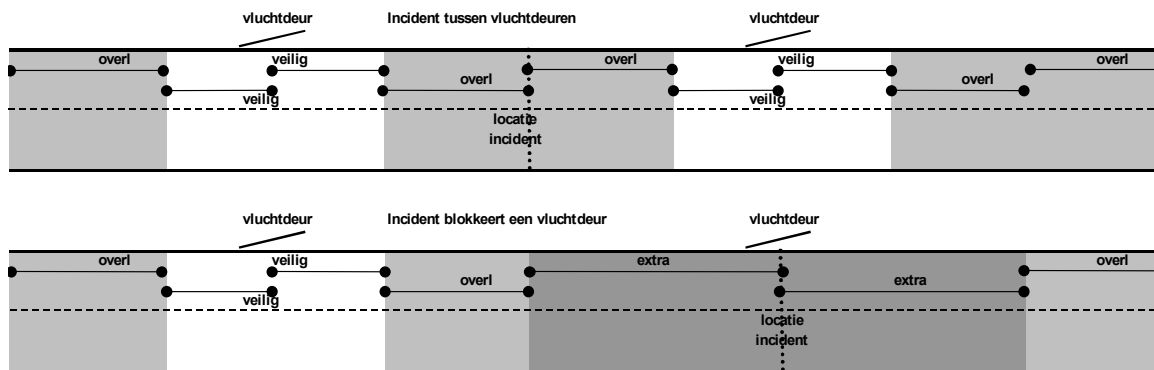
Angreppssättet syftar till att värdera tunnelsäkerheten utifrån tunnelutformning, säkerhetsinstallationer (grundstandard samt effektivitetsvärdering av ytterligare åtgärder) säkerhetsorganisation. Händelsetrådet grenas ut efter värderingar av tänkbara händelseförlopp enligt ovan nämnda punkter. För varje scenario görs sedan en konsekvensvärdering. Här värderas antal omkomna i tre kategorier:

- Omkomna i trafikolyckan
- Omkomna som skadas i trafikolyckan och därför inte kan lämna det för brand eller farligt gods exponerade området
- Omkomna som ej hinner utrymma i tid

Den första kategorin värderas utifrån medelvärden över antal döda (med personskador) för de olika olyckorna. I den andra kategorin värderas antal skadade per olycka och sannolikheten att de ”stängs in” samt sannolikheten att omkomma till följd av detta för respektive scenario.

I den tredje kategorin görs värderingarna utifrån att ett exponeringsområde bestäms såväl nedströms som uppströms från olycksplatsen för samtliga olycksscenarier. Antal personer i exponeringszonerna beräknas sedan utifrån omfattningen av trafikstockningar framför och bakom händelsen.

Exakt hur konsekvensvärderingen och värderingen av exponeringszonernas storlek går till har ej kunnat utläsas då modellen ej finns tillgänglig som mjukvara. Nedan ses exempel på exponeringsområden (gråa) och säkra områden (vita) för ett fall där utrymningsvägarna är tillgängliga och ett fall där en utrymningsväg ej kan nås.



Figur 6.4 Exponeringsområden vid tillgänglig respektive otillgänglig utrymningsväg.

För bränder antas att samtliga överlever i zoner där temperaturen understiger 60 grader samt att samtliga omkommer i områden där temperaturen överstiger 200 grader. Däremellan antas en viss andel av de exponerade omkomma. Utrymningsutformningen tas med i beräkningarna genom att ”säkra” zoner skapas inom vissa avstånd från varje utrymningsväg. Ju större andel säkra zoner som finns desto färre omkomna och därmed lägre risk. Hur storleken på dessa ”säkra” områden beräknas är ej känt. Huruvida de länkar till hur länge personer kan vistas i de förhållanden de utsätts för (hur länge de kan gå i rökfylld miljö t ex) är ej klart och ej heller ur denna länkning i sådana fall görs.

#### Kommentarer

Modellen förefaller ha en styrka i att den ger ett strukturerat upplägg och klar metodik för utförande av riskanalysen och framförallt en väl utvecklad genomgång av potentiella olyckor genom framtagandet av ett omfattande händelsetråd. Det går i och för sig att tänka sig ytterligare faktorer som skulle kunna tas med i händelsetrådet, exempelvis förekomst av sprinkler etc. Vad gäller konsekvensvärderingen så har ej tillräcklig information erhållits för att i detalj kunna värdera denna. Dock förefaller det som denna är ganska grov i och med användandet av exponeringszoner och en till synes liten grad av transienta beräkningar av olika brand- och utrymningsförlopp. Detta behöver dock verifieras när modellen finns tillgänglig.

En översiktlig bedömning är att kombinationen av kvantitativ riskanalys med förhållandevis grova indelningar och konsekvensbedömningar samt möjligheten till scenarioanalys för självutrymning skulle kunna vara användbar i ett skede där säkerhetsåtgärder av omfattande slag som exempelvis avstånd mellan utrymningsvägar studeras. För detta ändamål är det effektivt att ha en modell som är ”snabb” och där utformningen kan itereras fram för att hitta lösningar. Dock lär det behövas en mer detaljerad bedömning av olyckskonsekvenser för att mer i detalj kunna bedöma risker utifrån de specifika förhållanden som föreligger i den studerade tunneln (trafik, ventilation, naturliga vindförhållanden, lutning i tunneln etc). Vidare är det ej känt hur modellen beräknar olycksfrekvenser, vilken statistik detta baserar sig på, och huruvida dessa bedömningar kan ändras av användaren.



### *Utdata*

Risker presenteras i form av F/N-kurvor med frekvensen uttryckt på formen per år. Dessutom beräknas medelrisken i form av förväntat antal omkomna per år. Då modellen kan anpassas efter olika utformningar förhållandevis snabbt kan jämförande F/N-kurvor tas fram av programmet. Exempelvis kan grafer tas fram som jämför samhällsriskerna vid olika avstånd mellan utrymningsvägar.

### *Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Modellen är framtagen för vägtunnlar och är ej specifik för farligt gods. Förefaller ha en metodik för att värdera riskreducerande åtgärder på ett ”enkelt” sätt. Datormodellen fungerar enligt uppgift ej i dagens läge, detta justeras under 2005 och sedan skall modellen finnas tillgänglig för alla på [www.tunnelsafety.nl](http://www.tunnelsafety.nl).

## **6.4.9 Säkerhet i järnvägstunnlar - BVH 585.30**

### *Allmänt*

BVH 585.30 är Banverkets handbok i säkerhetsvärdering av järnvägstunnlar [23]. Handboken har funnits sedan 1997 och använts i ett flertal tunnelprojekt. Värt att notera är att det pågår ett arbete med att revidera BVH 585.30 vilket beräknas vara klart under år 2005.

### *Typ av olyckor som studeras*

I en bilaga till BVH 585.30 beskrivs följande olyckstyper:

- Sammanstötning
- Urspårning
- Brand i tåg

Det föreligger dock inget hinder att komplettera analysen med andra olyckstyper tex kombinationshändelser eller brand i installationer om så bedöms vara relevant utifrån riskidentifieringen.

### *Metodik*

Inbyggt i dagens BVH 585.30 finns de vanliga byggstenarna i en QRA modell enligt följande:

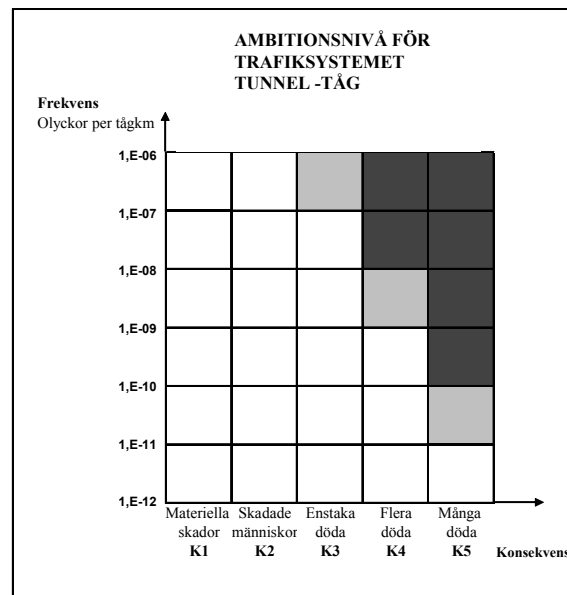
- beskrivning av aktuellt trafiksystem
- identifiering av olyckssituationer
- implementering av säkerhetshöjande åtgärder , normalstandard
- identifiering av felutvecklingar (felträd)
- identifiering av olyckskonsekvenser (händelseträd)
- bedömning av om ambitionsnivån har uppnåtts, samt eventuellt komplettering med flera säkerhetshöjande åtgärder, så kallade tilläggsåtgärder.

I QRA modellen finns en ambitionsnivå som har kvantifierats i en riskmatris

genom acceptabel, ALARP och oacceptabla risknivåer, se figur 6.5. Uppfylls inte Banverkets ambitionsnivå sker en förnyad analys med tilläggsåtgärder. Inbyggd i den kvantifierade acceptansnivån finns en aversions faktor mot större olyckor. Modellen möjliggör byte av olika risktyper för att uppnå ambitionsnivån.

#### Ambitionsnivå:

Järnvägstrafik per kilometer i tunnlar skall vara lika säker som järnvägstrafik per kilometer på markspår, exklusive plankorsningar.



*Vitt:* Ambitionsnivå är uppnådd. Säkerställ nivån genom kontinuerlig uppföljning av förändringar, incidenter och säkerhetsåtgärder.

*Mellangrått:* Risknivån ligger i nivå med markspår. Värdera säkerhetshöjande åtgärder mot ytterligare förbättrad säkerhet.

*Mörkgrått:* Ambitionsnivån är ej uppnådd. Omvärdera koncept och säkerhetshöjande åtgärder.

Figur 6.5 Riskmatrix för trafiksystem tunnel-tåg med inlagd ambitionsnivå.

#### Kommentarer

De huvudsakliga skillnaderna i hur risk presenteras av Banverket i jämförelse med andra

tillgängliga QRA-metoder som används i andra sammanhang i Sverige är:

- Banverket beräknar och presenterar olycksfrekvenser med enheten per tågkm istället för per år vilket är mer brukligt i samhällsrisksammanhang.
- Banverket använder en klassindelning för konsekvenser. Detta görs ofta då grovriskanalyser genomförs, dock är det vanligt att använda konsekvensen som en kontinuerlig variabel i mer detaljerade

riskanalyser. Vidare skiljer sig klassindelningen från den som normalt brukar användas i grovriskanalyser.

- Den exponerade gruppen som studeras i Banverkets analyser är passagerare på tåg, medan det annars ofta är tredje man. Det kan argumenteras, se ovan, att riskacceptansen för dessa grupper är olika då tågpassagerare har en personlig nytta av den risk de exponeras för, medan exempelvis boende intill en industri exponeras för en risk som de inte har någon nytta av.
- Banverket har tagit fram egna acceptanskriterier för att bedöma huruvida risknivån är acceptabel eller ej. Detta görs i alla sammanhang inom Banverket. Därefter görs en jämförelse med internationella kriterier.

### *Olycksfrekvenser*

Banverket använder olycksfrekvenser presenterade i enheten per tågkm. Motiveringen till detta är bland annat att tågtrafik generellt anses vara ett säkert transportsätt och att risker förknippade med transporter ofta uttrycks i relation till trafikarbete varför begreppet bör behållas. Detta underlättar också jämförelsen med den ambitionsnivå som sedan används för riskbedömningen.

I jämförelse med att uttrycka olycksfrekvenser i enheten per år har detta tillvägagångssätt ett antal fördelar och nackdelar. Fördelen är att med denna metod så vägs nyttjandet av riskkällan, tunneln i det här fallet, in i bedömningen av olycksfrekvensen och därmed också i riskbedömningen vilket är väsentligt enligt de principer som SRV anger i [1]. Nyttjandet är i någon mån ett mått på riskkällans nytta. Ett ännu mer detaljerat sätt att betrakta nyttan är att ange olycksfrekvenser i enheten per personkm vilket innebär att den faktiska transportnyttan direkt vägs in.

Ett problem som uppstår är att dessa sätt att presentera risken kan upplevas som abstrakt och det blir svårt att bedöma hur ofta olyckor egentligen kan förväntas inträffa. För personer utan detaljkunskaper i området blir detta sätt att presentera risk svårt att relatera till. Detta gäller också i viss utsträckning vid utförande av riskanalyser där risken uttrycks i enheten per år dock är detta problem mer tydligt vid användande av enheten per tågkm. Detta kan i viss mån försvåra förståelsen för vad den beräknade risken innebär för samhället vilket i sin tur kan påverka de beslut som fattas till följd av riskanalysens resultat.

### *Klassindelade olyckskonsekvenser*

Att använda en klassindelning för att beskriva olyckskonsekvenser är ett förenklat och mindre detaljerat sätt att presentera den beräknade risken än om konsekvensen förutsätts vara en kontinuerlig variabel. Banverket delar in konsekvensen i 5 olika klasser, från K1-K5 där K1 är ”materiella skador” och K5 motsvarar ”många döda”.

SRV [1] tar också upp klassindelning av konsekvenser då detta används då grovanalyser utförs och resultatet presenteras i en riskmatris. Även i dessa exempel används en 5-gradig skala, vilken går från ”övergående, lindriga obehag” till ”flera dödsfall och 10-tals svårt skadade”. Det maximala konsekvensutfallet vid en svår tågolycka i en tunnel kan förväntas vara

mycket stort. Det teoretiska maximala utfallet motsvaras av det maximala antalet som samtidigt vistas i tunneln. Detta innebär att indelning i endast 5 konsekvensklasser skall täcka in ett stort spann av konsekvenser vilket innebär att en inte försumbar mängd information går förlorad, särskilt vad gäller andelen olyckor med mycket stora konsekvenser. Å andra sidan kan argumenteras att detaljerade bedömningar av konsekvenser är behäftade med så stora osäkerheter att ett intervall ändå bör anges. Då så pass kvantitativa och detaljerade bedömningar görs av olycksfrekvenser förefaller det ändå logiskt att göra mer nyanserade kvantitativa bedömningar även av konsekvenserna för att sedan analysera osäkerheterna i dessa bedömningar. Detta skulle också medföra mer detaljerade analyser av konsekvenserna av vissa händelseförlopp vilket skulle kunna påverka de beräknade resultaten.

#### *Utdata*

Ger en riskmatris på basen olyckor per tågkilometer, konsekvenser i 5 konsekvensklasser K1-K5, se figur ovan.

#### *Tunnelrelevans/applikerbarhet*

Metoden är speciellt framtagen för spårtunnlar.

### **6.4.10 LULQRA – London Underground Limited Quantitative Risk Analysis**

#### *Allmänt*

London Underground Limited har utvecklat en modell [24] för riskanalys av sina befintliga tunnelbanelinjer som fokuserar på att bedöma risker mot allmänheten och sina kunder, dvs passagerarna. Denna modell är intressant då den aktivt används som ett riskhanteringsverktyg genom att de väsentligaste bidragande faktorerna till riskprofilen identifieras och att även de viktigaste bakomliggande orsakerna till dessa identifieras vilket underlättar att finna de mest effektiva åtgärderna. Analysen utförs med årliga revideringar för hela systemet.

#### *Typ av olyckor som studeras*

En olyckskatalog finns framtagen som skall motsvara de tänkbara olyckshändelserna. Katalogen är indelad i ett antal topphändelser som finns definierade. För varje topphändelse finns ett antal scenarier som skall studeras och värderas. Nedan ges en översikt över de händelser som ingår att studera i LULQRA:

*Tabell 6.4 Olyckor som tas upp i LULQRA.*

Tophändelse	Definition	Exempel på scenarier/orsaker
Ljusbåge	Kortslutning eller elfel på strömförsörjning till banan	Jordfel
Kollision mellan tåg	Kollision mellan två eller fler tåg	Frontalkrockar Höghastighetskollisioner Kollision i medelhög hastighet

Tophändelse	Definition	Exempel på scenarier/orsaker
Kollision	Kollision mellan tåg och annat föremål än tåg	Kollision i låg hastighet Kollision på öppet spår Kollision i tunnel Kollision med plattform
Urspårning	Händelser där tåg oönskat lämnar spår	Banfel Signalfel Konstruktionsfel/kollaps Fel på rullande materia Fel hastighet
Brand i rulltrappa	Brand i rulltrappa, rulltrappsschakt eller rulltrappsmaskinrum	Brand i rulltrappor Brand i transportband
Explosion	Avsiktligt eller oavsiktligt antändande eller tryckuppbyggnad av brännbara substanser	Externa explosioner (vägfordon) Interna explosioner
Översvämning	Händelse som uppstår som resultat från överflöde från stora vattendrag, fel på barriärer mot vattendrag eller utsläpp av vatten från vattenledningssystem med potentiella konsekvenser i form av förlust av liv	Kollaps på huvudledningar Översvämning från vattendrag i direkt kontakt Kollaps av barriär
Hissbränder	Bränder i hissorgar, schakt och maskinrum	Brand i hissorg Brand i maskinrum Brand i schakt
Gränssnitt mellan plattform och tåg	Risker i gränsen mellan plattform och tåg, Även ombordsrisker	Fall från plattform Fall mellan plattform och tåg Medsläpningsolyckor Felaktig öppning av dörrar på eller mellan stationer Felaktigt användande av dörrar mellan vagnar
Fel på kraftförsörjning	Händelser associerade med större strömbortfall som påverkar tåg och stationer	Påverkan på stationer (hissar och rulltrappor) Påverkan på möjligheten att framföra tåg
Olyckor inom stationsområde	Olyckor inom stationsområdet som ej täcks in av övriga kategorier (dvs ej brand på station, brand i hiss, rulltrappa, olyckor i	Stationen: Överfyllda plattformar Fall i rulltrappor Fall i trappor Hissar: Fel på hissbromsar

Topphändelse	Definition	Exempel på scenarier/orsaker
	gränssnittet tågplattform)	Personer fastnar i hiss Rulltrappor: Olika typer av fel på rulltrappor
Brand på station	Brand i publika eller icke publika områden på en station	Brand i publika utrymmen Brand i icke publika utrymmen
Kollaps av konstruktion	Händelse till följd av kollaps av infrastruktur med potentiell konsekvens för passagerare	Broar Stationer Tunnelar
Brand i tåg	Brand i tåg, såväl inne i tåget som på utsidan	Brand i vagn Brand under vagn
Tunnelbränder	Bränder i tunnelar, exklusive station	Brand i bana
Ventilationsfaror	Händelser där tåg stannar i områden med otillräcklig ventilation	Tåg stannar i utrymme med otillräcklig ventilation

### Metodik

Den metodik som används för värdering av risker utgår ifrån att bedöma frekvenser för de ovan nämnda topphändelserna med hjälp av felträdsmetodik där de bakomliggande faktorerna till topphändelsen värderas. Sedan bedöms frekvens och konsekvens för olika scenarier för varje topphändelse med hjälp av händelsetråd. Konsekvenser bedöms i form av ett teoretiskt antal döda och bedömningen utgår ifrån statistik, konsekvensanalyser och expertbedömningar. Risken framställs som antal omkomna per år.

Med denna metodik kan riskbidraget från varje topphändelse studeras separat för att se hur stor del av den totala risken de utgör. Vidare studeras även topphändelserna för att identifiera de scenarier eller bakomliggande orsaker som ger störst bidrag till respektive topphändelse. Detta medför att det går att härleda de viktigaste riskfaktorerna i systemet vilket teoretiskt gör det möjligt att rikta riskreducerande åtgärder till de områden där de ger störst riskreduktion.

### Utdata

Risken presenteras i följande tre sammanställningar.

Riskprofil och summeringstabell:

Riskprofilen är en grafisk sammanställning av varje topphändelses totala risk i antal omkomna per år. Framställs som stapeldiagram där de olika topphändelserna kan jämföras.

Dessutom tas en tabell fram där topphändelserna rangordnas efter deras bidrag till den totala risken, procentuellt bidrag anges. Indelning av

topphändelserna sker i följande riskkategorier:

Hög: Topphändelsen är dominant, bidrar till den totala risken med mer än 50 %

Medel: Topphändelse är signifikant, bidrar till den totala risken med mer än 10 %

Låg: Topphändelsen bidrar till den totala risken med mindre än 10 %.

Sedan görs en genomgång av varje topphändelse med avseende på de främsta bidragen till risken inom varje topphändelse. Allt detta presenteras i en tabell som ordnas efter topphändelsens riskbidrag. För varje topphändelse ges sedan de viktigaste scenarierna som bidrar mest till risken inom topphändelsen. Exempel på utseende enligt tabell 6.5.

Tabell 6.5 Exempel på utseende för summeringstabell av risk.

Toppändelse	Risk (antal döda per år)	Huvudscenarier för respektive toppändelse	Risk-kategori
Gränssnitt mellan tåg och plattform (39 % av den totala risken)	5.0	Plattform – tåg(76%): Passagerare faller från plattform (55 %) Passagerare på plattform träffas av tåg (15%) Passagerare faller mellan tåg och plattform (6%) Medsläpning längs med plattform (0.01 %)  På tåg (24%): Felaktig dörröppning (18%) Otillåtet användande av dörrar mellan tåg (5%) Passagerare kläms i tågdörrar (1%)	Medium
Urspårning	2.8	Konstruktionsfel/kollaps (33%) Banfel (30%) Signalfel (20%) Fel på rullande material (9%) Fel hastighet (8%)	Medium
Etc	Etc	Etc	Etc

#### F/N-kurva

F/N-kurvor tas fram med frekvenser på formen per år. Vid revision jämförs med tidigare analysers F/N-kurvor.

Sammanfattningsvis så presenteras risken i systemet på följande sätt:

- F/N-kurvor på basen per år

- Medelrisk för olika typhändelser i stapeldiagram
- Rangordning av riskkällor

#### *Kommentarer*

Modellen innehåller en detaljerad olyckskatalog och är därför i hög grad specialanpassad till tunnelbanesystem och de risker som förekommer inom sådana system (rulltrappor, plattformsolyckor, fall, strömskenor etc).

Upplägget att dela in riskerna i olika händelser, scenarier och bakomliggande orsaker ger mycket användbar information för att illustrera de viktigaste riskfaktorerna och möjliggöra en optimering av riskhanteringen. Det är tydligt att modellen är anpassad för att användas som en del av riskhanteringen för ett redan befintligt system. En viktig styrka är detaljeringen i bakomliggande orsaker och kopplingen till statistik för systemet. Detta medför också att appliceringen på andra system kan vara komplicerad utan stora omarbetningar av olyckskatalogen.

Detaljeringsgraden är som nämnts stor då den utgår ifrån ett befintligt system. Detta medför att det sannolikt ej är möjligt eller värdefullt att använda modellen i ett tunnelprojekt innan utformningen i detalj är satt.

#### *Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Framtagen för tunnelbana vilket ligger utanför den avgränsning som gjorts i projektet. Modellen har dock tagits med pga att den föreligger ha ett intressant upplägg som bl.a. tilltalar Räddningsverket. Olyckskatalogen kan anpassas så att ej väsentliga riskkällor tas bort och väsentliga läggs till (exempelvis finns ej farligt gods med). Tydligt att den är framtagen för att värdera befintliga system och för upprepade analyser för att kontrollera risknivån. Modellen föreligger mest lämpligt under driftsskedet. Modellens orsaksanalys bör även kunna inspirera till förbättrade orsaksanalyser i svenska tunnlar.

## 6.5 Stödjande riskanalysmodeller för frekvensuppskattningar

### 6.5.1 Allmänt

Som stödjande riskanalysmodeller räknas modeller som i sig ej utgör metoder för att värdera risker utan kan användas för att bedöma olika sannolikheter eller frekvenser.

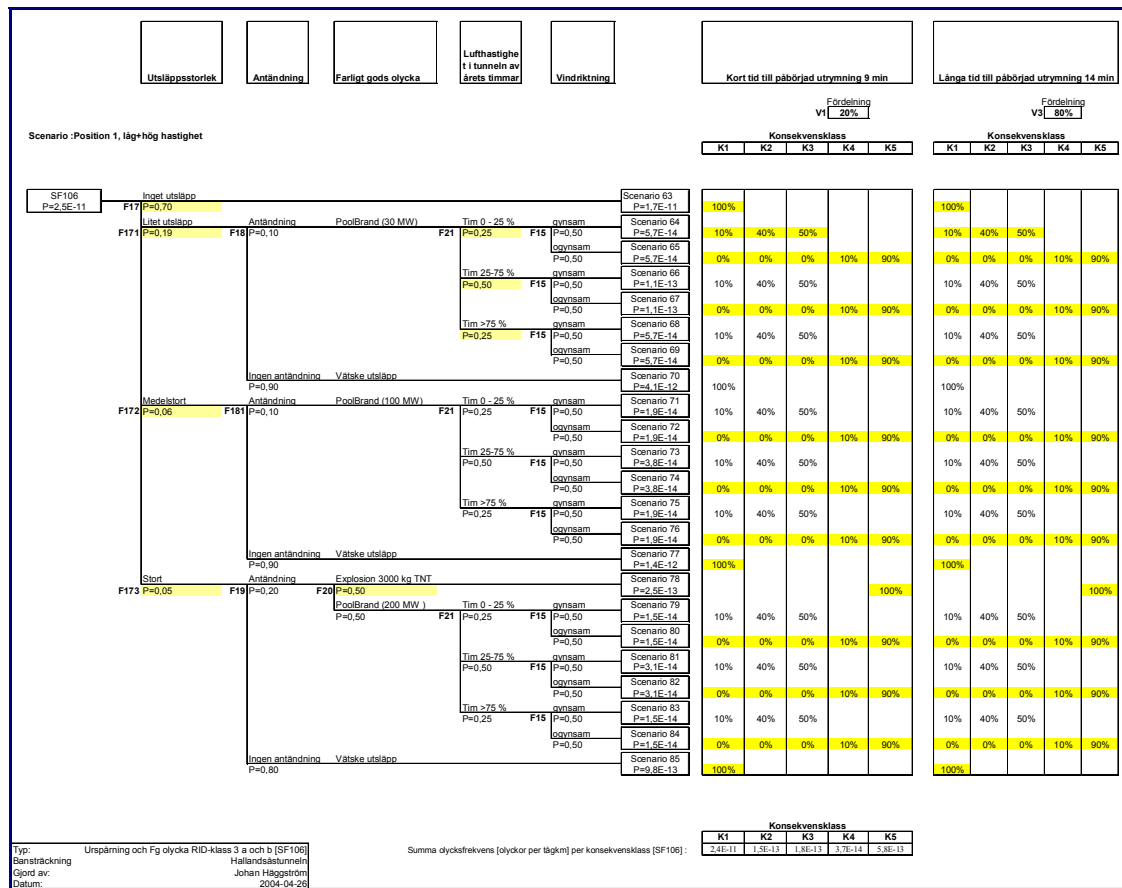
### 6.5.2 Händelseträdsanalys

För att utreda tänkbara händelseförlopp för olika starthändelser kan händelseträdsteknik användas. Med denna teknik utvecklas ett antal olika utfall ifrån en definierad starthändelse, exempelvis brand i tåg. Ett antal sluthändelser, scenarier, kan då identifieras för vilka såväl frekvens som konsekvens kan bestämmas.

Händelseträd byggs upp av grenar där förgreningarna representerar olika möjliga händelser eller förhållanden. Dessa kan exempelvis vara



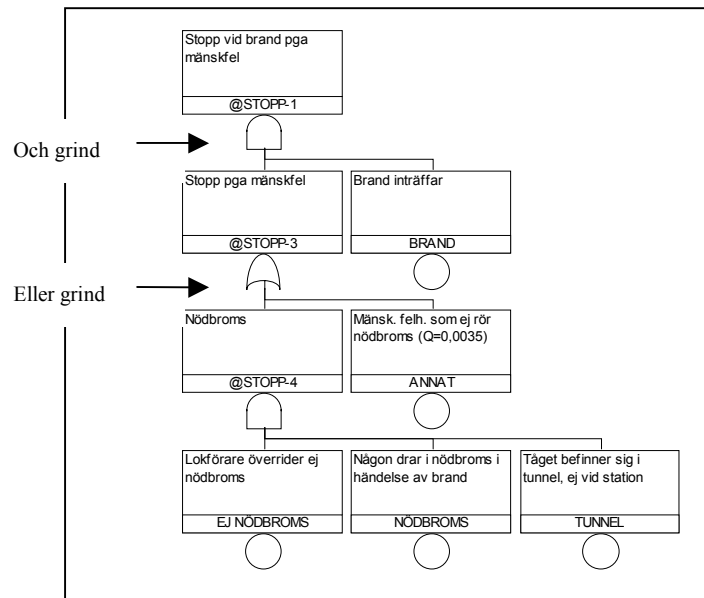
brandstorlek, personantal i tåg, vindriktning, tågets stopplats i förhållande till utrymningsvägar etc. Varje förgrening förses med sannolikheter för de olika utfallen. Metoden medför en strukturerad genomgång av möjliga händelseförlopp och en sannolikhetsbedömning av de tänkbara scenarierna.



Figur 6.6 Exempel på händelseträd i en spårtunnel.

### 6.5.3 Felträdsanalys

Används för att i en QRA bedöma frekvensen för en starthändelse eller en förgreningssannolikhet genom att gå igenom vilka villkor som måste uppfyllas för att händelsen ska inträffa. Strukturerar de parametrar som ligger bakom en viss händelse vilket även medför att det blir lättare att identifiera hur olyckor kan förebyggas eller göras mindre sannolika.



Figur 6.7 Exempel på felträd.

Och grind: Sannolikheten för den resulterande händelsen är lika med produkten av sannolikheterna för de orsakade händelserna.

Eller grind: Sannolikheten för den resulterade händelsen är approximativt lika med summan av sannolikheterna för de orsakade händelserna

Andra typer av logiska villkor kan även förekomma i ett felträd.

#### 6.5.4 Modell för skattning av sannolikheter för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen

Modellen [25] är i första hand ett hjälpmedel för skattning av de omedelbara risker som järnvägstrafik kan innebära för omgivningen vilket benämns omgivningsrisker. Modellen anger att skattningen av omgivningsrisken sker i 4 steg varav de två första stegen är redovisade.

1. Sannolikheten för olika typer av järnvägsolyckor
2. En bedömning av de omedelbara effekterna av dessa olyckor, primära konsekvenser
3. En bedömning av olyckans slutliga konsekvens för omgivningen, sekundär konsekvenser
4. Sammanvägning av 1. och 3 till en risk

I modellen finns även en skattning hur långt från spåret ett fordon kan hamna efter en olycka eftersom detta anges vara avgörande vid en bedömning av sannolikheten för att bebyggelse intill spåret skall skadas.

Skattningen av förväntat antal olyckor bygger på hypotesen att järnvägens olyckor kan delas upp i ett begränsat antal typer vilket kan betraktas som oberoende av varandra. Vidare antas att förväntat antal olyckor ( $\Phi$ ) är en linjär funktion av ett uttryck för verksamhetens omfattning (exponeringsvariabel,  $W$ )

$$\Phi = W \cdot \xi, \text{ där } \xi \text{ är intensitetsfaktorn (felintensitet)}$$

Exponeringsvariabeln  $W$  har flera exponeringsmått, spårkm, antal passerade tåg, antal passager genom växel, godsvagnsaxelkm mm.

Olyckstyper som modellen behandlar är:

- Urspärning,
- Påkörning i samband med urspärning och dubbelspår,
- Sammanstötning mellan tåg etc
- Olyckor vid växling/rangering
- Bränder
- Plankorsningsolyckor

Konsekvensvärderingen sker med stöd av tre stycken hastighetsklasser, TH, VH och KH.

TH = Rörelse i ett hastighetsintervall upp till den för banan eller fordonet högsta hastighet

VH = Rörelse i ett hastighetsintervall upp till den för växlingen högsta tillåtna (30km/h)

KH = Rörelse i en hastighetsintervall upp till ca 5 km/h

*Utdata*

- Förväntat antal olyckor per år
- Primära konsekvenser för omgivningen i tre konsekvensklasser

*Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Modellen har använts i ett antal tunnelsäkerhetsanalyser i olika skeden för att stödja beräkningarna av olycksfrekvenser. Det finns här också information avseende skador på tankvagnar och avstånd från spår efter urspärning som är användbart i en riskanalys av en spårtunnel. Konsekvensvärderingen avser inte tunnlar och är därför svårare att applicera direkt ifrån markspårshållanden.

### 6.5.5 TUSI-modellen

Norsk modell för vägtunnlar som beräknar olycksfrekvenser och frekvenser för fordonshaveri och brand [26]. Vid beräkningarna finns bl.a. samband mellan olyckfrekvenser och trafikmängd, stigningsgrad, horisontal-, vertikalkurvor och säkerhetsutrustning i tunnlar. Modellen har kalibrerats mot statistik ifrån 35 tv-övervakade utländska och norska tunnlar. I Norge har modellen använts i mer än 50 vägtunnlar och har även omtalats på internationella kongresser i Trondheim och Basel. TUSI-modellen används i dag i Norge tillsammans med andra modeller för att bygga upp en QRA.

Modellen för beräkning av olycksfrekvensen utgår ifrån tre typer av vägtunnlar:

- En körriktning, ingen begräsning av antal körfält
  - Uk ingångszon = 0,223
  - Uk inre zon = 0,07

- Två körriktningar och två körfält  
 $Uk \text{ ingångszon} = 0,319$   
 $Uk \text{ inre zon} = 0,10$
- Två körriktningar och ett körfält  
 $Uk \text{ ingångszon} = 0,956$   
 $Uk \text{ inre zon} = 0,30$

$Uk = \text{olyckskvot}$

För varje tunneltyp beräknas det en olycksfrekvens för mynningszonen (50 m) och den inre zonen.

Tunneln förutsätts som utgångspunkt vara rak och med stigningen 0 %. Olycksfrekvensen korrigeras därefter beroende på om tunnelns parametrar skiljer sig ifrån de som angivits som "default" värden. Tunneln delas in i max sju delar där varje del förutsätts ha en bestämd stigningsgrad.

För tunga fordon har det lagts in en korrektion när andelen överstiger 10 procent.

För omkörningsfält i tvåvägstunnlar är det också inlagt en korrektion. Korrektionens storlek är baserad på att antalet mötesolyckor sjunker. Längden på omkörningsfältet räknas här in.

När det gäller ÅDT (årsdygnstrafik) är det korrigerat med hänsyn till högre olyckskvoter för låga ÅDT. För ÅDT högre än 10 000 per körfält finns ingen korrektion.

#### *Fordonshaverier och brand*

För både haverier och brand finns det en längd- och stigningskorrigering. Erfarenheten visar att trafikanter inte kör in eller enkelt tar sig ut i korta tunnlar. Erfarenheter visar också att det sker fler haverier i branta tunnlar än i tunnlar med liten stigningsgrad.

#### *Utdata*

- Olycksfrekvenser med personsador, per milj. fordonskm, antal per år, år mellan olycka.
- Olycksfrekvenser med materiella skador, per milj. fordonskm, antal per år, år mellan olycka.
- Frekvens fordonshaverier, antal per år, år mellan olycka
- Brand i fordon , antal per år, år mellan olycka

#### *Tunnelrelevans/applikerbarhet*

Modellen är specifikt framtagen för vägtunnlar för att beräkna olycksfrekvenser för fordon.

### **6.5.6 Vägverkets trafiksäkerhetsmodell i EVA 2.31**

Vägverkets trafiksäkerhetsmodell i EVA 2.31 [27] utgår från att vägnätet delas in i länkar och korsningar och att dessa kan effektbedömas oberoende av varandra.

Trafiksäkerhetssituationen för olika väglänkstyper, beskrivs med

normalvärden för:

- Olyckskvot OK (antal polisrapporterade olyckor/miljonaxelparkilometer)
- Skadeföljd SF (antal skadade inkl. dödade per polisrapporterad olycka)
- Allvarlighetsföljd AF (antal svårt skadade och dödade per polisrapporterad olycka)
- Egendomsföljd EF (andel egendomsskadeolyckor per polisrapporterad olycka).

Dessa ges för fordonsolyckor (MF), cykelolyckor med motorfordon (C) samt gåendeolyckor med motorfordon (G).

Modellen kan användas för beräkning av olyckskvoter för vägar och skadekvoter beroende på olika tekniska åtgärder och utformning. Den är ej anpassad till tunnlar.

*Utdata*

- Olyckskvoter
- Skadekvoter (människa och egendom)

*Tunnelrelevans/applicerbarhet*

Framtagen för vägar, inte specifikt tunnlar. Samband och effekter av vissa åtgärder bör dock kunna tillämpas även i vägtunnlar.

## 6.6 Stödjande riskanalysmodeller för konsekvensuppskattningar

### 6.6.1 Allmänt

Som stödjande riskanalysmodeller räknas modeller som i sig ej utgör metoder för att värdera risker utan kan användas för att bedöma möjliga konsekvenser av olika olyckor.

### 6.6.2 Modeller för konsekvensskattningar av brandhändelser

För att kunna bedöma konsekvenser av brandhändelser krävs dels någon form av modell som bedömer förhållanden avseende brandgasspridning och temperaturer till följd av branden, dels en modell som bedömer vilken påverkan dessa förhållanden kan få på personer. Detta innebär också att det behövs någon form av modell för att bedöma utrymningsförlopp. Det finns olika avancerade modeller för detta, nedan presenteras några.

Dessa tre typer av modeller länkas till varandra för konsekvensbedömningar:

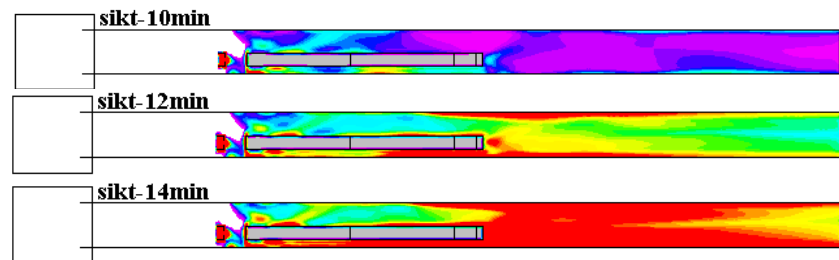
- Modell för analys av brandförlopp (se nedan, CFD-teknik, endimensionella modeller)
- Modell för analys av utrymningsförlopp (se nedan, datoriserade utrymningsmodeller, handberäkningsmodeller)

- Modell för analys av mänsklig påverkan (toxicitet, strålning etc) (se nedan, FED-beräkningar)

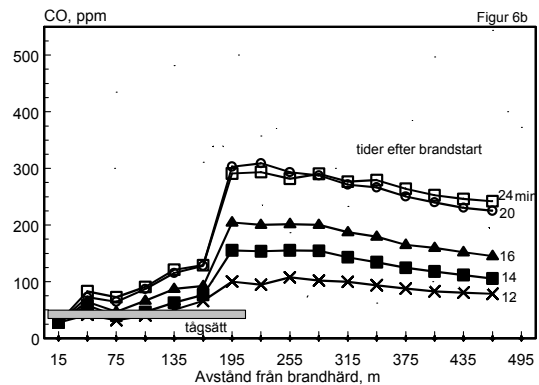
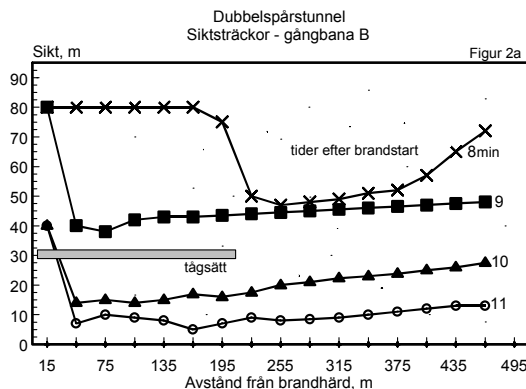
#### Datoriserade brand- och rökspridningsberäkningar, CFD-teknik

Med CFD (Computational Fluid Dynamics) kan tredimensionell variation av temperaturer, gashastigheter och röktäthet beräknas. Beräkningarna bygger på de fysikaliska samband som styr transporten av massa och energi i rummet. Modellen förutsätter att den studerade volymen delas in i ett stort antal volymenheter (beräkningsceller).

Med en CFD-modell kan sotinnehållet och därmed den optiska densiteten i brandgaserna beräknas. Utifrån beräknade värden på optisk densitet kan sedan siktbarheten (siktsträckor) i brandgaserna förutsägas. Genom att ansätta olika randvillkor kan variationer i vindförhållanden studeras.



Siktsträckor i det horisontella planet 2.0 m över tunnelns golv (gångbanorna).



Figur 6.8 Exempel på resultatpresentation ifrån CFD-beräkningar.

Som stöd vid val av brandscenario som skall scenarioanalyseras i vägtunnlar kan användas de rekommendationer som anges av PIARC [37].

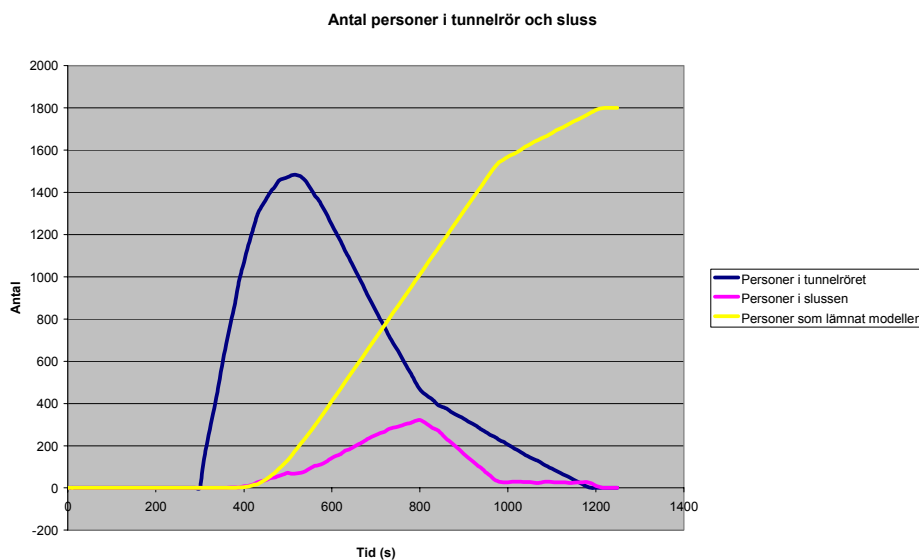
Fördelen med CFD-beräkningar är att beräkningsresultaten med rätt metod blir förhållandevis tillförlitliga och detaljerade. Nackdelen är att de är tidskrävande att utföra.

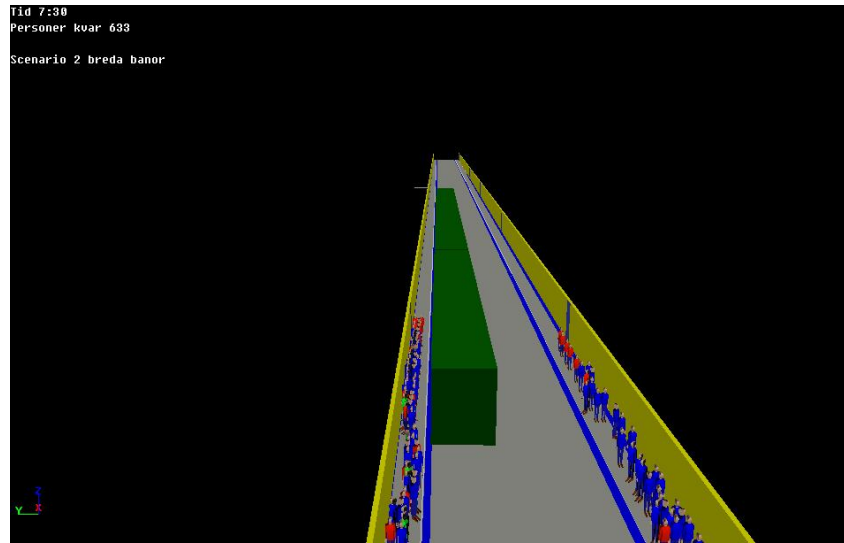
### Endimensionella modeller – brand/rök

Endimensionella modeller kan ge utdata för sikt och koncentrationer av toxiska ämnen samt temperatur på olika platser i tunneln vid olika tidpunkter [28]. Fördelen med endimensionella beräkningsmodeller är att beräkningstiden är kort vilket gör det möjligt att studera ett större antal scenarier. Nackdelen är att förenklingarna gör att resultaten i vissa fall ej är helt tillförlitliga. Tidsstegen i beräkningarna är oftast stora, och generellt får resultaten från endimensionella beräkningar anses vara betydligt grövre än från CFD-beräkningar.

### Datoriserade utrymningsmodeller

Det finns ett flertal tillgängliga modeller för att simulera utrymning (Simulex, STEPS, Exodus etc). De är oftast ej anpassade direkt till tunnlar utan olika justeringar kan behöva göras för att variera exempelvis gånghastigheter och urstigningstider. Vissa modeller kan direkt ta hänsyn till siktförhållandenas (utifrån utdata från CFD-program) och persontäthetens inverkan på gånghastigheterna, medan vissa modeller förutsätter att användaren justerar modellen för att ta hänsyn till detta. Modellerna illustrerar grafiskt i tre dimensioner de utrymmandes förflyttning i byggnaden. Modelleringen ger information om evakueringstider samt var eventuella flaskhalsar uppstår. Nedan beskrivs kort med bilder utseende och utdata från programmet STEPS [39] närmare för att få en bättre uppfattning om innehåll och vilken utdata som kan erhållas ifrån datoriserade utrymningsmodeller.





Figur 6.9 Utdata och bilder från utrymningssimulering i tåg tunnel med programmet STEPS.

#### *Handberäkningsmodeller, utrymning*

Handberäkningar av utrymningsförlopp kan också användas. Vid stora personantal kan det vara komplicerat att utföra handberäkningar, i vissa fall kan det dock vara tillfyllest att endast beräkna utrymningsförloppet för de som utrymmer sist.

#### *FED-beräkningar, toxisk påverkan*

För att beräkna toxisk påverkan under utrymning kan en så kallad fraktionsdosmodell användas. Denna modell beskriver den sammanlagda effekten av de giftiga gaserna koloxid (CO), koldioxid (CO<sub>2</sub>) och vätecyanid (HCN) samt effekten av en minskad syrekoncentration (O<sub>2</sub>). Modellen anger bidraget till den dos som människan kan tåla för respektive gas vid en given koncentration och exponeringstid. När summan av doserna överskrider 1,0 inträffar medvetlöshet eller död beroende på hur gränsvärdet är definierat. Modellen som används beskrivs i [28, 29] och anger hur medvetlöshet (FID, Fractional Incapacitation Dose) och dödliga förhållanden (FLD, Fractional Lethal Dose) kan uppskattas. I [28, 29] finns utöver FID och FLD även angivet fraktionsdos för förhöjd temperatur samt koldioxid (CO<sub>2</sub>).

Modellen beskriver den ackumulerade dosen, där hänsyn tas till hur personer rör sig i tunneln och vilka förhållanden de exponeras för. Personer exponeras för förhållanden i zoner under olika tidssteg och på så sätt kan en dos beräknas för varje persongrupp och tidssteg. Dessa doser ackumuleras sedan för varje tidssteg. Ekvationer som används i modellen beskrivs närmare i [28].

### **6.6.3 Modeller för konsekvensskattningar av andra typer av händelser**

Förutom brandhändelser finns ett stort antal andra händelser som behöver värderas och tas med i riskanalysen. Detta kan exempelvis vara urspårningar,



utsläpp av farligt gods, sammanstötning av tåg, elolyckor, yttre händelser etc. Nedan diskuteras möjligheter att konsekvensvärdera vissa av dessa enligt olika principer, beskrivningen är dock ej heltäckande.

#### *Farligt gods*

Farligt gods definieras i lagen och förordningen om transport av farligt gods som ämnen och föremål i någon av de nio klasserna (riskkategorier) enligt det internationella regelverket (ADR/RID). Det farliga godset är indelat i de olika klasserna beroende på de effekter ämnena och föremålen har om de sprids, se tabell 6.6. Värdering av konsekvenser för olyckor med farligt gods kan göras med olika modeller. Nedan beskrivs några principer som kan tillämpas.

*Tabell 6.6 Farligt gods klasser, exempel på ämnen och potentiella skadehändelser.*

Klass	Exempel på ämnen	Potentiella skadehändelser	
1	Explosiva ämnen och föremål	Svartkrut, fyrverkerier, nitroglycerin	Explosioner
2	Gaser	Gasol, ammoniak, klor	Gasmolnsexplosion, BLEVE, jetflammar, toxisk påverkan på människor i tunneln
3	Brandfarliga vätskor	Bensin, etanol	Kraftig, snabbt tillväxande poolbrand
4	Brandfarliga fasta ämnen mm	Svavel, natrium	Häftig förbränning, giftiga gaser
5	Oxiderande ämnen, Organiska peroxider	Konstgödsel. Peroxider	Utveckling av giftiga gaser vid värmepåverkan, brand och explosion.
6	Giftiga ämnen, mm	Arsenik, kvicksilver, bly	Toxisk påverkan, förutsätter direktkontakt med ämnet
7	Radioaktiva ämnen	Jod-131, Cesium-137	Strålning
8	Frätande ämnen	Saltsyra, natriumhydroxid	Frätskador vid kontakt
9	Övriga ämnen och föremål	Asbest, PCB	Olika effekter, främst vid direktkontakt med ämnena

Av dessa är det framförallt väsentligt att studera de typer av skadehändelser som kan få effekter på avstånd från den inträffade olyckan. Detta då det framförallt är intressant att studera hur ett tåg eller bilar som anländer efter en farligtgodsolycka kan påverkas av denna.

De olika typer av skadehändelser som är särskilt intressanta i detta avseende är:

- Explosioner (gasmolnsexplosioner, detonationer)
- Toxisk påverkan från utsläppta gaser
- Häftigt brandförlopp
- Värmestrålning

För detta bör modeller användas som klarar av att förenklat beskriva påverkan på människor på olika avstånd från olycksplatsen.

Bedömning av effekter från explosioner kan göras bland annat genom att:

- Beräkna maxtryck och impulstäthet på olika avstånd från centrum beroende på tunneltvärsnitt och energimängd
- Bedöma påverkan från tryckvågen på personer som befinner sig på olika avstånd från centrum

En användbar modell för detta beskrivs i [30, 31, 32, 40]. Personers möjlighet att utrymma eller röra sig bort från skadehändelsen skall kunna värderas.

Bedömning av toxisk påverkan kan göras genom att:

- Värdera koncentrationer av de utsläppta ämnena på olika avstånd från utsläppskällan med hänsyn till utsläppets storlek och tunneltvärsnittet
- Värdera påverkan på personer i tunneln utifrån faktorer som koncentration och exponeringstid, dvs. via dos-effektsamband

Beräkningarna av koncentrationer kan ske med olika datoriserade modeller eller handberäkningsmodeller. Beskrivning av dos-effektsamband ges exempelvis i [29]. Personers möjlighet att utrymma eller röra sig bort från skadehändelsen skall kunna värderas.

Modeller för värdering av häftiga brandförlopp och värmestrålning vid brand i farligt gods kan utgöras av samma typer av modeller som beskrevs ovan under ”konsekvensanalyismetoder för brandhändelser”.

## 6.7 Andra typer av stödjande riskanalysmodeller

### 6.7.1 MTO - Människa Teknik och Organisation

MTO skall ses som ett perspektiv mer än specifika analysmodeller.

Perspektivet ingår lämpligen som en del i en QRA analys. Frågeställningar som kan belysas med MTO-perspektivet vid brand och utrymning är bl a:

- Människors beteende/reaktioner i en påfrestande/stressande situation, t ex vid evakueringar/utrymningar
- Hur förbereds människor att utrymma i en nödsituation
- Hur uppmärksammas bilister/resande och hur varnas bilister/resande i tunnlar vid en nödsituation
- Människors sätt att ta in information både i en vanlig och i en påfrestande situation
- Människors sätt att kommunicera/kommunikationsflöden mellan trafikanter/driftpersonal/räddningspersonal
- Människors uppfattning/upplevelse av tunnelns konstruktion (både portal/inuti/utanför)

Några metoder som kan användas som stöd i detta sammanhang:

- Händelseanalys

- Orsaksanalys
- Avvikelseanalys
- Barriäranalys
- HRA-analyser

Förklaring av metoderna händelse- och orsaksanalyser, se händelse- och felträd. Avvikelseanalysen identifierar de förhållanden som varit onormala vid den analyserade händelsen jämfört med det normala tillståndet när ingen kritisk händelse inträffar. Barriäranalysen identifierar och värderar befintliga skyddsbarriärer vid händelsen. HRA-analyser är ett sätt att bedöma mänsklig tillförlitlighet i olika situationer förekommer. HRA-analysen kan användas i fall där det mänskliga agerandet påverkar utgången av en olycka (där en person kan avbryta ett olycksförlopp genom ett visst agerande alternativt minska konsekvenserna av en olycka).

#### *Händelseanalys – kommunikationstider*

Utifrån befintliga kommunikationsvägar som identifierats tidigare genomförs som stöd för QRA-analysen värdering av kommunikationstiden mellan inblandade vid ett antal scenario som får ligga som grund för tid till påbörjad utrymning vid större och mindre brandhändelser men även för händelser där farligt gods varit inblandad. Analysen ligger också till grund för värdering av tiden för att starta olika säkerhetstekniska system, t ex ett ventilationssystem, samt när räddningsinsatsen kan påbörjas. Kombinerar lämpligen med scenariospel.

#### *Barriäranalys*

Identifiera struktur på kommunikationsvägar mellan tågpersonal, driftledningscentral, räddningstjänsten mm samt vilka skyddsbarriärer som är uppbyggda för att förhindra felhandling som kan leda till en olycka. Identifiera eventuella svagheter i kommunikationsstrukturen, avsaknad av barriärer och föreslå åtgärder. Svagheter i kommunikationsvägar är inget unikt för en tunnel utan ett generellt problem som gäller alla tunnlar vid en större brand som medför utrymning i en tunnel.

Tekniska system och organisationer som med fördel värderas med ett MTO-perspektiv är bl.a:

- Lokförarmiljöer och nödbromsblockeringssystem

Lokförarens miljö, utbildning och kontrollpanelens utformning och funktioner är avgörande faktorer för hur ofta föraren kommer att felhandla och stanna i tunneln trots att persontåget har ett nödbromsblockeringssystem.

- Lokförarmiljöer och nytt digitalt signalsystem

Nytt digitalt signalsystem är under införande i Sverige. Det innebär nya risker som skall identifieras och värderas. Riskerna är till stor del kopplade till MTO-frågor.

- Driftledningscentraler

Styrning av tekniska system, information och på vilket sätt den kommuniceras ut samt hur den uppfattas, bearbetas och tolkas i

normalsituationer och stressituationer är av betydelse för att upprätthålla en hög säkerhet. Organisationen möjligheter att ta hand om mindre olyckor kontra stora olyckor.

### 6.7.2 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys utförs för att studera hur variationer i olika indataparametrar påverkar det beräknade resultatet. Då det i en kvantitativ riskanalys alltid görs bedömningar behäftade med osäkerheter är en känslighetsanalys viktig som en första fingervisning om huruvida dessa osäkerheter är så stora att det kan ändra slutsatserna från analysen.

Detta görs genom att variera värdena för olika parametrar och se hur mycket den variationen påverkar slutresultatet. Det kan exempelvis röra sig om att undersöka hur risken förändras om tiden till påbörjad utrymning fördubblas, eller om fler personer befinner sig i tunneln än vad som förutsatts i den kvantitativa riskanalysen. Känslighetsanalysen kan då ge information om vilka parametrar som ger störst utslag, dvs. har störst signifikans, och utifrån storleken på osäkerheten bedöma om det är nödvändigt att utföra en fullständig osäkerhetsanalys, se kapitel 6.7.3.

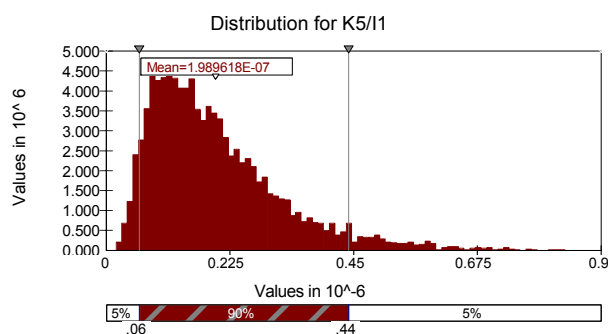
### 6.7.3 Osäkerhetsanalys

Riskbilden i en QRA är resultatet av modeller som beskriver frekvensen och konsekvensen för ett stort antal olycksscenarier. Modellens data och parametrar är baserade på mer eller mindre osäkra värderingar och estimat. Det är därför nödvändigt att värdera variationer i de osäkra storheterna och antaganden i modellen. Det finns också osäkerheter kopplade till modellernas begränsade förmåga att kunna beskriva verkligheten. Antaganden och förenklingar är här nödvändiga för att det överhuvudtaget skall vara möjligt att kunna ta fram en modell.

Osäkerheter i modellens data och parametrar kan behandlas via Monte Carlo-simuleringar för händelseträdd och felträdd. För att komma tillrätta med osäkerheter i modellen föreligger möjligheten att använda olika typer av modeller och därefter jämföra resultatet, se vidare [1].

Innan en osäkerhetsanalys genomförs utförs lämpligen en känslighetsanalys för att identifiera parametrar som har störst inverkan på resultatet. Bedöms det att osäkerheten i parametrarna är stora bör det övervägas att förfina analyserna inom dessa områden för att minska osäkerheten i resultatet, se vidare kapitel 6.7.2.

Vid användande av Monte Carlo-simuleringar för osäkerhetsanalys ansätts de använda parametrarna med sannolikhetsfördelningar istället för deterministiska värden. Detta innebär att värden för varje parameter tas fram utifrån dess sannolikhetsfördelning och att flera itereringar utförs där uttrycken nedan beräknas med olika värden på de ingående parametrarna. Varje iterering resulterar då i ett värde på den sökta resultatparametern, exempelvis en olycksfrekvens. Detta värde sparas, och itereringarna upprepas till ett tillräckligt stort antal värden finns för att ge information kring spridningar och osäkerheter i resultaten. Detta innebär att olycksfrekvensen kan presenteras som ett intervall istället för ett exakt värde. Intervallens storlek ger då information om hur stora osäkerheterna är för den studerade resultatparametern.



Figur 6.11 Exempel på utseende sannolikhetsfördelning för olycksfrekvens [33].

#### 6.7.4 Kostnadsnyttoanalys

En kostnadsnyttoanalys används för att värdera kostnaden kontra nyttan för åtgärder i väg- och spårtunnlar. Nyttan är här minskade kostnader för mindre antal skadade och omkomna personer, mindre skador på systemet och miljö för föreslagna åtgärder.

Överstiger kostnaden för åtgärden nyttan införs inte åtgärden. Metoden kan också användas för att rangordna åtgärder i kostnadsnyttotermer. I detta fall kan metoden användas för att välja de åtgärder som är mest kostnadsnyttiga eller kostar minst och gör störst nytta vilket nödvändigtvis inte behöver innebära att de är kostnadsnyttiga.

Kostnadsberäkningen sker via en nu-värdesberäkning där samliga kostnader under kalkylperioden diskonteras till en gemensam tidpunkt.

Några saker som bör tänkas igenom innan en kostnadsnyttoanalys genomförs är bl.a:

- Val av kalkylmetod
- Allmänna kalkylförsättningar
- Åtgärdens effekter på människor, byggnader och miljö
- Kalkylvärden och övriga parametrar
- Berörd person- och godstrafik
- Vilket förhållande skall gälla mellan omkomna och skadade. Dvs hur många lätt och svårt skadade går det på en omkommen.
- Hur värderas i pengar 10 omkomna vid ett tillfälle jämfört med 10 omkomna vid 10 tillfällen. Dvs skall det finnas en aversionsfaktor med i kostnadsberäkningar för stora olyckor.
- Minskade intäkter pga stillestånd i trafiken vid en olycka bör även ingå i kostnadsberäkningarna.
- Om det föreligger behov att genomföra en osäkerhetsanalys av kostnadsberäkningen.

Som hjälpmedel för kostnadsnyttoberäkningar kan användas Banverkets handbok BVH 706.00 [34] samt Vägverkets EVA modell [35].

### 6.7.5 Ras och skred

Metodbeskrivning för värdering av ras och skredrisker, se sidan 138–143 i Räddningsverkets handbok [1].

### 6.7.6 Översvämning

Metodbeskrivning för värdering av översvämningrisker, se sidan 143–151 i Räddningsverkets handbok [1].

## 6.8 Sammanställning av modeller

I detta avsnitt sammanställs beskrivna modeller där de viktigaste egenskaperna såsom tunnelrelevans samt om det är frågan om kvalitativa, semikvantitativa kvantitativa eller stödjande frekvens- eller konsekvensmodeller. Det anges vidare om de enkla och stödjande modellerna normalt sett ingår i en kvantitativ analys (QRA).

Tabell 6.9 Sammanställning av analysmodeller.

Modellnamn	Typ	Ingår normalt i QRA	Tunnelrelevans
Checklistor	Kvalitativ	Någon enklare metod ingår alltid i en QRA för att identifiera riskerna samt avgöra vilka händelser som skall analyseras vidare.	Enkla metoder som behöver anpassas till tunnlar för att de skall kunna vara användbara. Olika typer av grovanalyser och "What if"-metoder samt riskscanningsmetoder har dock i olika skepnader använts vid tunnelanalyser.
Riskscanning	Kvalitativ		
Grovanalys	Semikvantitativ		
"What if"-metod	Semikvantitativ		
Indexmetod	Semikvantitativ		
MIR	Semikvantitativ		Enkel metod som kräver att användaren anpassad metoden till tunnlar vilket bl.a. gjorts i projekt Västlänken (spårtunnel och underjordsstationer).
DARTS	Kvantitativ		Väg- och spårtunnlar
GRAM	Kvantitativ		Farligt gods i vägtunnlar och utanför. Det finns även möjlighet att lägga in egna scenario i modellen vilket gör att den kan anpassas till att även behandla normala trafikolyckor.
TNO	Kvantitativ		Väg- och spårtunnlar
The Dutch Model	Kvantitativ		Vägtunnlar
BVH 585.30	Kvantitativ		Spårtunnlar
LULQRA	Kvantitativ		Är specifikt anpassad för Londons tunnelbana

Modellnamn	Typ	Ingår normalt i QRA	Tunnelrelevans
			inklusive underjordsstationer.
RAS	Kvantitativ		tunnlar och broar (väg och spår).
NBR	Kvantitativ		Väg- och spårtunnlar
FarGo	Kvantitativ		Utvecklad för farligtgods-transporter på järnväg och väg. Modellen är inte specifikt utvecklad för att användas i tunnlar.
Händelseträdsanalys	Stödjande frekvensmodell	Ja	Allmän modell som används i tunnlar när en QRA-analys genomförs. Metoden kan även användas vid en deterministisk brandanalys för att ta fram lämpliga scenarier som skall analyseras.
Felträdsanalys	Stödjande frekvensmodell	Ja	Allmän modell som används i tunnlar när en QRA analys genomförs.
Modell för skattning av sannolikheter för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen.	Stödjande frekvensmodell	Ja, är dock en fristående modell	Utvecklad för järnvägstrafik men inte specifikt för spårtunnlar.
TUSI	Stödjande frekvensmodell	Ja, är dock en fristående modell	Norsk modell för vägtunnlar.
EVA, trafiksäkerhetsmodell	Stödjande frekvensmodell	Ja, är dock en fristående modell	Utvecklad för vägar, inte specifikt tunnlar.
CFD	Stödjande konsekvensmodell	Fristående modell	Kan användas både i väg- och spårtunnlar för att värdera förhållanden såsom brandgasspridning, temperatur och strålning till följd av en brand.
Endimensionella modeller – brand	Stödjande konsekvensmodell	Fristående modell	Kan användas både i väg- och spårtunnlar för att värdera förhållanden brandgasspridning, temperatur och strålning till följd av en brand.
Datoriserade utrymningsmodeller	Stödjande konsekvensmodell	Fristående modell	Kan användas både i väg- och spårtunnlar för att analysera utrymningen vid

Modellnamn	Typ	Ingår normalt i QRA	Tunnelrelevans
			brand.
Handberäk- ningsmodeller – utrymning	Stödjande konsekvens- modell	Ja är dock en fristående modell	Kan användas både i väg- och spårtunnlar för att analysera utrymningen vid brand. Lämplig att använda i kombination med datoriserade utrymningsberäkningar om många utrymningsscenarier skall värderas.
FED- beräkningar	Stödjande konsekvens- modell	Fristående modell	Kan användas både i väg- och spårtunnlar för att analysera den toxiska påverkan under utrymningen vid en brand.
Farligtgods- explosion	Stödjande konsekvens- modell	Fristående modell	Kan användas både i väg- och spårtunnlar för att analysera skadepåverkan vid en farligt-godsolycka som leder till explosion.
Ras- och skred modell	Stödjande modell	Fristående modell	Modell som värderas specifika risker såsom ras och skred.
Översvämning	Stödjande modell	Fristående modell	Modell som värderar översvämningssrisker.
Människa, teknisk organisation (MTO)	Stödjande modell	Ja är fristående modeller som på sikt bör inarbetas i QRA modeller som en naturlig del.	Kan användas både i väg- och spårtunnlar för att värdera samspelet mellan människa , teknik och organisation.
Human Reliability Analysis (HRA)	Stödjande modell		Kan användas både i väg- och spårtunnlar för att värdera den mänskliga tillförlitligheten i olika situationer som uppkommer.
Kostnads- nyttoanalys	Stödjande modell	Ja	Ja, Används för att värdera kostnaden kontra nyttan för åtgärder i väg- och spårtunnlar.
Känslighets- analys	Stödjande modell	Ja	Används för att identifiera parametrar i QRA-modellen som har störst inverkan på resultat. Genomförs lämpligen i samband med en osäkerhetsanalys.
Osäkerhets-	Stödjande	Ja	Används för att värdera



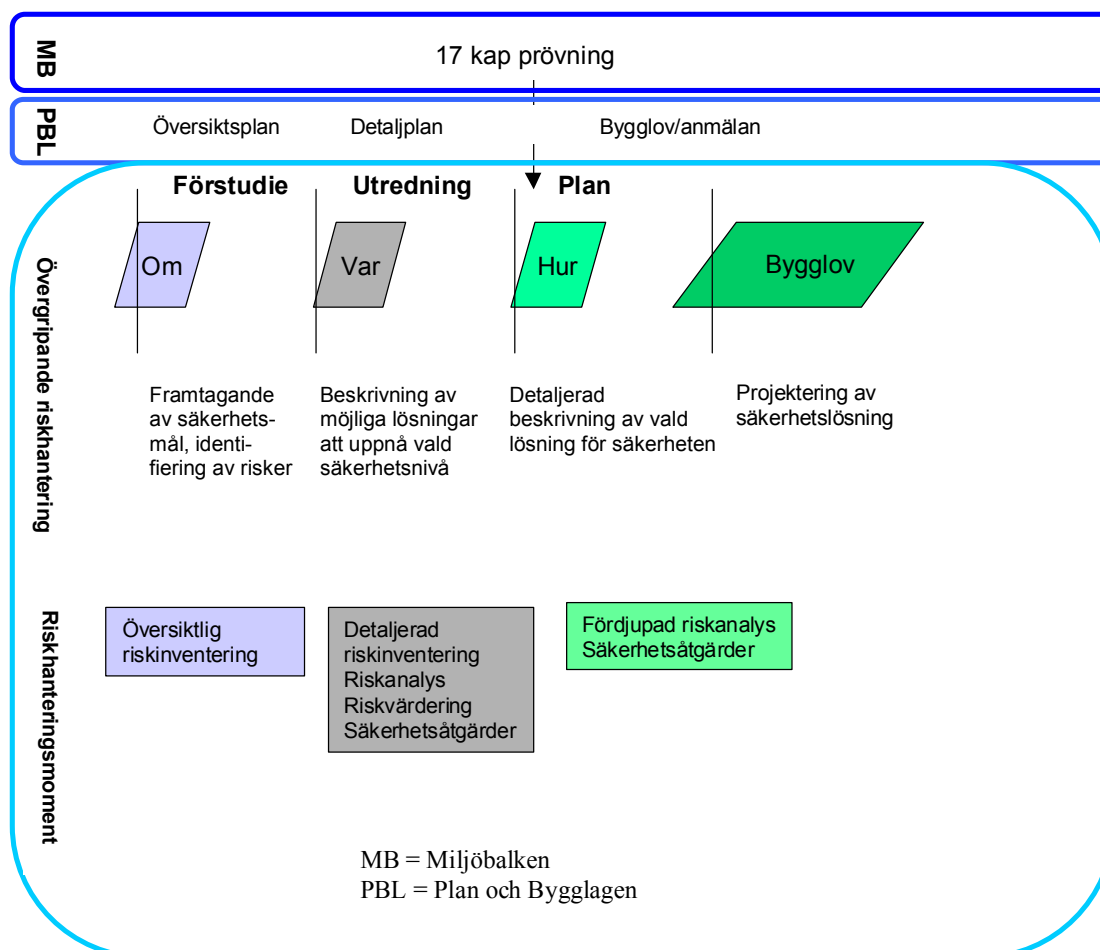
Modellnamn	Typ	Ingår normalt i QRA	Tunnelrelevans
analys	modell		osäkerheten för variationer i de osäkra storheterna och antaganden som görs i en QRA.



## 7 Behov av riskanalyser i planeringsprocessen

### 7.1 Allmänt

I olika skeden i planeringen av ett väg- eller järnvägsprojekt förekommer olika behov av riskanalyser. Detta främst på grund av att de beslut som skall fattas i olika skeden skiljer sig och detaljeringen i projekteringen varierar. Figur 7.1 nedan presenterar delprojekt 4 syn på riskhantering i väg- och järnvägsplaneringsprocessen i kombination med vad SRV anger som viktiga riskhanteringsmoment enligt [36]. Detta är en förenklad bild av planeringsprocessen där riskinventering och riskanalys utgör den del i den iterativa process som förekommer inom de olika planeringsfaserna.



Figur 7.1 Planeringsprocessen i väg- och järnvägsprojekt.

Utifrån denna förenklade sammanställning av vilka beslut som skall göras och vilka frågor som skall besvaras i olika skeden har en ansats angående vilken information som en riskanalys för tunneln skall ge i de olika skedena, samt vilken analys som behövs, tagits fram i efterföljande kapitel.

När det gäller riskanalyser avseende personsäkerheten i tunnlar för tillståndsärenden enligt 17 kapitlet i miljöbalken så finns det i princip inget direkt behov av extra eller kompletterande riskanalyser utöver det som tas fram i järnvägs- och vägutredningar. Möjligen finns det behov att bearbeta resultat ifrån utredningarna så att riskanalyserna sätts in i sitt rätta sammanhang när personrisker jämförs med andra typer av risker. Normalt så skall projektet inför tillåtlighetsprövningen redovisa ett program som visar hur det är tänkt att man skall fortsätta arbeta med säkerhetsfrågorna vilket innefattar riskanalyser. Eventuella krav på förtydliganden som berör specifikt riskanalysmodeller kan här uppkomma ifrån Länsstyrelsen om inte samsyn finns av säkerhetsmål och verifieringsmetoder.

## 7.2 Förstudie

### *Beskrivning*

Behov, hinder och möjligheter utreds bl.a. i en dialog med berörda myndigheter och allmänheten mm. De förutsättningar som av någon anledning anses kräva tekniskt svåra lösningar, lösningar som är olämpliga av någon anledning, t.ex. miljöpåverkan, eller blir allt för kostsamma att genomföra identifieras och absoluta hinder väljs bort genom avgränsning av förstudieområdet.

Det skall här noteras att en tunnel kan vara en del i någon av förutsättningarna för alternativsträckningar medan området kan innehålla andra alternativa lösningar som inte har någon tunnel.

### *Beslut/frågeställningar tunnlar*

Viktiga frågor att få grepp om inför beslut är storleken på tekniska svårigheter och svåröverkomliga kostnader.

### *Riskanalysens syfte för tunnlar och information till projektet*

En riskinventering bör utföras i och omkring möjliga stråk för tunnlar så att beslutsunderlag finns för att välja bort lösningar som är tekniskt svåra, olämpliga eller alltför kostsamma.

För att utgöra underlag till beslut ska analysen således även kunna utgöra bedömningsunderlag för vilka extra säkerhetsåtgärder för personsäkerheten (stora åtgärder som påverkar infrastrukturen och bedöms som kostsamma) som kan bli aktuella för tunnelarna i de olika alternativen.

### *Behov av analyser*

- Inventering av risker i och omkring möjliga stråk för tunnlar.
- Grov bedömning av potentiellt nödvändiga åtgärder för säkerheten som påverkar genomförandekostnaden för tunnelarna väsentligt för möjliga lösningar. Det kan här vara frågan om tvingande lösningar som finns

reglerat, t.ex. om tunneln förläggs under större vattenytor samtidigt som farligt gods kommer att transporteras i tunneln.

## 7.3 Utredning

### *Beskrivning*

I detta skede i väg- och järnvägsutredningar prövas, analyseras och utvärderas genomförbara alternativa lösningar i den beslutade utredningsområdet ifrån förstudien. Utredningen skall ligga till grund för beslut om vilket korridoralternativ som skall väljas. Mål tas även fram för säkerheten samt hur dessa mål skall verifieras via kvalitativa modeller, kvantitativa modeller eller tillvägagångssätt.

### *Beslut/frågeställningar tunnlar*

- Olika utföranden av de olika alternativen kan beröras i jämförelsen och ligger till grund för beslut (effekter av enkelrör, dubbelrör, långa/korta tunnlar etc).
- Påvisa att vald tunnelutformning möjliggör självutrymning.
- Påvisa att vald tunnelutformning möjliggör en räddningsinsats.
- Påvisa att en tillräckligt hög säkerhetsnivå uppfylls.
- Påvisa behov av särskilda krav som kan påverka trafikeringen för att uppfylla målen för säkerheten, dvs. om personsäkerheten kräver inskränkning i trafiken för gods och farligt gods.

### *Risakanalysens syfte för tunnlar och information till projektet*

- Riskerna för de olika korridoralternativen bör kunna jämföras. Säkerhetsåtgärder behandlas mer detaljerat, och omfattningen av de åtgärder som tidigare bedömts potentiellt nödvändiga bör utredas noggrannare.
- Enklare handberäkningar (stödjande modeller avseende utrymning och brand genomförs för att belysa eventuella skillnader i tunnelutformningar.
- Enklare riskbedömningar utifrån tidigare genomförda tunnelprojekt samt berörda myndigheters minimistandard ligger till grund för att ge svar på om olika tunnelutformning möjliggör en räddningsinsats.
- Riskanalysen används som modell för att påvisa att det är möjligt att uppnå en tillräckligt hög säkerhetsnivå ur risksynpunkt.

### *Behov av analyser*

- Reviderad inventering av risker utifrån mer detaljerad information.

- Grov bedömning av omfattning av större säkerhetsåtgärder (exempelvis servicetunnel, påseglingsskydd, utrymningsvägar, trafikseparation för farligt gods etc) för olika alternativ.
- Effekter av olika tekniska och fysiska utformningar (enkelrör, dubbelrör, långa/korta tunnlar).
- Belysa möjligheten till självräddning och insats i tunneln i händelse av en brand.
- Grov riskanalys för bedömning av storleksordningar och jämförelse mellan de olika alternativen.
- En ökande detaljeringsgrad under skedets gång allt eftersom den iterativa processen fortgår och mer detaljerad information behövs kring vissa kritiska delar av utformningen.
- För ej bortvalda, dvs kvarstående, alternativ genomförs en preliminär kvantitativ riskanalys (QRA) för det troligaste valet. Analysen ska också möjliggöra en bedömning av huruvida kvarstående alternativen uppfyller en tillräcklig hög säkerhetsnivå ur risksynpunkt. Andra metoder kan övervägas, t.ex. någon typ av indexmetod.

## 7.4 Arbetsplan, järnvägsplan

### *Beskrivning*

Preciserar mer i detalj utformningen och detaljlokaliseringen för sträckningen inom den beslutade korridoren med bland annat hur mycket mark som behöver tas i anspråk. Miljöpåverkan är en viktig parameter som kan påverka valet av säkerhetsåtgärder.

### *Beslut/frågeställningar tunnlar*

- Hitta en optimal utformning av tunneln/tunnlarna i detalj där flera värderingsprinciper, krav och föreskrifter skall beaktas. Kostnader, utrymning och räddningsinsats är här viktiga parametrar.
- Påvisa mer i detalj och för vilka scenarietyper som tunnelutformningen möjliggör självutrymning i de flesta fallen.
- Påvisa mer i detalj och för vilka scenarietyper som tunnelutformningen möjliggör en räddningsinsats.
- Påvisa att en tillräcklig hög säkerhetsnivå uppfylls, dvs. att det mål som förutsatts för säkerheten i tidigare skede uppnås.

### *Riskanalysens syfte för tunnlar och information till projektet*

- Riskanalysen kan svara på hur en acceptabel risknivå, om en sådan finns fördefinierad, skall uppnås genom att föreskriva säkerhetsåtgärders omfattning (utrymningsvägar, släcksystem, servicetunnel, räddningstjänstens tillträde till belysning, handledare etc).

- Finns det ingen fördefinierad acceptansnivå kan projektet välja att t.ex. själva ta fram en acceptabel risknivå eller avstå. I de fall då projektet avstår kan andra jämförelsemått användas, t.ex. andra liknande system eller transportsystem mm, se vidare delprojekt 2.1, Riskvärdering.
- Analysen utgår ifrån en minimistandard som förelagts ifrån berörda myndigheter och regelverk (Boverket, Vägverket och Banverket). Tilläggstandard som påvisats eventuellt vara lämpligt eller nödvändigt av någon anledning skall här prövas och värderas.
- Via stödjande modeller såsom en deterministisk scenarioanalys i kombination med MTO-analys kan frågeställningarna belysas mera i detalj.

#### *Behov av analyser*

- Detaljerad bedömning av risknivån för jämförelse med acceptabla risknivåer. Andra jämförelsemått kan även användas, t.ex. andra liknade system eller transportsystem mm, se vidare delprojekt 2.1, Riskvärdering.
- Detaljerad analys av alla säkerhetsåtgärders effekt på risknivån.
- Ökad detaljeringsgrad över hur installationerna skall placeras i tunneln. Insatskoncept påverkar här också utformningen i räddningstunnlar och spårtunnlar.
- Belysa i detalj möjligheten till självräddning och insats i händelse av en brand.
- Bedömning av kostnad/nytta för ytterligare riskreducerande åtgärder.
- Bedömning av osäkerheters inverkan på de beräknade resultaten.





## 8 Värdering av riskanalysmodeller i planeringsprocessen

### 8.1 Allmänt

I detta kapitel genomförs en värdering av fördelar och begränsningar av ett antal tidigare redovisade riskanalysmodeller av typen enkla, kvantitativa och stödjande i planeringsprocessen vid analys av en tunnel. En tunnel kan här vara en eller flera spår- eller vägtunnlar. Värderingen utgår ifrån frågeställningar och vilket innehåll som riskanalyserna bör ha vilket beskrivs i kapitel 7. De planeringsskedena som behandlas är förstudie, utredning (väg- och järnvägsutredning) och plan (arbets- och järnvägsplan). Angivna fördelar och begränsningar skall på intet sätt ses som heltäckande utan är några faktorer som anses vara viktiga att lyfta fram.

Till att börja med har en utsortering gjorts av lämpliga modelltyper i de olika planeringsskedena, därefter genomförs en värdering av ett antal modeller som finns inom de olika modelltyperna.

Styrande faktorer för vilken analysmodell som skall användas i de olika planeringsskedena är:

- vilken information som finns tillgänglig,
- vilken frågeställning/beslut som skall behandlas av riskanalysen
- vilka resurser och vilken tid som finns.

Givetvis kan frågeställningar och beslut behandlas bättre med ökad relevant information, det finns dock alltid en begränsning i resurser och tid av hur mycket information som kan tas fram inom ett projekt. Även om modellerna kan förfinas i det oändliga måste det ändå till slut bli fråga om en avvägning mellan analysens omfattning och det mått av osäkerhet som kan accepteras i beslutsunderlaget.

### 8.2 Lämpliga modelltyper i olika planeringsskeden

Modelltyp	Förstudie	Utredning [Väg- och järnvägsutredning]	Plan [Arbets- och järnvägsplan]
Enkla modeller	Ja	Ja	Ja, som en del i en kvantitativ riskanalys
Kvantitativa modeller	Nej	Ja Preliminär QRA alternativt någon indexmetod.	Ja
Stödjande modeller	Nej	Ja, några	Ja, flera

Ovanstående uppdelning motiveras med hänvisning till det som står i avsnitt 8.1, Allmänt, om styrande faktorer samt det som står i kapitel 7 om frågeställningar och beslut som skall tas i olika planeringsskeden. I kapitel 7 anges också vad analyserna skall ta upp i de olika skedena vilket har varit vägledande för att ange lämpliga modelltyper i olika planeringsskeden. Uppdelningen ligger också i paritet med vad som gjorts i ett antal spårtunnelprojekt. Förtydligt är här att personsäkerhetsfrågorna så tidigt som möjligt skall belysas i planeringsprocessen, dvs. redan i förstudien och tidigt i utredningsskedet.

## 8.3 Värdering av modeller

### 8.3.1 Allmänt

I detta kapitel tas upp generella fördelar och begränsningar för enkla och kvantitativa modeller.

Enkla modeller som värderas är:

- Checklistor
- Riskscanning
- Grovanalys
- ”What if”-metod
- Indexmetod
- MIR

#### *Checklistor*

##### Fördelar

- Snabbt och enkel metod.
- Utnyttjar tillgänglig erfarenhet och kännedom om tidigare problem.
- Den som använder checklistor behöver ingen omfattande teoretisk och analytisk bakgrund.
- Underlättar kontroll av standarduppfyllelse.
- Garanterar att kända riskområden är genomgångna.
- Kan kopplas till möjliga nödvändiga åtgärder för tidiga kostnadsuppskattningar.

##### Begränsningar

- Uppmuntrar inte till analys av nya eller ovanliga riskkällor.
- Är ej speciellt uttömmande.
- Resulterar inte i en sammanställning av väsentliga felhändelser.

### *Riskscanning*

Metodens syfte är att ta fram en lista med händelser som kan påverka personsäkerheten i tunneln.

Fördelar

- Snabb och enkel metod.
- Utnyttjar tillgänglig erfarenhet och kännedom om tidigare problem genom de experter som ingår i ”workshopen”.

Begränsningar

- Det saknas kvantifierade bedömningsmått för relevans och konsekvensscanningen vilket kan leda till att händelser sorterats bort som borde varit med.

### *”What if”-metod*

I metoden ligger fokus på att identifiera avvikelser tidigt i händelsekedjan (tekniska och mänskliga fel) som, var för sig eller i kombination, kan leda till att skadehändelser uppstår.

Fördelar

- ”What if”-analys kan användas på olika systemnivåer.
- Den som utför en ”what if”-analys behöver ingen omfattande teoretisk och analytisk bakgrund.
- ”What if”-analysen går relativt snabbt att genomföra och är därmed billig.
- ”What if”-analys beaktar till viss del risker som orsakas av kombinationer av feltillstånd eller felfunktioner och kan därmed användas i redundanta system.

Begränsningar

- En ”what if”-analys kräver stor erfarenhet.
- Sammansättningen hos analysgruppen har stor betydelse för kvaliteten på analysen.
- Det kan finnas svårigheter att få med icke förutsägbara risker i analysen.
- ”What if”-analysen är inte lika strukturerad som många andra metoder.
- Resultat av analysen är kvalitativa.

### *Grovanalys*

Fördelar

- Grovanalysen ger snabbt en översiktlig bild av ett systems riskbild.
- Grovanalysen är enkel, snabb och därmed billig.
- Den som utför analysen behöver ingen omfattande teoretisk och analytisk bakgrund.

Begränsningar

- Sammanställningen av riskerna kan ge ett otydligt resultat.

- Den översiktliga ansatsen kan göra det svårt att identifiera ett systems samtliga risker.
- Det kan vara svårt att veta om man genomfört en komplett inventering av ett systems risker.
- Grovanalysen ger sken av att vara mera detaljerad än den i själva verket är.
- Resultat av analysen är kvalitativ och kvantitativa riskvärderingar görs normalt inte.

#### *Indexmetod*

##### Fördelar

- Ger en relativ rankning av risker i tunneln.
- Kan användas som underlag för beslut om fortsatta analyser och/eller säkerhetshöjande åtgärder.
- Ger en bild av vilka faktorer som är av betydelse för säkerhetsnivån.

##### Begränsningar

- Någon indexmetod finns ej specifikt framtagen för tunnlar.
- Riskidentifieringen sker på en ”principiell” nivå, osäkert hur väl lokala förhållanden kan återspeglas i resultatet.
- Resultatet i form av ett relativt index kan ha ett begränsat värde vid extern riskkommunikation.

#### *MIR*

##### Fördelar

- En enkel, snabb och därmed billig riskanalyismetod.
- Kan öka kommunikationen och informationsmängden från personer som inte är insatta i riskfrågor då oönskade händelser och konsekvenser behandlas var för sig.

##### Begränsningar

- Innehåller ingen utvecklad metodik för identifiering och beskrivning av risker i vägtunnlar.
- Ansatsen till metoden, dvs. ingen koppling mellan oönskade händelser och deras konsekvenser, kan uppfattas som att metoden bygger på felaktiga principer.
- Avsaknaden av kopplingen mellan orsaker och konsekvenser försvårar möjligheterna att identifiera samband och dra slutsatser.
- Metoden kan uppfattas som svår att förstå för icke experter inom riskområdet.

#### *QRA allmänt*

##### Fördelar

- QRA är en mycket omfattande analys.
- QRA erbjuder ett systematisk tillvägagångssätt för att hantera ett systems risker.
- QRA ger ett absolut mått på risknivån.
- Ger ofta en god bild av vilka risknivå och vilka risker som finns i systemet vilket möjliggör en jämförelse av risken mot acceptabla nivåer eller andra riskmått.
- Verktyg för att pröva och värdera olika tekniska åtgärders påverkan på personsäkerheten i kvantitativa mått.

#### Begränsningar

- QRA är mycket resurskrävande och kräver specialistkompetens inom flera teknikområden.
- Varierade kvalitet kan erhållas beroende på kompetensen och erfarenheten.
- Det kan vara svårt att avgöra om de scenarier som analyseras djupare är representativa.
- Detaljnivån i de modeller som använts i en QRA styrs till stor del av de som utför analysen då detta inte regleras specifikt av någon föreskrift.
- Analysen består av många delmoment vilket innebär att osäkerheter fortplantar sig.
- Faktorer med stor påverkan på resultat är ofta parametrar som är behäftade med stora osäkerheter.
- Resultat ifrån en osäkerhetsanalys som normalt sett skall ingå kan vara svårtolkat.
- Beroende på upplägg av QRA-strukturen och presentationen av risken kan värderingen av tekniska åtgärder medföra små eller otydliga förändringar i personsäkerheten.

### 8.3.2 Förstudie

I detta kapitel tas upp generella fördelar och begränsningar (lämpliga/olämpliga) för enkla och kvantitativa modeller som bedömts vara användbara i en förstudie för att stödja beslut och frågeställningar som berör personsäkerheten i tunnlar.

#### *Enkla modeller*

Alla enkla modeller som redovisats bedöms vara lämpliga att använda i förstudien.

Fördelarna med enkla modeller är just att de är enkla och att de snabbt kan användas för att identifiera risker och att de inte nödvändigtvis kräver en kvantifiering av sannolikheter och konsekvenser. Viktiga frågor som de enkla modellerna skall svara på är vilka risker som finns i och runt en tunnel via en riskidentifiering samt om eventuella alternativ medför höga

säkerhetskostnader. Informationen och tiden i projektet är i detta skede även begränsad och liten vilket också talar för att enkla modeller är att föredra. Nackdelarna är de osäkerheter som kommer finnas i resultatet vilket mer återspeglar den begränsade information som finns än val av modell. En enkel modell bör kunna ge information om vilka speciella risker som finns med olika alternativ och vad detta kan leda till i form av åtgärder som väsentligt påverkar projektekonomi. Modellerna kan därför behöva kopplas till potentiella åtgärder utifrån de identifierade riskerna.

#### *Kvantitativa modeller*

Alla kvantitativa modeller (QRA) anses vara olämpliga att använda i ett tidigt skede av ett projekt när lite information finns om tunnelsystemet. För att kunna ha nytta av en QRA behövs detaljinformation vilket inte finns i början av ett projekt. Beslutsstöd som behövs i början av ett projekt i förstudien är främst kopplat till riskidentifiering samt till att identifiera stora säkerhetskostnader som vissa alternativ kan medföra. Detta bedöms kunna erhållas med enkla modeller. Tiden och resurser inom projektet gör också att det inte går att analysera varje alternativ i detalj med en QRA.

### **8.3.3 Utredning**

I detta avsnitt tas upp generella fördelar och begränsningar (lämpliga/olämpliga) för enkla och kvantitativa modeller samt ett antal användbara stödjande modeller i en väg- och järnvägsutredning. Informationsmängden om de olika alternativen ökar när projektet går in i väg-/järnvägsutredning. Beslut och frågeställning som angivits i kapitel 6 visar att behovet av modeller i detta skede är en blandning av enkla, kvantitativa och stödjande modeller.

#### *Enkla modeller*

Någon av de enkla modellerna är här användbara för att jämföra del olika alternativens risknivå.

Som alternativ till en preliminär QRA är det lämpligt att använda en riskfaktoranalys (indexmetod) där en jämförelse genomförs av alternativen och liknade befintliga tunnelsystem. Nackdelen med en indexmetod är att det finns ingen framtagen metod för detta i dagsläget. Det kan därvid uppstå problem att påvisa att uppställda säkerhetsmål som kvantifieras uppfylls.

#### *Kvantitativa modeller*

En preliminär QRA innebär att alla delar i analysen inte behöver genomföras i detalj utan enkla konservativa antaganden kan användas. Angående begränsningar och fördelar för kvantitativa, se även avsnitt 8.3.1 och 8.3.5. Begränsningen med en preliminär QRA är att den innehåller förhållandevis stora osäkerheter pga begränsad information om systemen, vilket beslutsfattarna måste vara medvetna om. Fördelen med en preliminär QRA är att systemet kan jämföras med ett kvantifierbart mått som skall uppfyllas för att de uppställda säkerhetsmålen skall nås. En preliminär QRA kan även underlätta riskkommunikationen av resultat.

### *Stödjande modeller*

För att i ett tidigt skede av projektet kunna få ett preliminärt bedömningsunderlag med vilka tunnelbredder och konceptlösningar för utrymningsvägar som passar de olika alternativen är det lämpligt att genomföra handberäkningsmodeller för utrymning.

När så ett alternativ väljs ut som representerar det troligaste valet för att påvisa att säkerhetsnivån uppfylls i en tunnel via en preliminär QRA eller indexmetod är det lämpligt att komplettera de enkla handberäkningarna med endimensionella modeller för brand. Detta för att kunna visa i vilka scenarier som självräddning möjliggörs och för att användas som hjälpmedel vid konsekvensanalysen om en preliminär QRA genomförs.

- Utrymning – handberäkningsmodeller
- Brand – endimensionella modeller

### **8.3.4 Plan**

I detta avsnitt tas upp generella fördelar och begränsningar för enkla, kvantitativa och stödjande modeller i en arbets- och järnvägsplan för att stödja beslut som berör personsäkerheten i tunnlar.

När det gäller de styrande faktorerna för val av analysmodeller så finns det i detta skede gott om information och resurser för att kunna behandla frågeställningar i riskanalysen. Det innebär att frågeställningar och beslut kan stödja sig på fördjupande analyser (QRA och mer avancerade stödjande modeller) som har relativt hög detaljnivå. Många av frågeställningarna i detta skede kräver också en hög detaljeringsgrad för att kunna ge ett användbart svar.

Kvantitativa modeller som värderas i detta kapitel är:

- Säkerhetsvärderingen enligt BVH 585.30
- The Dutch Model (TunPrim)
- LULQRA

Urvalet skall inte ses som att modellerna är att föredra framför andra QRA modeller som beskrivits i detta dokument. Främsta orsaken till att dessa modeller valts är att BVH 585.30 är en existerande metod som redan används och att de två andra finns någorlunda väl beskrivna i referenserna. Till detta skall läggas projektgruppens synpunkter om vilka modeller som ansågs vara intressanta att titta närmare på.

### *Enkla modeller*

Enklare riskmodeller är i detta skede mindre användbara annat än som delar i en kvantitativ riskanalys. Orsaken är att frågeställningarna och besluten som behandlas behöver en större detaljnivå än vad enkla modeller kan svara upp till.

### *Kvantitativa modeller*

Säkerhetsvärderingen enligt BVH 585.30

#### Fördelar

- Förarbetet i BVH 585.30 som gjorts utifrån befintlig statistik tillsammans med olyckskatalogen möjliggör en grundlig genomgång av de identifierade riskerna samt de åtgärder som kan påverka dessa såväl avseende frekvens som konsekvens. Uttryckandet av frekvenser i per tågkm istället för i per år innebär att ett nyttoperspektiv förs in i riskvärderingen. Detta ökar också abstraktionsnivån i presentationen av risk och medför också t.ex. att en tågtunnel med litet trafikarbete kan tillåtas få alltför hög säkerhet.
- Framtagandet av en egen ambitionsnivå för riskbedömningen har stora fördelar. Dels genom att framtagandet och nivån är logisk och sätts i relation till nyttan och till andra alternativ, dels genom att det i andra fall ofta saknas acceptanskriterier att stödja bedömningar på. Jämförelsen med järnvägstrafik på markspår är att betrakta som rättvis då samma storlek på nyttan och grad av frivillighet föreligger för de båda fallen för den exponerade gruppen.
- Se allmänt om fördelar med QRA-metoder.

#### Begränsningar

- Enligt Räddningsverket medför användandet av 5 konsekvensklasser att viss information kan gå förlorad och det blir svårt att bedöma om principen för undvikande av katastrofer tillgodoses då konsekvensklass K5 får ett brett spann.
- Ambitionsnivån ger som den är utformad ingen bild av samhällsrisken på det sätt som den ofta uttrycks i andra sammanhang. Detta innebär bland annat att risken för olyckor med stora konsekvenser som skulle verka påfrestande för samhället ej kvantifieras i lika stor utsträckning som fallet vore med andra kriterier.
- Se allmänt om begränsningar för QRA-metoder

#### *The Dutch Model (TunPrim)*

##### Fördelar

- Väl utvecklad genomgång av potentiella olyckor genom framtagandet av ett omfattande händelsetråd.
- Användbar i ett skede där säkerhetsåtgärder av omfattande slag som exempelvis avstånd mellan utrymningsvägar studeras.
- Se allmänt om fördelar med QRA-metoder.

##### Begränsningar

- Konsekvensvärderingen är ganska grov i och med användandet av exponeringszoner och en till synes liten grad av transienta beräkningar av olika brand- och utrymningsförlopp. Detta behöver dock verifieras när modellen blir tillgänglig.
- Transportnyttan beaktas inte när risken presenteras som omkomna per år.
- Se allmänt om begränsningar för QRA-metoder.



### *LULQRA*

#### Fördelar

- Ger en samlad riskbild för hela systemet, inte bara tunnlar.
- Riskanalysen genomförs varje år.
- Risken presenteras och jämförs på ett överskådligt sätt för relevanta händelser.
- Det finns acceptanskriterier i antal omkomna per år som ligger till grund för huruvida åtgärder skall införas eller inte.
- Innehåller ett riskrankningssystem som tillåter en jämförelse mellan olika risker och underlättar prioriteringen av risker.
- Se allmänt om fördelar med QRA-metoder.

#### Begränsningar

- Acceptansnivåerna återspeglar ingen aversionfaktor mot större olyckor.
- Transportnyttan beaktas inte när risken presenteras som omkomna per år.
- Modellen innefattar en omfattande analys av orsaken till olyckan via felträd med en så pass hög detaljnivå som inte finns vid en projektering (ner på delsystem).
- Inget fokus på brand och utrymning i tunnlar vilket återspeglas i avsaknaden av mer avancerade beräkningsmetoder vid konsekvensanalysen.
- Ej anpassad till svenska förhållanden och regelverk.
- Se allmänt om fördelar med QRA-metoder.

Modellen passar troligen bäst för att använda i ett redan existerande system såsom t.ex. Stockholms tunnelbana eller Arlanda Express, dvs. vid existerande driftskede där största nyttan med modellen främst är att identifiera orsaken till olyckor och tillbud och att kunna värdera vilka åtgärder som bör vidtas. Mindre intressant är i detta skede att i detalj analysera eventuellt skadeutfall.

#### *Stödjande modeller*

I princip alla fristående stödjande modeller är här lämpliga för att belysa olika frågeställningar. I detta skede finns stora informationsmängder och detaljkunskaper om olika tekniska åtgärder. De modeller som använder speciella datorprogram såsom datoriserade utrymningsberäkningar och CFD-beräkningar bör dock användas restriktivt. Orsaken är att trots goda möjligheter till resurser i projektet så är dessa modeller kostsamma, vilket innebär att endast ett fåtal beräkningar kan genomföras inom ramen för en rimlig budget.



## 9 Diskussion

Det finns en koppling till vilka säkerhetsmål som tagits fram i projekten och hur dessa mål skall verifieras via kvantitativa/kvalitativa analysmodeller. Målen behöver nödvändigtvis inte verifieras via modeller utan kan även vara tillvägagångssätt. Det innebär att vilka modelltyper som är lämpliga, kan förändras beroende på vilka säkerhetsmål som gäller eller på om nya tas fram i ett projekt. Eventuella krav på förändringar i analysmodeller eller vilka som är lämpliga eller olämpliga kan här också komma från Räddningsverket, Boverket, Banverket och Vägverket om inte samsyn finns på säkerhetsmål och verifieringsmetoder.

Delprojekt 2.1, Riskvärdering påvisar att det finns skillnader mellan myndigheternas sätt att se på hur en riskvärdering skall gå till. Det är i sig positivt att delprojekt 2.1 identifierat och angivit vad som skiljer myndigheterna åt samt vad som är gemensamt. Det ger dock små möjligheter att utifrån detta förespegla att det finns en samsyn på vilka specifika analysmodeller som är lämpliga i olika skeden av ett tunnelprojekt.

När en större samsyn finns mellan myndigheterna i personsäkerhetsfrågor och hur frågorna skall hanteras i planeringsprocessen så bör det finnas möjligheter att på sikt bygga upp gemensamma analysmodeller. Flera av de modeller som beskrivits i detta dokument bör kunna användas till detta.

På kort sikt borde ett antal modeller detaljstuderas som visat sig vara intressanta och som kan bidra till att driva utvecklingen framåt i Sverige inom tunnelriskfrågor.



## 10 Referenser

- [1] Handbok för riskanalyser, Räddningsverket 2003.
- [2] Tekniska Riskanalysmetoder, kemikontoret.
- [3] Riskanalys, metodbeskrivning för beställare-utförare-granskare, Svenska Brandförsvarsförningen, 2003.
- [4] Metoder för risk- och sårbarhetsanalys, Lunds Tekniska Högskola, 2003.
- [5] [www.adac.de](http://www.adac.de)
- [6] MIR, <http://www.vv.se>
- [7] Tunnel 2004, Vägverket.
- [8] OH bilder ifrån NVF-seminar ”Infrastruktur i storstadsmjö” 20020829, Statens Vegvesen.
- [9] Risikoanalyse av tunneler og underjordiske anlegg for T-Bane og jernbane, Veiledning til NS 3901, NBR Norges Byggstandardiseringsråd, 2001.
- [10] Risikoanalyse av brann i vegtunneler, Veiledning til NS 3901, NBR Norges Byggstandardiseringsråd, 2000.
- [11] DARTS, [www.dartsproject.net](http://www.dartsproject.net)
- [12] Samtal med Menso Molag TNO.
- [13] Program FarGo version 1.20, 2000.
- [14] Operational traffic safety and fire protection measures, Immersed Tunnel conference, 5-7 April 2000 Copenhagen Denmark.
- [15] The Öresund link Risk Account QRA-97, dok nr 931100-ST085.0102-002, Öresundkonsortiet , 1998-04-27.
- [16] The Öresund link risk policy operation phase, Öresund konsortiet, 1995.
- [17] Safety in Tunnels, Transport of dangerous goods through road tunnels, OECD, 2001.
- [18] Utvärdering av Quantitative Risk Assessment Model QRAM, Syntell, 2003-05-19.
- [19] A comparative risk analysis for selected Austrian tunnels, Institute for Transport Planning and traffic engineering Vienna University of Technology.
- [20] OH bilder om QRAM modellen [www.wg5dangerousgoods.com](http://www.wg5dangerousgoods.com)
- [21] The Duch model for Quantitative Risk analysis of Road Tunnels, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Civil Engineering Division, Center for Tunnel Safety, Netherlands.
- [22] Het Bouwdienst model voor kwantitatieve risicoanalyse, Netherland 2004.
- [23] Handbok BVH 585.30, Banverket, 1997-09-01.
- [24] LULQRA , <http://www.yellowbook-rail.org.uk/site/resources/models.html>
- [25] Modell för skattning av sannolikheter för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Banverket 2001.
- [26] Utvikling av en model for beregning av hendelser I vegtunneler-TUSI (Tunnel SIKring), Trafitek AS, 1990.
- [27] Vägverkets trafiksäkerhetsmodell i EVA 2.31.

- [28] Räddningsinsatser vid tunnelbränder. Räddningsverket, SRV rapport P21-391/01, 2001.
- [29] The SFPA Handbook of fire Protection Engineering, 2nd Edition, 1995.
- [30] The consequences of explosion effects on human, Methods for the determination of possible damage too people and object from releases of hazardous material First Edition TNO, Holland 1992.
- [31] Quantitative risk analysis procedure for the fire Evacuation of road tunnel, Lunds tekniska högskola, 2002.
- [32] Airblast Phenomena Due to Nuclear and Conventional Explosions, Gruppe Rüstung, Switzerland, 1998.
- [33] Säkerhetsvärdering av Hallandsåstunneln enligt BVH 585.30, SwePro rapport, 2004-06-08.
- [34] Beräkningshandledning Hjälpmedel för samhällsekonomiska bedömningar inom järnväg, BVH 706.00, Banverket 2001.
- [35] Vägverkets EVA modell.
- [36] Olycksrisker och MKB, Räddningsverket 2001.
- [37] PIARC, Fire and smoke Control in Road Tunnels, 1999.
- [38] Guidance for External Events analysis. SKI, 2003.
- [39] STEPS, User manual.
- [40] Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker, FOA, 1995.
- [41] SFPA Engineering Guide too Performance-Based Fire Protection, analysis and design of buildnings. SFPA 2000.
- [42] Vurdering / analyser av brandsikkerheten i solbakkttunnelen, Lux Brannteknologi 2004.
- [43] Tunnel fire and Escape from Tunnels, Third International Conference 9-11 October 2001, Washington DC USA, part 4 development of fire.