

# **Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana**



## © Transportstyrelsen

Väg- och järnvägsavdelningen  
Enhet teknik och trafik

Rapporten finns tillgänglig på Transportstyrelsens webbplats  
[www.transportstyrelsen.se](http://www.transportstyrelsen.se)

Dnr/Beteckning	TSG 2016-1621
Författare	Johan Häggström, WSP Sverige AB Bo Wahlström, Brandskyddslaget AB Oskar Jansson, RiskTec Projektledning AB Patrik Hult, HPH Projekt AB Johan Lundin, WSP Sverige AB Erik Hällstorp, WSP Sverige AB
Månad År	Maj 2016

Eftertryck tillåts med angivande av källa.

## Förord

De risker som är specifika för tunnlar och som kan få stora konsekvenser vid en olycka omfattar bland annat brand och händelser med farligt gods. I de tunnelprojekt som genomförs diskuteras ofta den acceptabla risknivån, eftersom etablerade säkerhetsmål saknas. Önskemål om säkerhetsåtgärder skapar därför ofta omfattande diskussioner när kostnad ställs mot samhällsnytta.

Tunnelbyggandet i Sverige kom igång på allvar under 1990-talet genom bland annat byggandet av Södra länken i Stockholm, en komplex vägtunnel och en del av det så kallade Dennispaketet. Utöver det byggdes också järnvägen ut genom Grödingebanan, Västkustbanan, Arlandabanan och Citytunneln i Malmö, vilket innebar många nya tunnlar.

En basstandard för säkerhetsåtgärder i tunnlar saknades och de regler som fanns för andra byggnadsverk var inte anpassat för de förhållanden som det innebar att föra trafiken i en tunnel. Regler har sedan dess utvecklats och idag finns en basstandard för både vägtunnlar och järnvägstunnlar.

Tunnelbyggandet har fortsatt i oförminskat skala. Projekten blir större och mer komplexa, speciellt i större städer. Idag planeras eller byggs bara i Stockholm, ny tunnelbana och ny järnväg under mark samt Förbifart Stockholm som kommer att bli en av världens längsta vägtunnlar.

Förslaget till säkerhetsmål har utförts av en grupp konsulter tillsammans har en djup teknisk kompetens och stor erfarenhet från personsäkerhet i väg-, järnvägstunnlar och tunnelbana.

Vi vill tacka Tomas Ojala och Lars Ericsson från Trafikförvaltningen Stockholms läns landsting, Ulf Lundström och Maria Nilsson från Trafikverket samt Roberth Colliander från Förvaltningen för utbyggd tunnelbana Stockholms läns landsting som i inledningsvis deltog i en workshop för att diskutera omfattning och avgränsning av arbetet.

Projektet har finansierats genom FoI-medel tilldelade av generaldirektör Staffan Widlert och till viss del av Trafikverket. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas och speglar inte nödvändigtvis Transportstyrelsens uppfattning.

Luleå, maj 2016.

Per Vedin  
Civilingenjör väg- och vattenbyggnad  
Utredare anläggningskonstruktion och tunnelsäkerhet



## Sammanfattning

Transportstyrelsen kan samordna och ge förslag på säkerhetsmål för trafikslagen väg, järnväg och tunnelbana. Det är möjligt genom att Transportstyrelsen har ett trafikslagsövergripande ansvar och även ett bemyndigande enligt plan- och byggförordningen. Det har inte varit möjligt tidigare, då ansvaret var uppdelat på bland andra kommuner, Vägverket, Banverket och Boverket.

Krav på utformning av tunnlar finns i viss omfattning men säkerhetsmål saknas. Kraven ger utrymme för tolkning i samband med projektering och förvaltning. Osäkerhet kan uppstå om vilka mål som ska uppnås, och olika risknivåer kan bli resultatet när kraven tillämpas i olika projekt.

Mot denna bakgrund initierade Transportstyrelsen ett FoI-projekt med rubriken "Säkerhetsmål för trafikanter i väg- och spårtunnlar", vilket ledde till arbetet med denna rapport.

För arbetet med rapporten har vi i arbetsgruppen formulerat följande mål:

- identifiera utformningskrav och funktionskrav som lämplig basstandard för att uppfylla miniminivå för säkerhet, genom referens till befintliga regelverk eller praxis
- föreslå riskmått (storheter eller enheter) som är lämpliga för kvantifiering och värdering av personsäkerhet i tunnlar
- föreslå sätt att värdera samhällsnyttan vid införande av säkerhetsåtgärder som tillägg till basstandard.

Arbetet omfattar arbetsgruppens förslag till säkerhetsmål för nya tunnlar och berör endast tunnelspecifika olyckor, det vill säga de som endast kan orsakas i tunnlar och de som kan orsakas var som helst men vars följdkonsekvenser blir särskilt allvarliga i tunnlar.

Vi i arbetsgruppen har kunnat formulera ett förslag baserat på inventering av regelverk, allmänna principer och grunder för riskanalys, erfarenheter från olika projekt samt analys av olika sätt att mäta risk. Förslaget baseras på ett gemensamt trafikslagsövergripande kvantitativt säkerhetsmål uttryckt i F/N-diagram för vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana med en tydlig koppling till samhällsnyttan. Förslaget formuleras sammanfattande:

***Risken vid färd i tunnel för väg, järnväg och tunnelbana ska vara likvärdig, uttryckt som risk att förolyckas per personkilometer.***

I rapportens senare del diskuterar vi olika problemställningar med förslaget. Behov av vidare utredning har också identifierats.

Slutsatserna av arbetet är att det finns möjligheter att etablera ett gemensamt säkerhetsmål. Därutöver konstaterar vi i arbetsgruppen bland annat att befintliga regler för väg- och järnvägstunnlar bör kunna utnyttjas som basstandard, att motsvarande regelverk för tunnelbana saknas, och möjligen även för spårvägstunnlar, och bör utvecklas samt att man bör undersöka möjligheten att komplettera säkerhetsmålet med gränser uttryckta som PLL-tal specifikt för varje trafikslag. Modeller och metoder för samhällsekonomiska värderingar finns och bör kunna utnyttjas vid optimering av säkerheten.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>11</b>
1.1	Bakgrund.....	11
1.2	Omfattning .....	11
1.3	Mål .....	11
1.4	Avgränsningar.....	12
1.5	Arbetsätt.....	13
<b>2</b>	<b>BAKGRUND OCH TEORI .....</b>	<b>15</b>
2.1	Allmänna principer .....	15
2.1.1	Begreppen risk och säkerhet.....	15
2.1.2	Allmänt om riskanalysmetodik.....	17
2.1.3	Olika sorters riskmått.....	18
2.1.4	Principer för riskacceptans .....	20
2.1.5	Grunder för att kvantifiera säkerhetsmål .....	21
2.2	En ansats till att finna ett samordnat säkerhetsmål.....	24
2.2.1	Två perspektiv .....	24
2.2.2	PLL-tal och FN-kurvor .....	25
2.3	Osäkerheter .....	26
<b>3</b>	<b>INVENTERING.....</b>	<b>29</b>
3.1	Regelverk.....	29
3.1.1	Trafiktunnlar i allmänhet .....	29
3.1.2	Vägtunnlar .....	30
3.1.3	Järnvägstunnlar .....	32
3.1.4	Tunnelbanetunnlar .....	39
3.2	Olycksstatistik .....	40
3.2.1	Vägtrafik .....	40
3.2.2	Järnvägstrafik .....	41
3.2.3	Tunnelbana.....	44
3.2.4	Jämförelse mellan trafikslagen.....	46
3.3	Mål, metoder och samhällsnytta i vägtunnlar .....	47
3.3.1	Exempel från projekt .....	47
3.3.2	Exempel från litteratur .....	50
3.3.3	Värdering av samhällsnytta .....	52
3.4	Mål, metoder och samhällsnytta i järnvägstunnlar .....	53
3.4.1	Exempel från projekt .....	53
3.4.2	Värdering av samhällsnytta .....	54
3.5	Mål, metoder och samhällsnytta i tunnelbana .....	57
3.5.1	Befintlig tunnelbana – erfarenheter .....	57
3.5.2	Planerad utbyggnad av tunnelbanan .....	58
3.5.3	Värdering av samhällsnytta .....	58
3.6	Summering.....	59

<b>4</b>	<b>ANALYS</b> .....	<b>61</b>
4.1	Inledning .....	61
4.2	Vägtunnlar.....	61
4.2.1	Tidigare tunnlar risknivåer .....	61
4.2.2	Hypotetiska tunnlar.....	63
4.3	Järnvägstunnlar .....	69
4.3.1	Tidigare tunnlar risknivåer .....	69
4.3.2	TSD och Strängnästunneln – en kvalitativ jämförelse.....	70
4.4	Tunnelbana .....	77
4.5	Normering av riskmått och jämförelse mellan trafikslag utifrån praktiska fall .....	79
4.5.1	Jämförelse av beräknad risk för studerade objekt av olika trafikslag .....	79
4.5.2	Jämförelse av beräknad risk mellan praktiska fall och hypotetiska objekt.....	85
4.5.3	Jämförelse av beräknad risk för studerade objekt med ytvägnät .....	86
4.5.4	Jämförelse av beräknad risk för studerade objekt med förslag till acceptanskriterium i vägtunnlar .....	87
4.5.5	Jämförelse av beräknad risk för studerade objekt med förslag till acceptkriterier för markspår .....	89
<b>5</b>	<b>FÖRSLAG TILL SÄKERHETSMÅL, PROCESS OCH METODIK</b> .....	<b>91</b>
5.1	Allmänt.....	91
5.2	Förslag till säkerhetsmål och mått .....	91
5.3	Process och metodik .....	94
5.3.1	Basstandard .....	95
5.3.2	Risikanalys .....	96
5.4	Kostnads-nyttanalyser .....	96
<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>98</b>
6.1	Förslagets huvuddelar .....	98
6.2	Mål .....	98
6.3	Typer av risker som hanteras .....	98
6.4	Mål och riskmått som beslutsstöd.....	101
6.5	Riskacceptans.....	102
6.6	Särbehandling av händelser beroende på storlek.....	103
6.7	Dimensionerande scenario .....	103
6.8	Osäkerheter .....	104
6.9	Självutrymning/självräddning .....	106
6.10	Värdering av samhällsnytta .....	107
6.11	Risikanalysens många syften .....	108
6.12	Behov av vidare utredning .....	109
<b>7</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>110</b>



<b>8 REFERENSER.....</b>	<b>113</b>
<b>BILAGA - JÄMFÖRANDE ANALYS – NYA TUNNELBANAN .....</b>	<b>119</b>



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I dag finns en möjlighet som inte funnits tidigare att samordna och ge förslag på säkerhetsmål för trafikslagen väg, järnväg och tunnelbana. Det kan göras tack vare att Transportstyrelsen har ett trafikslagsövergripande ansvar och även ett bemyndigande enligt plan- och byggförordningen. Det har inte varit möjligt tidigare, när ansvaret var uppdelat på bland andra kommuner, Vägverket, Banverket och Boverket.

Krav på utformningen av tunnlar finns i viss omfattning, medan säkerhetsmål däremot saknas. Kraven ger utrymme för tolkning i samband med projektering och förvaltning. Osäkerhet kan därför uppstå om vilka mål som ska uppnås, och olika risknivåer kan bli resultatet när kraven tillämpas i olika projekt.

Mot denna bakgrund initierade Transportstyrelsen ett FoI-projekt med rubriken "Säkerhetsmål för trafikanter i väg- och spårtunnlar" [1]. Vi i arbetsgruppen har nu genomfört projektet, som avrapporteras i detta dokument.

## 1.2 Omfattning

Enligt projektspecifikationen för detta arbete ska resultatet innehålla förslag till verifierbara säkerhetsmål för vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana med en tydlig koppling till samhällsnyttan. Om det inte är möjligt, ska verifierbara kvalitativa mål föreslås. Varje förslag ska förklaras och motiveras på ett enkelt och begripligt sätt. Varje förslags för- och nackdelar ska också beskrivas med fokus på samhällsekonomiska konsekvenser. Effekter som går att värdera ska redovisas. Resultatet ska även redovisa förslag till grundläggande krav för kvalitet och utförande av riskanalyser. Formuleringen av säkerhetsmål för respektive trafikslag ska om möjligt ske på ett likvärdigt sätt.

## 1.3 Mål

Projektets mål är formulerade som effektmål respektive produktmål. Effektmålen innebär att Transportstyrelsen med stöd av verifierbara kvantitativa säkerhetsmål, med en koppling till samhällsnyttan, ska kunna meddela tydligare och begripligare krav som på lång sikt ska leda till att rätt åtgärder tillämpas vid projektering och byggnation. Detta ska i sin tur leda till en godtagbar säkerhet i alla tunnlar oavsett trafikslag. Produktmålet utgörs av denna rapport.

Som inledning på projektarbetet och i enlighet med projektspecifikationen genomfördes den 9 juni 2015 en workshop där projektets syften, mål och avgränsningar diskuterades och synpunkter lämnades. I workshopen deltog

representanter från Trafikförvaltningen i Stockholm, Förvaltningen för utbyggd tunnelbana (FUT), Trafikverket, Transportstyrelsen samt projektets konsulter från Faveo och WSP. Efter workshopen och den efterföljande diskussionen har vi i gruppen som arbetat med denna rapport formulerat följande mål för arbetet:

- identifiera utformningskrav och funktionskrav som lämplig basstandard för att uppfylla miniminivå för säkerhet, genom referens till befintliga regelverk eller praxis
- föreslå riskmått (storheter eller enheter) som är lämpliga för kvantifiering och värdering av personsäkerhet i tunnlar
- föreslå sätt att värdera samhällsnyttan vid införande av säkerhetsåtgärder som tillägg till basstandard.

I de fall där endast basstandard inte räcker och tilläggsåtgärder måste övervägas ska kvantitativa mål för personsäkerheten användas. Detta förfarande tillämpas redan i dag vid planering och projektering av tunnlar för väg, järnväg och tunnelbana men ett specifikt säkerhetsmål finns inte angivet av någon myndighet.

#### 1.4 Avgränsningar

Följande avgränsningar baseras på de avgränsningar som angavs i projektspecifikationen och de synpunkter som framkom i den inledande workshopen och arbetet med att definiera projektet.

Projektet omfattar

- förslag till säkerhetsmål för nya tunnlar
- stationer under mark, men endast i egenskap av säker plats i anslutning till en spårtunnel
- endast ”tunnelspecifika olyckor”, dvs. de som endast kan orsakas i tunnlar och de som kan orsakas var som helst men vars följdkonsekvenser blir särskilt allvarliga i tunnlar.

Projektet omfattar inte

- att definiera en undermarksstation eller krav för undermarksstationer
- att utreda detaljkrav i föreskrifter eller författningar
- arbetsmiljörisker i tunnlar
- antagonistiska handlingar (dvs. avsiktligt illvilliga och illegala handlingar)

- risker för tredje man, dvs. andra personer än resande trafikanter och personal.

## 1.5 Arbetsätt

För denna rapport etablerades ett arbetsätt bestående av följande moment:

- Omfattning och avgränsningar
- Inventering (principer, regelverk, olycksstatistik, riskmått, mål och metoder m.m.)
- Analys och värdering av risk för olika trafiksystem och alternativa sätt att mäta risk
- Förslag till mål och metod för tunnelsäkerhet
- Diskussion kring förslaget, fördelar och nackdelar
- Slutsatser

I arbetet med säkerhetsmål är de avgränsningar som kan göras inledningsvis av stor vikt för fortsättningen. Kunskapsområdet är annars alltför mångfacetterat och skulle göra arbetet svårt att genomföra.

Ett inledande avsnitt 2 ger bakgrund och teori kring riskmått för att skapa ett ramverk för fortsättningen.

Därefter genomförs en inventering som vi presenterar i avsnitt 3.

Inventeringen inriktas på vad som kan finnas i regelverk kring säkerhetsmål, metoder och olycksstatistik för verifiering av säkerhetsmål avseende trafikslagen väg, järnväg och tunnelbana. Dessutom inventeras några projekt inom detta område och vi har då ställt oss följande frågor: Har man satt upp säkerhetsmål för personsäkerheten i tunnlar? Har man haft någon metod för att verifiera säkerhetsmålet?

Förekomsten av samhällsekonomiska kostnads-nyttanalyser har även inventerats i projekten.

Ansatsen i detta uppdrag är att försöka finna ett samordnat kvantitativt säkerhetsmål för de tre trafikslagen. I det efterföljande momentet, som presenteras i kapitel 4, analyserar vi därför på nytt redan genomförda säkerhetsanalyser och genomför vissa ytterligare säkerhetsanalyser för att skapa förståelse för likheter och olikheter mellan de olika trafikslagen samt skillnader som uppstår när risk beräknas och presenteras med alternativa mått för risk.

I avsnitt 5 utformar vi sedan ett förslag till mål och metod för tunnelsäkerhet, med utgångspunkt i uppgifterna som framkommit i inventeringen och resultatet av analyserna.

Med utgångspunkt i förslaget diskuterar vi därefter i avsnitt 6 olika aspekter av tillämpningen av detta förslag. Aspekterna rör giltighetsområden, risktyper, begreppet acceptans m.m. Diskussionen får utgöra våra kommentarer till fortsatt arbete med att införa eller tillämpa förslaget i praktiken.

Slutsatserna i avsnitt 7 sammanfattar vår syn på förslaget inklusive diskussionsavsnittets kommentarer.

I den inledande workshopen med referensgruppen framkom härutöver följande kommentarer till arbetssättet:

- De tekniska krav som finns för exempelvis väg- och järnvägstunnlar bör kunna vara vägledande för att bedöma säkerhetsmålen, dvs. att uppfylla etablerade tekniska utformningskrav bör vara en del av måluppfyllelsen.
- För att säkerhetsmålen ska vara till nytta för projekten är det viktigt med enkelhet och att användningen är anpassad efter projekteringsprocessen. F/N-kurvor kan ofta vara svåra att förankra och framtagandet kan ofta vara för svårt.
- Bedömningen av kostnad-nytta och hanteringen av ALARP-området (*As Low As Reasonably Practicable*) är en viktig del för att säkerhetsmålen ska vara till nytta för projekten.
- Med utgångspunkt i beräknad säkerhetsnivå och utformningskrav på väg- och järnvägstunnlar bedömer man vad en rimlig basstandard och säkerhetsnivå för tunnelbanan borde vara. Krav kan sedan tas fram utifrån detta.

## 2 Bakgrund och teori

### 2.1 Allmänna principer

#### 2.1.1 Begreppen risk och säkerhet

En allmän och entydig definition av begreppet risk finns inte, och med tanke på hur fragmenterad riskforskningen är och hur många olika perspektiv den innehåller är det inte möjligt att täcka in alla behov med en enda definition. Därför är det nödvändigt att definiera hur begreppen används utifrån det aktuella sammanhanget.

För att undvika missförstånd redovisar vi i arbetsgruppen därför här en allmän definition av begreppen risk och säkerhet i den kontext som studeras i denna rapport. Definitionerna är fritt översatta till svenska från två ISO-standarder:

- Risk: “kombinationen av sannolikheten för en händelse och dess konsekvens”. [2]
- Säkerhet: “frånvaron av oacceptabel risk”. [3]

Problemet är att storheterna sannolikhet och konsekvens kan kombineras på en rad olika sätt, där de olika kombinationerna leder till olika riskmått. I avsnitt 2.2 sker en ytterligare precisering av riskbegreppet, då vi presenterar förutsättningarna för kvantitativ riskanalys och olika typer av riskmått introduceras.

Under förutsättning att det går att kvantifiera sannolikhet och konsekvens och att kombinationen av sannolikhet bestämts för ett aktuellt fall, kan ett riskmått beräknas och placeras på en skala. Inga system eller mänskliga aktiviteter är riskfria. Olika skyddsåtgärder eller modifieringar av systemet kan användas för att reduceras risken, men till det går det åt resurser. Problemet är att identifiera en acceptabel risknivå utifrån mängden resurser som kan satsas på att hantera riskerna, vilket kopplar till både syfte och mål med detta arbete, se avsnitt 1.3.

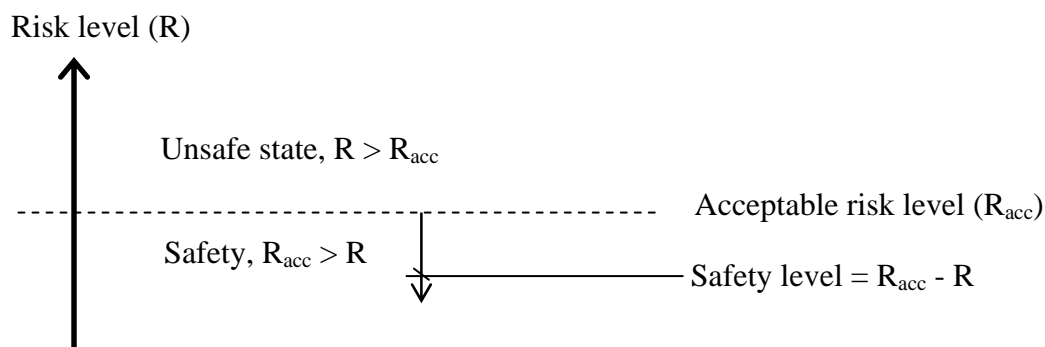
I vissa sammanhang används begreppet säkerhet (S) som en motsats till begreppet risk (R), t.ex. när risk definieras som sannolikheten att ett gränstillstånd överskrids [4]. Relationen kan då uttryckas som  $R + S = 1$ . Med utgångspunkt från ISO-definitionerna är denna relation inte tillämpbar. I stället beskrivs relationen genom att säkerhet utgör ett tillstånd då systemets risknivå underskrider den acceptabla risken, vilket illustreras i

Figur 1. Om den acceptabla risknivån i ett system överskrids, är systemets tillstånd inte säkert.

Att kontrollera risk innebär då att utforma och styra ett system så att dess risknivå underskrider den acceptabla nivån, dvs. så att systemet befinner sig i ett säkert tillstånd. I

Figur 1 introduceras begreppet säkerhetsnivå (safety level) som skillnaden mellan systemets risknivå och den acceptabla risknivån. Säkerhetsnivån utgör ett mått på den marginal som finns innan systemet övergår till att inte vara säkert.

Reglering av säkerhetsnivån i en tunnel kan beskrivas som samhällets strävan av att kontrollera systemet tunneln så att risknivån inte blir för hög. Att uttrycka t.ex. bränder i tunnlar som en risk och att betrakta brandskydd som skyddsåtgärder som styr brandrisknivån är en bra utgångspunkt för att studera förutsättningarna för riskkontroll. Med hjälp av formella metoder för riskanalys och riskvärdering går det att studera hur risknivån påverkas när kraven på säkerhet ändras och undersöka om lösningar som projekteras har tillfredsställande säkerhet eller inte. Det skapar goda förutsättningar för att analysera effekten av förändringarna av säkerhetsnivån och konsekvenserna av hur projekteringen utförs. Det skapar även ett transparent sätt att verifiera vilken kombination av skyddsåtgärder som är nödvändig för att uppnå målet och/eller kravnivån, vilket sammanfaller med ett av huvudsyftena med säkerhetsprojekteringen.



Figur 1. Relationen mellan begreppen risk och säkerhet ("safety").



### 2.1.2 Allmänt om riskanalysmetodik

Om en olycka inträffar, t.ex. en brand, kan en rad olika scenarier inträffa, vilket innebär att händelsen ”brand uppstår” är förenad med osäkerhet. Med hjälp av en riskanalys identifieras olika händelser som har stor påverkan på olycksförloppet, t.ex. om tekniska system fungerar eller ej eller om dörrar till utrymningsvägar är blockerade eller ej (i brandfallet), för att skapa en strukturerad bild över de möjliga händelserna.

Riskanalysmetoden har använts i stor utsträckning och är välkänd. Metoden lämpar sig för att strukturera och beskriva scenarier där sekvensen på händelserna är kända. Metodiken med händelseträd har däremot begränsningar i att kunna beskriva scenarier som uppstår genom dynamiska och oförutsägbara förlopp, vilka delvis kännetecknar olyckstyper med stora konsekvenser.

I följande avsnitt kommer vi att vidareutveckla tolkningen av riskbegreppet och introducera en kvantitativ tolkning. Olika sätt att skapa kvantitativa riskmått är möjliga genom att man kombinerar sannolikhet och konsekvens på olika sätt. Genom att kvantifiera risk går det att jämföra och mäta storleken på riskbidrag. Det skapar också möjlighet att göra relativa jämförelser och rangordna risker. Då går det t.ex. att konstatera om en lösning där ett ingenjörsmässigt angreppssätt har använts är lika säker som om en lösning som tagits fram med erfarenhetsbaserade detaljregler. I detta avsnitt presenterar vi översiktligt begrepp för att analysera och värdera risk kvantitativt.

Den totala risken definieras som summan av riskbidragen för alla scenarier som kan uppkomma genom en kombination av olika händelser. En kvantitativ riskanalys utgår från en kartläggning av dessa genom följande frågor:

- Vad kan hända?
- Vad är sannolikheten för varje scenario?
- Vad är konsekvensen för varje scenario?

För varje scenario kan en konsekvens och en sannolikhet beräknas.

Riskbidraget uttrycks som en funktion av dessa, se ekvation (1).

$$R \approx \sum_{i=1}^n \{s_i, p_i c_i\} \quad \text{ekvation (1)}$$

$s_i$  = beteckning för händelsesekvens  $i$  som utgör scenario  $i$

$p_i$  = sannolikheten för scenario  $i$

$c_i$  = konsekvensen för scenario  $i$

$i =$	index för scenariot
$n =$	antalet scenarier
$R =$	den totala risken

Det finns emellertid även ett antal problem med kvantitativa metoder som måste beaktas [5]:

- En kvantitativ analys baseras på ett stort antal antaganden och förutsättningar om olika modellers tillämplighet. Detta tillsammans med den i sig något komplexa processen innebär att analyserna kan bli svåra att förstå och det kan vara svårt att bedöma kvaliteten på analysen.
- Ett problem som ofta brukar framhållas är att underlagsdata, t.ex. felfrekvenser, är osäkra. Det är som regel nödvändigt att basera analysen på så kallade generiska data, dvs. data som inhämtats från erfarenheter av liknande system och verksamheter. Tillämpbarheten av den datamängd som finns tillgänglig måste värderas och osäkerheter bedömas.
- Ett annat problem som ofta pekas på är att kvantitativa analyser inte beaktar mänskligt felhandlande och att just detta är den viktigaste orsaken till olyckor. Men detta är endast delvis riktigt. Hänsynstagandet till mänskligt felhandlande i kvantitativa riskanalyser har ökat under senare år och det finns i dag analysmodeller som med acceptabel reproducerbarhet kan användas. Det bör också framhållas att generiska data ofta kan anses innefatta en stor del av relevanta mänskliga felhandlingar.

### 2.1.3 Olika sorters riskmått

För att beskriva risken med utgångspunkt från riskberäkningarna kan olika typer av riskmått användas. Ett riskmått är en storhet som används för att mäta och beskriva risknivån. Vid verifiering används ett riskmått för att avgöra om en lösning är acceptabel eller inte genom att jämföra den analyserade risken med någon form av acceptanskriterium (acceptabel risknivå). Riskmättet måste vara praktiskt att använda, samtidigt som det på ett korrekt sätt ska beskriva risken.

En utförlig presentation av olika typer av riskmått finns framtagen av PIARC [6] och kan sammanfattas med följande huvudtyper:

- kvalitativa
- semikvantitativa (index)
- kvantitativa

- deterministiska (scenariobaserade)
- probabilistiska (systembaserade).

Vad som är ett lämpligt eller tillräckligt riskmått beror på syftet med analysen och de förutsättningar som är kopplade till det specifika fallet. En fördel med att modellera risken med ett händelsetråd är att det ger en god överblick och struktur över de scenarier som tillsammans utgör den totala risken. En åtskillnad brukar göras mellan konsekvensbaserade (deterministiska) riskmått och riskbaserade (probabilistiska) riskmått [5]. Ett konsekvensbaserat mått är lämpligt att använda när ett fåtal väldefinierade scenarier ska ingå i riskvärderingen. I andra fall lämpar sig probabilistiska riskmått, där riskbidraget från fler scenarier beaktas.

Alla riskanalyser innehåller betydande kvalitativa inslag när det gäller avgränsning av analysobjektet, identifikation av riskkällor och specifikation av riskmodell. Om syftet med analysen är begränsat till att identifiera riskkällor eller riskfyllda situationer, kan en renodlat kvalitativ analys vara tillräcklig. Om det däremot krävs en numerisk skattning av riskens storleks, behövs även en kvantifiering av sannolikheter och konsekvenser.

Ett säkerhetsmål kan således formuleras och analyseras både med utgångspunkt från kvalitativa och kvantitativa metoder. Fördelar med kvalitativa metoder är att de är snabba och i regel enkla att förstå och använda. Styrkan med kvantitativa analyser är att de ger ett bra underlag för följande:

- Värdera alternativa lösningar mot varandra. Detta kan gälla alternativ med avseende på lokalisering, transportväg, trafikslag eller olika tekniska lösningar.
- Bedöma kostnadseffektivitet av olika åtgärder.
- Tvinga fram en noggrannhet i arbetet som innebär en förbättrad kvalitet även av de kvalitativa delarna av analysen.

Det finns två olika typer av kvantitativa tillvägagångssätt som används när det gäller att värdera huruvida säkerhetskrav kan anses uppfyllda eller ej:

- Deterministiska metoder, som innebär att säkerhetskraven analyseras utgående ifrån vilka olyckshändelser som fysiskt sett anses kunna inträffa och vilka konsekvenser dessa får. Dimensionerade scenarier är ett vanligt sätt att specificera en sådan olycka och formulera säkerhetsmål för.

- Probabilistiska principer, som innebär att säkerhetskraven sätts utifrån en värdering där såväl sannolikheter för att olyckshändelser ska inträffa som de konsekvenser dessa ger upphov till vägs in.

I praktiken tillämpas ofta båda dessa principer, mer eller mindre klart formulerade.

#### 2.1.4 Principer för riskacceptans

Riskacceptansen i samhället vilar på ett antal grundläggande principer. Principer för värdering av risk finns formulerade inom litteraturen [7] på detta område och brukar i huvudsak ta utgångspunkt i följande principer:

1. **Principen om berättigande av aktivitet.** Denna princip anger att det ska finnas en nytta förenad med aktiviteten som är större än den risk som uppstår, vilket således berättigar aktiviteten.
2. **Principen om optimering av skydd.** Optimering av skydd är att åstadkomma sökt säkerhetsnivå på effektivaste vis.
3. **Fördelningsprincipen.** Riskerna bör vara skäligt fördelade inom samhället i relation till de fördelar som verksamheten medför. Det innebär att enskilda personer eller grupper inte bör utsättas för oproportionerligt stora risker i förhållande till de fördelar som verksamheten innebär för dem.
4. **Undvikande av katastrofer.** Samhällets reaktioner på inträffade olyckor och risker är vanligen i direkt proportion till storleken, eller till och med i större proportion till den ökande storleken. Risker bör hellre realiseras i olyckor med begränsade konsekvenser som kan hanteras av tillgängliga beredskapsresurser än i katastrofer.
5. **Proportionalitetsprincipen.** De totala risker som en verksamhet medför bör inte vara oproportionerligt stora jämfört med de fördelar (intäkter, produkter, tjänster, etc.) som verksamheten medför.
6. **Principen om ständiga förbättringar.** Samhällets risknivåer i stort bör inte öka och får gärna minska över tiden.

Kommentarer:

Principerna ovan täcker in de vanligaste inom detta område och vi kommenterar dem kort inför fortsättningen. Flera av dem är delvis motsägande. Att formulera ett säkerhetsmål innebär därmed en direkt eller indirekt avvägning mellan flera av dessa principer.

Princip 1. Risker kan accepteras om aktiviteten, dvs. tunneltrafiken genererar nytta. Principen innebär ett behov av värdering av alla nyttoeffekter som den valda tunnelanläggningen för med sig. En skillnad mot vissa andra områden, t.ex. riskexponering av omgivningen från en

kemisk industri, är att trafikanter som färdas i tunneln har primär nytta av resan.

Princip 2. Alla kostnadskonsekvenser beaktas vid val av de billigaste åtgärderna.

Princip 3. Vi avgränsar oss till trafikantsäkerhet i fråga om säkerhetsmål och räknar inte med påverkan på omgivningen. Påverkan på omgivningen är dock en effekt som ska värderas vid beslutet om tunnelsträckning, val av säkerhetsåtgärder och utformningar etc..

Princip 4. Små olyckor (med 1–5 eller 1–10 omkomna) föredras framför stora olyckor, givet att de resulterar i samma antal omkomna per år i medeltal.

Princip 5. De totala trafikantriskerna i en tunnel tillåts stå i proportion till trafikvolymen.

Princip 6. Principen riktar sig i större utsträckning mot den process som skapar säkerheten i en anläggning, dvs. information till trafikanter, säkerhetsdokumentation, kontroll och övningar, snarare än den tekniska utformningen. Ständiga förbättringar kan betyda att man förbättrar tekniken i befintliga anläggningar eller väljer effektivare teknik i nya anläggningar men kanske inte nödvändigtvis att man måste höja kraven vid varje nytt projekt. Detta är en viktig fråga som behöver förtydligas ytterligare för att principen inte ska leda till orimliga krav på en anläggning.

#### 2.1.5 Grunder för att kvantifiera säkerhetsmål

Vad är tillräckligt säkert? Kanske kan uppfyllande av tekniska krav och regler för utformning av tunnlar vara tillräckligt som grund för bedömning om målet att göra tunneln säker är uppfyllt?

En annan grund för att bedömningen av tillräcklig säkerhet kan vara att jämföra med en befintlig referenstunnel eller en hypotetisk tunnel som på förhand definierats som tillräckligt säker, exempelvis genom en uppsättning krav på utformning i relation till den aktuella trafiken.

Ett tredje sätt att avgöra om säkerheten är tillräcklig kan vara beräkningar. Trafikverket anger för järnvägstunnlar att ”Järnvägstrafik per kilometer i tunnlar skall vara lika säker som järnvägstrafik per kilometer på markspår, exklusive plankorsningar”. Principen anger att säkerheten i tunneln ska hålla samma grad av säkerhet som trafiksystemet har på markytan. Principen är formulerad i Trafikverkets regler för säkerhet i järnvägstunnlar (BVH585.30) och ligger till grund för värdering av den beräknade risken. I Trafikverkets krav för vägtunnlar anges liknande ambitioner genom ett mål för säkerheten uttryckt så här: ”Tunnlar bör utformas så att risker

förknippade med användning av vägar med tunnlar inte är större än för vägar utan tunnlar”.

I detta arbete ska vi emellertid jämföra olika trafiksystem och om möjligt harmonisera dem avseende säkerhetsmål. Denna princip bedöms därför vara ett hinder för ett friare förhållningssätt och lämnas därför tillsviðare utanför, eftersom ett av målen med vårt arbete är att försöka hitta en sådan nivå att kunna jämföra riskberäkningar med – som ett sätt att säkerställa krav efterlevnad med.

De olika grunderna enligt ovan är alltså

- krav och regler för utformning
- jämförelse med referensobjekt
- beräknad risk och värderingen av den.

De ansluter till de olika grunder som anges i CSM för att avgöra om en järnvägstunnel är tillräckligt säker. Se avsnitt 3.1.3 för förklaring av CSM.

I förutsättningarna för detta arbete har vi bedömt det som otillräckligt att enbart använda fasta utformningsregler och jämförelse med andra objekt som grund för att bedöma om tillräcklig säkerhet uppnås för personsäkerheten i tunnlar. Många tunnlar kan vara likartade men förutsättningarna kan variera och en anpassning av säkerhetsåtgärder kan vara önskvärd, inte minst av ekonomiska skäl. För detta behövs kvantitativa metoder och mål för verifiering av säkerheten, vilket även ger underlag för kostnadsnyttovärdering och optimering av säkerhetsåtgärder.

Om risknivån därför ska kunna bedömas genom analys och värdering av riskerna mot ett kvantitativt mål, kan ett sådant mål tas fram på olika tillvägagångssätt [7]:

Målet kan baseras på

- historiska risker
- bakgrundsrisker
- exempel eller referensfall
- ekonomisk analys
- expertbedömningar.

*Baserat på historiska risker*

En av de enklaste metoderna för att fastställa kvantitativa riskakceptanskriterier är att basera dem på risknivåer som har uppnåtts

genom verksamheten (eller jämförbara verksamheter) i det förflutna, vilket framgår av statistisk analys av tidigare olyckor. Det är särskilt lämpligt när olyckor är vanliga och när riskuppskattningen till stor del bygger på förändring av historisk olycksstatistik. Sammantaget fungerar denna metod bäst när data med hög kvalitet har samlats in från den aktuella verksamheten, vilket inte är fallet för t.ex. vägtunnlar. Men en variant kan vara att uppskatta kvantitet genom att analysera data från närliggande områden, t.ex. ytvägnätet eller markförlagda spår [8].

#### *Baserat på bakgrundsrisker*

Ett vanligt tillvägagångssätt för att fastställa kvantitativa kriterier är att basera dem på risker i andra branscher eller i det dagliga livet. En möjlig form av kriterium med hjälp av denna metod skulle vara följande: Den individuella risken för dödsfall för allmänheten som en verksamhet orsakar bör inte överskrida 5 procent av den aktuella totala dödsfallsrisken för åldersgruppen med lägst risk i samhället. Valet av 5 procent i exemplet ovan är helt godtyckligt. Värdet såsom 50 procent eller 0,5 procent kunde lika gärna ha använts. Exempel på område där denna typ av tillvägagångssätt använts är riskkriterier för de kemiska industrierna i Holland. Detta har också utgjort grund för de kriterier som tidigare Räddningsverket publicerat [5], ibland omnämnda som "DNV-kriterierna", och ofta använts i Sverige. På grund av denna godtycklighet är acceptanskriterier vanligtvis ett resultat av en rad politiska beslut och bedömningar, snarare än baserade på faktiska data. Icke desto mindre kan detta förfarande användas för att se till att kriterierna är rimliga. Detta tillvägagångssätt passar typer av risker som är gemensamma för farliga verksamheter och det dagliga livet.

#### *Baserat på exempel eller referensfall*

För verksamheter som redan är accepterade, och andra liknande som ska utvärderas, är det möjligt att använda de accepterade verksamheterna som referensstandarder. För planerade verksamheter ställs då kravet att dessa inte ska överskrida risknivåerna för de accepterade verksamheterna. Den målnivå som referensstandarderna utgör kan man få fram genom att analysera denna, t.ex. med beräkningsmetoder. Detta tillvägagångssätt är vanligen använt för tekniska system. Accepterade verksamheter kan både utgöras av en anläggning som bedömts efterleva regelverk i en godkännandeprocess eller genom analys av en anläggning som utformas helt i enlighet med regelverken. Huruvida en befintlig referenstunnel går att använda för att ta fram mål för att verifiera säkerheten är inte helt säkert, eftersom den kanske är några år gammal och inte uppfyller dagens krav och föreskrifter. Men den kan användas för att på ett ungefär skatta acceptabel nivå, eftersom den kan innehålla andra säkerhetsåtgärder än de föreskrivna. Alternativet att ta fram mål genom beräkningar för en hypotetisk tunnel kan vara en bättre väg att

gå, särskilt om det finns osäkerheter kring om en referenstunnel lever upp till dagens kravnivå eller ej.

#### *Baserat på ekonomisk analys*

Lönsamhetskriterier utvecklas vanligen genom standardiserade ekonomiska tekniker som används i kostnads-nyttoanalys (CBA). Kriterier som Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) och Pay Back Period (PBP) beror alla på diskonteringsräntan, som kan ses som en konsekvens av regeringens politik. Det ekonomiska värde som ett statistiskt liv tilldelas blir helt avgörande för vilken säkerhetsnivå som bedöms vara acceptabel.

#### *Baserat på expertbedömningar*

Kvalitativa acceptanskriterier kan bara bestämmas genom så kallad expertbedömning. De är vanligtvis resultatet av förhandlingar mellan intressegrupper. De flesta kvantitativa acceptanskriterier som används i praktiken har utvecklats genom en iterativ process, som kan ha utgått från någon av metoderna ovan, men vanligtvis domineras av förhandling mellan intressegrupper. Detta resulterar vanligtvis i kriterier som verkar godtyckliga ur teknisk synvinkel, men de är i själva verket noga utvalda för att uppnå riskvärderingar som uppfyller intressenternas förväntningar. I detta fall kan kvantitativa kriterier ses som standarder som anpassar resultaten från kvantitativ riskanalys (QRA) till resultat till kvalitativa expertbedömningar om risken. Avsaknaden av en strikt teknisk motivering är inte nödvändigtvis en svaghet, eftersom alla formella metoder ovan också innebär godtyckliga faktorer och val.

I kapitel 3 sker en inventering av förutsättningarna för att bestämma ett sådant säkerhetsmål för de olika trafikslagen.

## **2.2 En ansats till att finna ett samordnat säkerhetsmål**

### **2.2.1 Två perspektiv**

Ett sätt att konstruera ett säkerhetsmål som kan bemöta de ovan nämnda principerna är att formulera riskacceptanskriterier med kvantitativa riskmått. Fördelen med kvantitativa riskmått är att de är mätbara, jämförbara, kommunicerbara och att de möjliggör en konsekvent hantering av säkerheten över tid. Kvantitativa riskmått medför att en riskacceptansnivå kan anges eller väljas, vilket är ett av huvudmålen att utreda förutsättningarna för i detta arbete, se avsnitt 1.3. Principiellt innebär det att en risknivå över denna är oacceptabelt hög (och att säkerheten är för låg), medan en risknivå under riskacceptansnivån betraktas som acceptabelt låg (och att säkerheten är tillräckligt hög). Inom många tillämpningsområden har denna princip utvidgats till att också innehålla ett område mellan acceptabel och oacceptabel risk där det inte direkt går att säga om risken är acceptabel eller ej. Detta område kallas ibland för ALARP ("As Low As Reasonably Practicable") och innebär att risker kan accepteras om alla



*rimliga* åtgärder vidtas. Vad som ska anses rimligt kan till exempel utvärderas med hjälp av kostnads-nyttoanalyser.

I många situationer där riskanalys utförs, t.ex. vid riskanalys av kemikalieutsläpp från industrier, används två principiellt olika typer av probabilistiska riskmått. Det är individrisk och samhällsrisk som kan sägas avspegla två olika perspektiv. Individrisk kan definieras på många olika sätt [9]. Ett vanligt sätt att uttrycka individrisk på är som sannolikheten att omkomma för en person som vistas på ett och samma ställe under en given tidsperiod, så kallad platsspecifik risk. Antalet människor som utsätts för faran har inte någon inverkan på värdet av individrisken. Individrisken kan användas för att studera hur risknivån varierar geografiskt i en anläggning, t.ex. som en funktion av avståndet från riskkällan. Riskmättet kan också vara användbart för att studera så att ingen enskild individ exponeras för en orimligt hög risknivå.

Samhällsrisk är ett riskmått som innefattar hur många personer som omkommer vid en olycka och är i regel en funktion av både hur stor sannolikheten är för att en olycka ska uppkomma och hur många som omkommer. Samhällsrisk är sannolikheten – i många sammanhang presenterad som frekvensen per år – för att en grupp med N eller fler personer skulle dödas på grund av en olycka. Samhällsriskmättet tar hänsyn till persontäthet, dvs. beaktar hur stora konsekvenserna kan bli med avseende på antalet personer som påverkas vid olika skadescenarier. Vid värderingen av risk finns ofta ett behov av att använda en kombination av individ- och samhällsrisk.

Vid analys av riskerna i trafiksystem är förutsättningarna något annorlunda. Att använda plats specifika mått, dvs. att förutsätta att personerna stannar kvar i en tunnel givet olyckan är inte meningsfullt vid dimensionering av t.ex. utrymningssäkerhet. Vid bränder är utrymningsförloppet en av de mest betydande delarna av säkerhetsstrategin och måste beaktas vid riskberäkningarna, till skillnad från analyser i samband med kemikalieutsläpp. Dessutom introduceras nya osäkerheter i beräkningarna genom att mänskligt beteende påverkar utrymningsförloppet.

Erfarenheten visar att riskexponeringsmått kan formuleras på många olika vis. Internationell litteratur, se t.ex. [6], visar att de förhärskande riskmåten för att beskriva individ- och samhällsrisk i trafiksystem är med så kallade PLL-tal (Potential Loss of Life) och F/N-kurvor (frequency-number).

### 2.2.2 PLL-tal och FN-kurvor

I vårt fortsatta arbete tas utgångspunkt i PLL-tal och en så kallad riskprofil som även benämns FN-kurvan. PLL-talet är ett mått som anger risken att förolyckas per personkilometer. Den kan bestämmas genom att man

dividerar det förväntade antalet omkomna per år med det trafikarbete (läs trafikmängd) som utträttas årligen i anläggningen [6].

FN-kurvan redovisar information baserat på sannolikhet och konsekvens från samtliga scenarier som kan inträffa och ger en heltäckande bild av den risk som finns i ett system. Den presenteras i form av en sannolikhetsfunktion, där sannolikheten för att en olycka blir lika med eller överskridande konsekvensen  $N$  läggs in som funktion av  $N$  dödsfall, vanligtvis per år.

PLL-talet säger inget om storleken på de förväntade olyckorna. Tidigare erfarenheter visar även att osäkerheterna i skattning av trafikskador i tunneln kan vara större än riskbidraget från både farligt gods och bränder tillsammans. Det gör jämförelsen till ett ganska trubbigt instrument för att värdera om t.ex. brandsäkerheten är tillräcklig, åtminstone om man bara tittar på väntevärde (t.ex. PLL-tal), och inte beaktar riskprofilen. PLL-tal bedöms därför inte som fullt tillräckligt för en kvantitativ verifiering av säkerheten, eftersom motvilja (aversion) mot stora olyckor bedöms vara en viktig faktor vid riskvärdering. Vi går inte närmare in på hur riskmått tas fram utifrån riskanalysberäkningar utan hänvisar t.ex. till PIARC:s arbeten [6].

För att kunna tillmötesgå principer är det viktigt att normera acceptansen för olycksutfall på lämpligt sätt – det är en viktig erfarenhet från arbetet med projekt. Det bedöms inte vara lämpligt att formulera säkerhetsmål eller kriterier onyanserat, eftersom det kan medföra väldigt hög och kostsam säkerhetsstandard i vissa typer av anläggningar och få motsatta effekter i andra anläggningar. Inom trafiksäkerhetsarbetet på ytvägnätet är detta välkänt. Där är det uppenbart att det förväntade antalet olyckor inte är detsamma för en kort lågtrafikerad vägsträcka som för en lång högtrafikerad vägsträcka. Ett sätt att normera riskexponering i vägtrafiksammanhang kan vara utifrån trafikarbetet.

### 2.3 Osäkerheter

I den riskanalysmetod som vi beskrivit i avsnitt 2.2 studeras osäkerheten i händelseförloppet vid olycka. Denna osäkerhet utgör en delmängd av den totala osäkerheten som finns i beräkningarna. Exempel på andra osäkerheter i beräkningarna är indata i konsekvensmodellerna eller sannolikheterna som representerar de tekniska systemens tillförlitlighet. Ofta är det nödvändigt att utföra en analys av de osäkerheter som inte beaktas i beräkningsuttryck eller beräkningsmodeller för att undersöka vilken effekt de har på resultaten. En sådan analys kallas för osäkerhetsanalys.

Behovet av osäkerhetsanalys i beräkningar kan variera från att inte alls behövas, t.ex. om dimensionerande värden, modeller och acceptanskriterium

finns, till att vara mycket omfattande där effekten på beräkningsresultatet av osäkerheter i indata studeras. En grov indelning i olika nivåer av osäkerhetsanalys för dimensioneringsberäkningar kan göras enligt nedan [10] och möjligheten finns att göra en noggrannare indelning som innehåller fler nivåer [11]:

1. Ingen hantering av osäkerheten
2. En grov bedömning av osäkerheten.
3. Utförlig analys av osäkerheten.

För att tillämpa nivå 1 vid projektering av säkerhetssystem i tunnlar krävs det att designekvationer, dimensionerande värden och säkerhetsfaktorer finns framtagna. Dimensioneringen bygger på beräkningsalgoritmer eller gränstillståndsekvationer med probabilistiskt härledda säkerhetsfaktorer inkluderade. Detta är idealfallet och vi har redan tidigare konstaterat att det inte speglar situationen vid projektering av tunnelsäkerhet i komplexa anläggningar där det ställs krav på användning av riskanalys. För situationer när nivå 1 är lämplig har vi hanterat osäkerheterna i samband med att de dimensionerande värdena togs fram och de behöver inte beaktas en gång till. Endast för ett fåtal tillämpningar är detta möjligt. Ett exempel är dimensionering av bärande konstruktioner vid brandpåverkan. För andra tillämpningar är det nödvändigt att använda nivå 2 eller 3.

Vid nivå 2 används resultatet från beräkningsuttryck eller datorprogram direkt utan känslighetsanalys och med subjektivt bedömda nivåer på ingående parametrar som indata. En nackdel med nivå 2 är att det inte framgår hur konservativt slutresultatet blir, dvs. hur mycket risken övervärderas på grund av de osäkerheter som medräknas. Osäkerheten i slutresultatet hanteras genom att en rad konservativa antaganden görs i hela beräkningskedjan, dvs. vid val av indata, val av beräkningsmodeller samt vid tolkning av resultaten. Projektören har svårt att i efterhand justera något enskilt värde och överblicka vad det har för konsekvens för säkerheten, dvs. hur mycket osäkerheterna har bidragit till den beräknade risken. En fördel med nivå 2 framför nivå 3 är att tillvägagångssättet är mindre komplicerat och går snabbare att utföra.

En detaljerad analys av osäkerheter på nivå 3 innebär att osäkerheterna i regel kvantifieras och att effekterna av olika typer av osäkerheter på beräkningsresultaten analyseras. En rad olika tillvägagångssätt finns tillgängliga för att hantera osäkerheter på nivå 3 [12]. Vilket tillvägagångssätt som är lämpligt beror på om beräkningarna omfattar ett eller flera scenarier, vilken typ av modell som används för att beräkna konsekvensen och hur osäkerheter i konsekvensberäkningarna ska hanteras.

En del osäkerheter, t.ex. tillförlitligheten i tekniska system, redovisas tydligt när händelseträdsmetodik används. Däremot behöver osäkerheter i variablerna som används för att modellera brand- och utrymningsförlopp analyseras närmare för att man ska kunna se vilken inverkan de har på det slutliga resultatet. Denna osäkerhet kan beskrivas med sannolikhetsfördelningar som anger vilka olika värden variabeln kan anta och hur sannolikt respektive värde är. Osäkerheten i variablerna kan sedan fortplantas genom riskberäkningarna så att osäkerheten i slutresultatet kan bestämmas. För enkla beräkningar kan det göras för hand. För mer komplicerade beräkningar underlättar det att använda datorprogram.

När delar av riskberäkningarna utförs med deterministiska datormodeller uppstår en svårighet. Endast enstaka parameterkombinationer studeras och ingen känslighetsanalys utförs. I deterministiska modeller anges indata som deterministiska (enstaka) värden, vilket leder till att även utdatavariablerna blir deterministiska, t.ex. höjden på brandgaslagret som funktion av tiden. För att undersöka effekten på utdata för olika värden på en indatavariabel vid osäkerhetsanalys måste nya beräkningar utföras för varje nytt värde på indatavariabeln. För att utföra en osäkerhetsanalys krävs i regel att flera indatavariabler varieras samtidigt så att olika parameterkombinationer studeras. Då växer snabbt antalet beräkningar som är nödvändiga för att undersöka effekten på utdata vid alla tänkbara variabelkombinationer av indata.

## 3 Inventering

### 3.1 Regelverk

#### 3.1.1 Trafiktunnlar i allmänhet

Sveriges medlemskap i EU innebär att EU:s regelverk ska gälla i Sverige. Det svenska regelverket ska vara anpassat till mot EU:s regler och inte strida mot dem. Inriktningen för EU med fri rörlighet av varor och tjänster har inneburit en gemensam reglering av transportsystemen i Europa. För vägtunnlar och järnvägstunnlar finns därför gemensamma EU-regler utgivna. Tunnelbanan är däremot ett lokalt system och där finns inga EU-regler utgivna eller planerade. Regler som gäller säkerhet i trafiktunnlar i allmänhet har inte påträffats under inventeringen.

Svenska lagar som allmänt berör säkerhet och trafiktunnlar som byggnadsverk – förutom de som gäller för respektive väg, järnväg och spårtrafik – är lagen (2003:778) om skydd mot olyckor (LSO), plan- och bygglagen (2010:900) (PBL) och arbetsmiljölagen (1977:1160). LSO anger bland annat att ägaren till en anläggning har ansvar för analys av risker, tillhandahåller utrustning för släckning av brand och livräddning i skälig omfattning. Alla tre lagar, med tillhörande förordningar, omfattar tunneln som byggnadsverk men ger inget stöd för kvantitativa riskmått, säkerhetsnivåer eller mål och metoder för detta. Å andra sidan finns det heller inte något hinder för att sådana upprättas av myndigheterna.

Den svenska regeringen anger härutöver mål i ”Mål för transporter och infrastruktur” [13] som berör säkerhet i tunnlar: ”Transportpolitikens mål är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet”. Målen är uppdelade på funktionsmål (tillgänglighet) och hänsynsmål (säkerhet, miljö och hälsa). Både hänsynsmålen och funktionsmålen bedöms vara relevanta för tunnlar.

I juni 2009 beslutade riksdagen om ett nytt etappmål för trafiksäkerheten på de svenska vägarna. Det innebär att antalet trafikdödade år 2020 inte får vara fler än 220. Etappmålet innebär en halvering av antalet dödade i trafiken från år 2007 till år 2020. Antalet allvarligt skadade i trafiken ska minska med en fjärdedel under samma period.

Trafikverket har dessutom tagit fram interna etappmål för säkerheten på järnväg enligt följande [14]:

”Trafikverket ska vidta nödvändiga åtgärder för att minska det totala antalet omkomna i järnvägstransportsystemet med minst 50 procent fram till år 2020. Basåret för målet är 2010, då sammanlagt 110 personer omkom, inklusive självmord.”

Storstockholms Lokaltrafik, SL, och landstinget har en vision som bygger på regeringens nollvision om att ingen människa ska skadas eller dödas i trafiken.

Myndigheten Trafikanalys har regeringens uppdrag att årligen följa utvecklingen inom transportområdet i förhållande till de transportpolitiska målen, se vidare [www.trafa.se](http://www.trafa.se).

### 3.1.2 Vägtunnlar

#### Lag, förordning och föreskrift

Säkerhet i vägtunnlar styrs, utöver av de allmänna kraven ovan, av lagen (2006:418) om säkerhet i vägtunnlar [15] och förordningen (2006:421) om säkerhet i vägtunnlar [16]. Ingen av dessa ger direkta krav på tunnelns utformning eller säkerhetsnivå utan de beskriver främst procedurer, roller och bemyndiganden, vilka dock är en förutsättning för att nå den efterfrågade säkerhetsnivån. Direkta utformningskrav återfinns i Transportstyrelsens föreskrifter (TSFS 2015:27) [17]. Dessa författningar tillsammans implementerar EU-direktivet om säkerhet i vägtunnlar [18] i svensk lag.

Enligt förordningen och föreskriften ovan ska de säkerhetsåtgärder som vidtas för tunnlar vara resultatet av en samlad bedömning, där delarna tunnelkonstruktion, vägutformning, fordonsegenskaper, trafik och trafikstyrning, utrymningsförhållanden och assistans ska beaktas.

I föreskriften finns i 2 § en mer detaljerad lista med 16 utformningsparametrar som ska ingå i bedömningen. Om tunneln har en speciell utformning avseende någon av dessa, ska en riskanalys vara utgångspunkt för att bestämma om riskreducerande åtgärder behöver vidtas. Några av de parametrar som nämns, och som återkommer i särskilda paragrafer i föreskriften är vägbanans lutning, risk för köbildning vid longitudinell ventilation samt transport av farligt gods. För val av riskanalysmetoder hänvisar föreskriften till regeringsuppdraget Personssäkerhet i tunnlar [19], men inget kriterium för att avgöra vilken nivå som eftersträvas finns angiven.

Kraven på riskanalysen framgår också av förordningen:

”27 § Riskanalyser skall utföras i den utsträckning det är särskilt föreskrivet. Den som utför en riskanalys skall vara funktionellt oberoende av tunnelhållaren.

Med riskanalys avses en analys av de risker som är förknippade med en viss tunnel. Analysen skall göras i enlighet med bästa tillgängliga metod och med beaktande av alla faktorer som rör utformningen och dimensioneringen av tunneln samt de trafikförhållanden som påverkar säkerheten, särskilt

trafikens karaktär och typ, tunnelns längd, tunnelgeometrin och det förväntade antalet tunga lastfordon per dag.

28 § Innan en tunnel tas i bruk för allmän trafik skall tunnelhållaren genomföra riskanalyser som avser omkörning med tunga lastbilar i tunneln och transport av farligt gods i tunneln. Riskanalyserna skall sändas till den eller de myndigheter som har rätt att meddela lokala trafikföreskrifter.”

Utöver detta finns i föreskriften ett antal utformningskrav, i många fall hämtade direkt ur EU- direktivets bilaga 1. EU-direktivets bilaga innehåller dock minimikrav för införande i nationell lagstiftning, och kraven är därför till viss del skärpta vid införandet i föreskriften. Föreskriften är skriven så att kraven i EU-direktivet alltid uppnås, men de nationella skärpningarna av kravet hanteras som råd eller så ges det möjlighet hitta alternativa utformningar utifrån föreskriftstexten. Ett tydligt exempel på detta är kravet på självutrymning, där EU-direktivet bara anger att det ska finnas utrymningsvägar minst var 500:e meter, medan föreskriften i grunden har strängare krav enligt nedan.

Föreskrift: ”Om avståndet mellan två utrymningsvägar är större än 200 meter i tunnlar längre än 500 meter ska gränsvärden för vad som är kritiska förhållanden fastställas och får inte överskridas under den tid som krävs för utrymningen.”

Föreskriften anger således utan vidare analys att 200 meter är tillräckligt, men den ger möjlighet att verifiera avstånd upp till EU-direktivets nivå på 500 meter. I det senare fallet ska utrymningssäkerheten verifieras med riskanalys, men inga acceptanskriterier finns angivna.

#### **Byggherrekra**

Trafikverket har sedan 1990-talet ett internt regelverk för tunnlar, där även säkerheten regleras. Nuvarande utgåva är TRVK tunnel 11 [20] och TRVR tunnel 11 [21], vilka båda återger tidigare interna regelverk och anger hur krav i senare lagar bör tillämpas på tunnlar som inte i laglig mening omfattas av kravet. Trafikverkets krav sammanfaller till stor del med Boverkets föreskrift (BVT1) [22] som numera ersatts av Transportstyrelsens föreskrifter TSFS 2015:27 [17].

Trafikverkets krav gäller för tunnlar som byggs i statlig regi. Andra byggherrar väljer dock ofta att tillämpa TRVK och TRVR, i brist på egna regelverk.

Utgångspunkten för Trafikverkets krav på utformning av tunnlar är att alla tillåtna vägtransporter med farligt gods ska kunna förekomma också i tunnlarna.

I Trafikverkets krav TRVK anges utöver detaljkrav ett mål för säkerheten uttryckt så här:

”Tunnlar bör utformas så att risker förknippade med användning av vägar med tunnlar inte är större än för vägar utan tunnlar.”

Vidare anges att en riskanalys ska användas för att bestämma säkerhetskonceptet, dvs. omfattningen av de säkerhetsåtgärder som ska införas. Det anges ett knappt tiotal utformningar eller system som ska bestämmas med hjälp av riskanalys och att olika alternativ ska kunna jämföras med hänsyn till kostnad och nytta. Därutöver anges att riskanalysen ska verifiera säkerhetskonceptet, dvs. visa att summan av åtgärderna uppfyller säkerhetsmålet ovanoch kraven på självutrymning enligt nedan:

”En tunnel ska utformas så att en utrymning vid brand kan ske på ett tillfredsställande säkert sätt.”

Kravet brukar benämnas som krav på självutrymning, och det finns väl definierade angivelser av när förhållandena i tunneln är så kritiska att utrymning inte kan ske på ett tillfredsställande sätt. Men det saknas en angivelse av vilken påfrestning i form av brand eller utrymning som tunnelns system ska kunna hantera eller vilken maximal utrymningstid som tunnelns system ska säkerställa.

Utifrån Trafikverkets byggherrekraV [20] [21] finns krav på riskanalys för att dels optimera tunnelns utformning, dels verifiera tillräcklig säkerhet.

Detta krav fungerar bra att använda för jämförelse mellan olika alternativa sträckningar om endast det förväntade antalet dödsfall per år (i medeltal) tillämpas. Eftersom trafikriskerna normalt är betydligt större än övriga risker, blir det till stor del den totala väglängden som avgör risknivån.

### 3.1.3 Järnvägstunnlar

#### **Lag, förordning och föreskrift**

Säkerhet i järnvägstunnlar styrs av regler som är utfärdade av EU och är gällande i Sverige enligt järnvägslagen. För detta projekt är CSM, CST/CSI/NRV och TSD tunnelsäkerhet intressanta och kommenteras nedan.

#### **Gemensam säkerhetsmetod (CSM)**

CSM-RA-förordningen (402/2013/EG) [23] om gemensamma säkerhetsmetoder ställer krav på järnvägssektorn att utvärdera riskerna med hjälp av en standardiserad metod för att analysera och bedöma riskerna.

Syftet med gemensamma säkerhetsmetoder är att bibehålla eller förbättra säkerhetsnivån på EU: s järnvägar, när och var det är nödvändigt och



praktiskt möjligt. De gemensamma säkerhetsmetoderna är också avsedda att harmonisera tillträdet till marknaden för järnvägstjänster och på så sätt förenkla tillgången på resurser.

Förordningen ska användas vid alla väsentliga ändringar i järnvägssystemet och är till för att ändringarna ska genomföras på ett sådant sätt att alla säkerhetsrisker reduceras till en acceptabel nivå.

Det finns tre principer för att värdera risker i CSM-RA:

- Vedertagen praxis
- Jämförelse med referenssystem
- Uttrycklig riskuppskattning

Vedertagen praxis får användas om den är allmänt vedertagen inom järnvägssektorn, om den är relevant för att kontrollera riskkällorna och om den är offentligt vedertagen. Risker som kontrolleras enligt denna praxis är acceptabla och behöver inte analyseras vidare. Exempel på vedertagen praxis är TSD, notifierade nationella regler och EN-standarder.

Principen med referenssystem, dvs. jämförelse med ett liknande system, får användas om man hittar ett referenssystem som är beprövat med godtagbar säkerhetsnivå. Risker som förekommer i referenssystemet och accepterats där kan anses som acceptabla också i det system som projekteras. Säkerhetskraven för referenssystemet blir säkerhetskrav för systemet som projekteras.

Med uttrycklig riskuppskattning avses en beräkning av risken och jämförelse mot acceptanskriterier.

Exempel på uttrycklig riskuppskattning är de mål och den metod som Trafikverket har tagit fram, se byggherrekraV i detta avsnitt..

### **Gemensamma säkerhetsindikatorer (CSI)**

Enligt artikel 5.1 i direktiv 2004/49/EG ska information om gemensamma säkerhetsindikatorer samlas in av medlemsstaterna för att göra det lättare att bedöma om de gemensamma säkerhetsmålen har uppnåtts och för att göra det möjligt att övervaka den allmänna utvecklingen av järnvägssäkerheten. Huvudsyftet med de gemensamma säkerhetsindikatorerna är att mäta säkerhetsnivån och underlätta ekonomisk konsekvensbedömning av gemensamma säkerhetsmål.

Ändring av Europaparlamentets och rådets direktiv 2004/49/EG har skett via direktiv 2014/88/EU som fastställdes den 9 juli 2014 avseende

gemensamma säkerhetsindikatorer och gemensamma metoder för beräkning av kostnaderna för olyckor.

Säkerhetsindikatorer är uppdelade på följande kategorier:

- Olyckor
- Farligt gods
- Självmord
- Riskfaktorer för olyckor
- För beräkning av de ekonomiska konsekvenserna av olycka
- Infrastrukturens tekniska säkerhet och dess genomförande

Olyckor är uppdelade på följande olyckstyper:

- Kollision mellan tåg och järnvägsfordon
- Kollision mellan tåg och hinder i det fria rummet
- Tågurspårningar
- Plankorsningsolyckor
- Personolyckor (ej självmord och självmordsförsök)
- Brand i rullande materiel

Det sammanlagda och relativa (per tågkilometer) antalet personer som allvarligt skadats eller avlidit per typ av olycka delas upp i följande kategorier:

- Passagerare (även i förhållande till det sammanlagda antalet passagerarkilometer och persontågkilometer)
- Anställda eller entreprenör
- Plankorsningstrafikanter
- Inkräktare
- Annan person som befinner sig på en plattform
- Annan person som inte befinner sig på en plattform

Det är även av intresse att redovisa de indikatorer som anges för beräkning av de ekonomiska konsekvenserna av olycka enligt direktiv 2014/88/EU, se nedan.

Den sammanlagda och relativa (per tågkilometer) kostnaden i euro:

- Antalet dödsfall och allvarliga personskador multiplicerat med värdet av att förhindra ett dödsfall eller en allvarlig personskada
- Kostnaden för miljöskador
- Kostnaden för materiella skador på rullande materiel eller infrastruktur
- Kostnaden för förseningar till följd av olyckor

Detta kan jämföras med de uppgifter och anvisningar som utgivits av Trafikverket i rapporten ”Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn”, även kallad ASEK-rapporten [24].

### **Gemensamma säkerhetsmål och nationella referensvärden (CST/CSI/NRV)**

Syftet med gemensamma säkerhetsmål (CST) är att mäta säkerhetsprestanda och underlätta ekonomisk konsekvensbedömning av gemensamma säkerhetsmål.

Gemensam säkerhetsmetod för bedömning av europeiska säkerhetsmål och beräkning av nationella referensvärden (CST/NRV) antogs år 2009, se kommissionens beslut 2009/460/EC. Värden för NRV och CST togs fram via EU-data för åren 2004–2009 och publicerades i kommissionens beslut 2012/226/EU år 2012. NRV-värdena ändrades senare med kommissionens genomförandebeslut 2013/753/EU och bygger på EU-data för åren 2008–2012.

Det finns CST- och NRV-värden framtagna för följande riskkategorier (olyckor): passagerare; personal; plankorsningstrafikanter; övriga och obehöriga personer som befinner sig på järnvägsområdet; andra personer och samhället som helhet.

Riskenivåerna för passagerare uttrycks som antal omkomna och allvarligt skadade per tågkilometer och per passagerarkilometer. NRV-värden för riskkategori passagerare jämfört med CST har sammanställts i Tabell 1.

Tabell 1. Säkerhetsmål för passagerare, NRV-värden jämfört med CST.

	<b>NRV</b>	<b>CST</b>
Antal dödsolyckor och vägda allvarliga personskador (passagerare) per år till följd av betydande olyckor/antal persontågkilometer per år. (Persontågkilometer avser i detta sammanhang	3,54E-09 <sup>1</sup>	170E-09

<sup>1</sup> Uttryckssättet E med efterföljande siffrvärde används genomgående i rapporten, liktydigt med och innebär att talet innan skall multipliceras med faktorn tio upphöjt till angivet siffrvärde. Ex. 3,54E-09 = 0.00000000354.

den måttenhet för trafikarbete som enbart rör persontåg.)		
Antal dödsolyckor och vägda allvarliga personskador (passagerare) per år till följd av betydande olyckor/antal passagerarkilometer per år.	0,033E-09	1,65E-09

De gemensamma säkerhetsmålen, nationella referensvärden och säkerhetsindikatorerna underlättar kontrollen av järnvägssäkerheten genom att tillhandahålla ett kvantifierat mått på om säkerheten i medlemsstaterna åtminstone bibehålls på samma nivå. Det är i detta läge oklart hur Transportstyrelsen planerar att använda CST/CSI respektive NRV i sitt arbete och sina regler.

### TSD säkerhet i järnvägstunnlar

Kommissionens förordning nr 1204/2014 avseende TSD<sup>2</sup> säkerhet i järnvägstunnlar [25] är gällande i Sverige enligt järnvägslagen och ska tillämpas på nya, moderniserade och ombyggda tunnlar som är längre än 100 meter och som ingår i det Europeiska järnvägsnätet (TEN).

Kraven i TSD säkerhet i järnvägstunnlar är att betrakta som minikrav som alltid måste uppfyllas. TSD:n föreskriver riskanalyser och riskbedömningar som metod att tillämpa i ett antal situationer och hänvisar till CSM-RA [23]. Situationer som nämns är följande.

När man avser att tillämpa högre krav än vad som gäller enligt TSD säkerhet i järnvägstunnlar:

- "Medlemsstaterna kan föreskriva nya och strängare krav för specifika tunnlar i enlighet med artikel 8 i direktiv 2004/49/EG. Sådana krav ska anmälas till kommissionen innan de införs. Sådana högre krav ska grundas på en riskanalys och motiveras med en särskild risksituation. De ska utarbetas i samråd med infrastrukturförvaltaren och berörda räddningsmyndigheter och de ska bedömas med avseende på kostnadseffektivitet."

När andra tunnelolyckor kan vara relevanta:

- "När en riskanalys leder till slutsatsen att andra tunnelolyckor kan vara relevanta ska särskilda åtgärder fastställas för att hantera dessa scenarier."

När man söker alternativ teknisk lösning för "säker plats":

- "Alternativa tekniska lösningar för att skapa en säker plats som åtminstone har en motsvarande säkerhetsnivå är tillåtna. Den likvärdiga säkerhetsnivån för passagerare och personal ska påvisas enligt den gemensamma säkerhetsmetoden för riskbedömning (CSM RA)."

<sup>2</sup> Tekniska specifikationer för driftkompatibilitet förkortas vanligen TSD.

När man söker innovativa lösningar:

- ”För att följa den tekniska utvecklingen och uppmuntra modernisering bör innovativa lösningar främjas, och deras genomförande bör tillåtas på vissa villkor. Om en innovativ lösning föreslås bör tillverkaren eller dennes behöriga ombud ange hur den avviker från eller hur den kompletterar det berörda avsnittet i TSD:n, och den innovativa lösningen bör bedömas av kommissionen. Om bedömningen utfaller positivt bör byrån fastställa lämpliga funktions- och gränssnittspecifikationer för den innovativa lösningen och utarbeta lämpliga bedömningsmetoder.”

När man planerar drift med ny rullande material i befintliga tunnlar:

- ”Kategorin av ny rullande materiel som planeras för drift i befintliga tunnlar ska väljas i enlighet med punkt 4.4.6 a i TSD säkerhet i järnvägstunnlar”
- ”En medlemsstat kan dock tillåta drift med ny rullande materiel i kategori A i befintliga tunnlar som är längre än 5 kilometer, under förutsättning att sådan ny rullande materiel ger en likvärdig eller förbättrad brandsäkerhetsnivå jämfört med driften med tidigare rullande materiel. Den likvärdiga eller förbättrade säkerhetsnivån för passagerare och personal ska påvisas enligt den gemensamma säkerhetsmetoden för riskbedömning (CSM RA).”

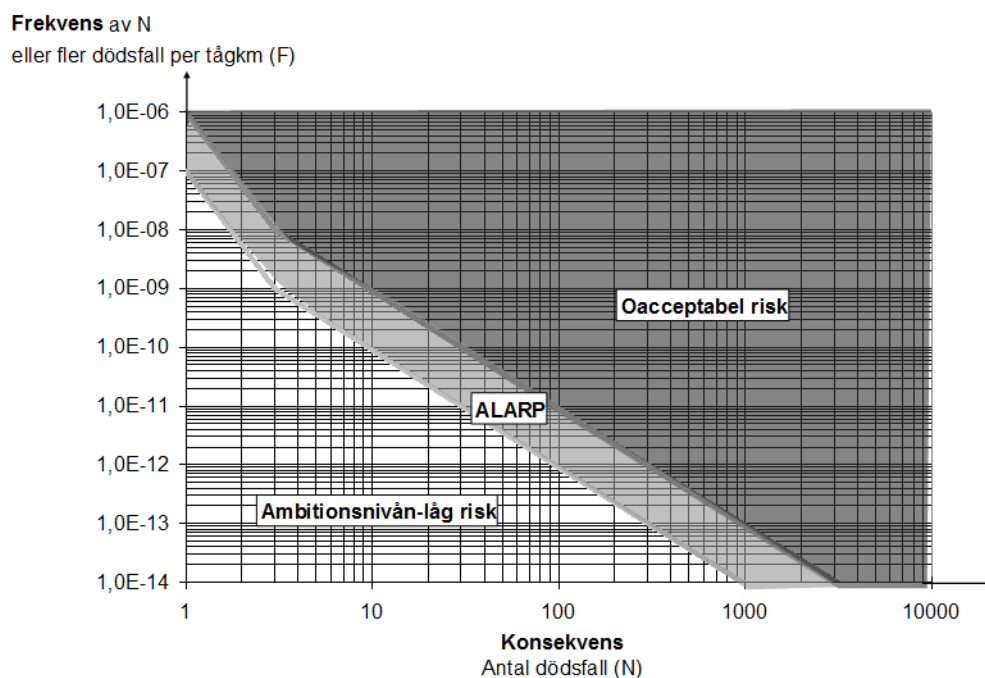
#### **Byggherrekra**

Trafikverket har anpassat sina regler till de som gäller inom EU. Exempelvis har TRVK Tunnel 11 [20] anpassats till TSD SRT [25] avseende utformningskrav m.m.

Trafikverket har tagit fram säkerhetsmål för personsäkerheten i järnvägstunnlar som säger följande:

”Järnvägstrafik per kilometer i tunnlar ska vara lika säker som järnvägstrafik per kilometer på markspår exklusive plankorsningar”.

Ambitionsnivån anges konkret i handboken BVH585.30 [26] med riskacceptansnivåer för järnvägstunnlar med stöd av ett F/N-diagram, se Figur 2.



- **Vitt:** Ambitionsnivå är uppnådd. Säkerställ nivån genom kontinuerlig uppföljning av förändringar, incidenter och säkerhetsåtgärder.
- **ALARP - 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 2. Ambitionsnivå i F/N-diagram, BVH585.30.

Åtgärder för att minska risker inom ALARP<sup>3</sup>-området, den mellangrå zonen i Figur 2, måste inte men bör vidtas, om kostnaderna inte är orimliga i förhållande till reduktionen av risken.

Acceptansnivåerna uttryckt som en F/N-kurva enligt Figur 2 används i Trafikverkets säkerhetsanalyser av järnvägstunnlar för att verifiera att risknivån är acceptabel. I tidigare versioner av handboken förekom en variant av denna kurva där ambitionsnivån i stället var utformad i matrisform med gränser för sannolikheten inom olika konsekvensklasser med skadade och omkomna. Syftet var dock detsamma. Acceptansnivåerna uttryckta i F/N-diagram i Figur 2 är en tolkning och överföring av Trafikverkets acceptansnivåer i den tidigare riskmatrisen.

<sup>3</sup> ALARP (As Low As Reasonably Practicable).

### 3.1.4 Tunnelbanetunnlar

#### Lag, förordning och föreskrift

Säkerhet i tunnelbanetunnlar styrs av lagen (1990:1157) och förordningen (1990:1165) om säkerhet vid tunnelbana och spårväg. De reglerar dock i första hand de spår- och trafiktekniska delarna inom anläggningen.

Tillämpningsföreskrifter enligt lagen om säkerhet vid tunnelbana och spårväg anger i princip administrativa krav och ställer inte krav på själva utformningen. Inga specifika krav ställs på utformningen utanför de spår- och trafiktekniska delarna. Exempelvis saknas krav på säkerhet vid brandhändelse, risknivåer för säkerhet eller behov av riskanalyser.

Även plan- och bygglagen (PBL) styr byggandet av tunnlar och därmed nya tunnelbanetunnlar. Inga specifika regler eller tillämpningsföreskrifter enligt PBL finns i dag för tunnelbanor. Transportstyrelsen har nyligen fått mandat att ge ut föreskrifter för tunnelbana enligt 10 kap. 6 § plan- och byggförordningen (PBF): ”Transportstyrelsen får efter att ha hört Boverket meddela föreskrifter som behövs för tillämpningen av 3 kap. 7-10 och 13 §§ i fråga om järnvägar, tunnelbanor, spårvägar, vägar och gator samt de anordningar som hör till dessa. Förordning (2014:225)”. Boverket har mandat att ge ut föreskrifter för byggnader enligt PBL, och gränsen mot tunnelbanans stationer med uppgångar är inte helt klarlagd. Avsaknaden av regler i dagsläget kan kopplas till det uppehåll i utbyggnaden av tunnelbanan som varit. Den befintliga tunnelbanan är utbyggd under 1950–1980-talet och med den tidens krav och tekniska lösningar.

I dagsläget åligger det Transportstyrelsen att godkänna anläggningen enligt lagen om säkerhet vid tunnelbana och spårväg. Detta mandat har dock inte getts Transportstyrelsen enligt PBL. Godkännande enligt PBL ges av kommunen, i form av bygglov och slutbevis.

Detta sammantaget gör att det för närvarande finns stora osäkerheter i tolkning och tillämpning av krav i lagstiftningen när det gäller nybyggnation av tunnelbana.

#### Byggherrekrav

I Sverige finns endast en tunnelbana: den som finns i Stockholm och som ägs av landstinget genom Trafikförvaltningen (TF). Spårväg finns på flera håll i landet men tunnlar för spårväg finns undantagsvis och i liten omfattning endast i Göteborg.

Det finns omfattande byggherrekrav utarbetade inom TF, bland annat i form av riktlinjer inom olika teknik- och funktionsområden. Även vad gäller TF har reglerna för tunnelbanan i huvudsak inriktats på befintlig anläggning, och det finns inga specifika regler för utbyggnad av ny tunnelbana.

Riktlinjerna (eller motsvarande) har tidigare ofta varit detaljstyrande, men har på senare tid inom bland annat brandskydd även baserats på funktionskrav och riskanalyser för att bli mer heltäckande. Det finns dock inga generella minimikrav på åtgärder, angivna risknivåer eller metoder för riskanalyser.

Landstinget i Stockholms län har 2014 inrättat Förvaltningen för utbyggnad av tunnelbanan (FUT). Den ska ansvara för kommande utbyggnad av tunnelbanan i Stockholm. Inom FUT pågår ett intensivt arbete med att tolka lagstiftningskrav och ta fram egna byggherrekra. Det arbetet baseras på praxis i dagens tunnelbana och nybyggnad av järnvägstunnlar med stationer. Inga angivna risknivåer eller metoder för riskanalyser finns ännu framtagna.

Utländska föreskrifter och handböcker finns, t.ex. BOSTrab ”Technische Spezifikation zur Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab)”, 2014, och NFPA 130 ”Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail”, 2014, men dessa innebär inte självklart att de medger en säkerhetsnivå som anses vara acceptabel i Sverige. Inom FUT används de för att hämta goda exempel och som jämförelse vid betraktelse av säkerheten.

## 3.2 Olycksstatistik

### 3.2.1 Vägtrafik

#### Tunnlar

Tillgången på statistik från vägtunnlar är relativt begränsad. Enligt den relativt nya undersökningen ”Tunnelars framkomlighet och säkerhet” [27] är trafiksäkerheten i Södra länken med stor sannolikhet högre än motsvarande väg på ytan. Av rapporten går det även att beräkna olyckskvoter för de olika tunnelavsnitten. Slutsatsen är att snittet är 0,20 olyckor/miljon fordonskilometer (/mfkm) vad gäller polis- och sjukhusrapporterade olyckor, och 0,33 olyckor/mfkm för olyckor och incidenter enligt Trafik Stockholms statistik. Värdena gäller 2004–2013 i snitt men med en kraftigt ökande trend. Det går också att påvisa kraftiga variationer mellan olika avsnitt i Södra länken.

Mer omfattande undersökningar finns för norska tunnlar, varav de senare undersökningarna [28] har underlag för flera olika tunneltyper. Resultatet är i ungefär samma nivå som ovan men pekar på betydligt lägre nivåer i snitt, eftersom norska tunnlar till stor del är långa och lågtrafikerade, och olycksrisken avtar med tunnelns längd.

Enligt PIARC:s statistik [29] från franska tunnlar är sannolikheten för brand i personbil 10–20 gånger högre än sannolikheten för dödsfall på mötesseparerad väg enligt föregående avsnitt. Brand i personbilar leder dock sällan till dödsfall ens i tunnlar. Allvarliga bränder (över 20 MW)



uppskattas uppstå ungefär lika ofta som dödsolyckor i trafiken, men oftast utan trafikolycka som orsak.

Fordonsbränder uppstår främst till följd av elektriska fel (mest frekvent för lätta fordon), överhettade bromsar (gäller i ca 60–70 procent av bränderna i lastbilar) och andra defekter [29]. Det är normalt fordonen och eventuellt transporterad last som utgör såväl tändkälla som brännbart material.

### Ytvägnätet i Sverige

För ytvägnätet finns relativt omfattande svensk statistik presenterad i Trafikverkets effektkataloger [30] samt Trafikanalys årliga rapporter. Risken för dödsfall på mötesfria vägar i intervallet 70–90 km/h är enligt effektkatalogen i storleksordning 1 per miljard fordonskilometer. För trafiken som helhet var det 270 dödsfall år 2014 [31] och ytterligare ca 10 procent självmord (suicid). Av de döda i trafiken är 52 personer gångtrafikanter och 33 cyklister. Med ca 120 miljarder personkilometer i personbilar och bussar beräknas olyckskvoten till totalt 1,5E-03 dödsfall/miljon personkilometer (ger ca 2,2E-03 dödsfall/mfkm).

En intressant aspekt är att dödstalen i vägtrafiken har sjunkit med hela 66 procent sedan 1991, trots att trafikarbetet har ökat något.

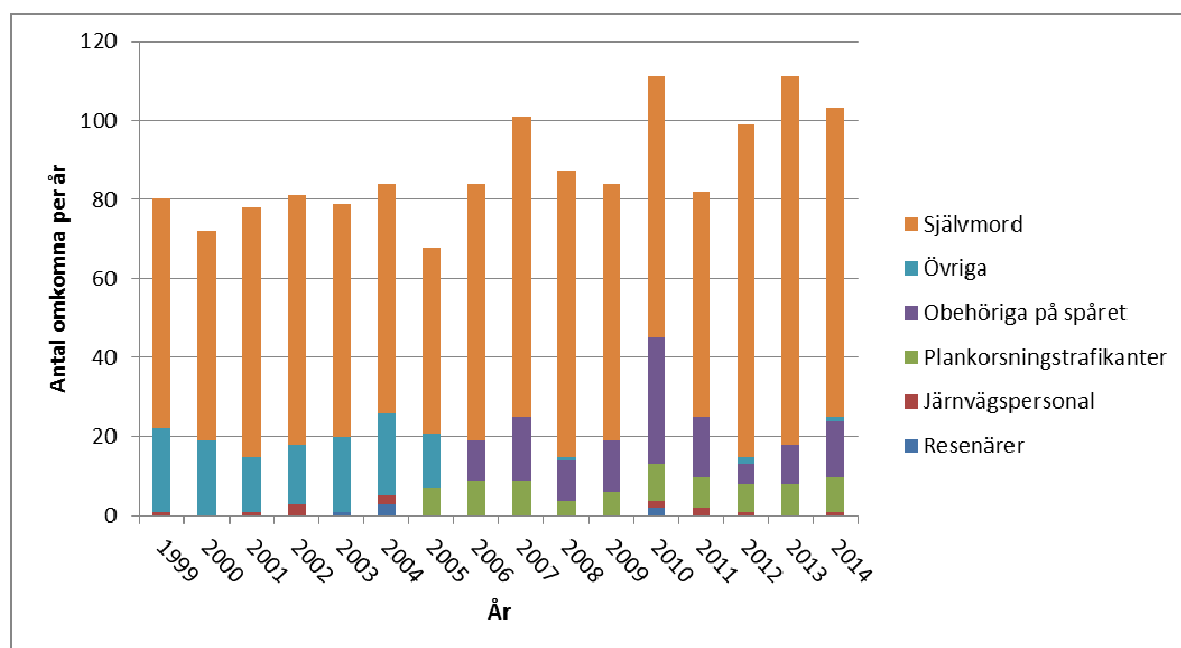
Tabell 2. Sammanställning av dödfall i vägtrafiken i Sverige som helhet.

<b>Sammanställning 2014</b>	<b>Totalt</b>	<b>Alla trafikanter exklusive suicid</b>	<b>Trafikanter som färdas inne i fordon</b>
Antal omkomna/år	300	270	185
Antal omkomna/miljon personkm	2,5E-03	2,2E-03	1,5E-03

### 3.2.2 Järnvägstrafik

Statistikinsamling för järnvägen görs kontinuerligt. Trafikanalys gör varje år en sammanställning [35] av bantrafikskador som utgör en del av den officiella statistiken.

De största bidragen till antalet skadade och döda i järnvägen utgörs av självmord och personpåkörningar vid t.ex. spårspring eller obehövade plankorsningar. Se Figur 3 avseende antal dödade i järnvägen.



Figur 3 Antal omkomna inom järnvägstrafiken mellan åren 1999–2014<sup>4</sup> [35].

Totalt antal omkomna i järnvägstrafiken var under åren 1999–2014 mellan 68–111 personer per år, där suiciden utgör 55–93 personer per år (70–85 procent av det totala antalet omkomna). Ett 20-tal omkomna per år har andra orsaker än självmord, det är främst olyckor med obehöriga inom spår område och plankorsningsolyckor.

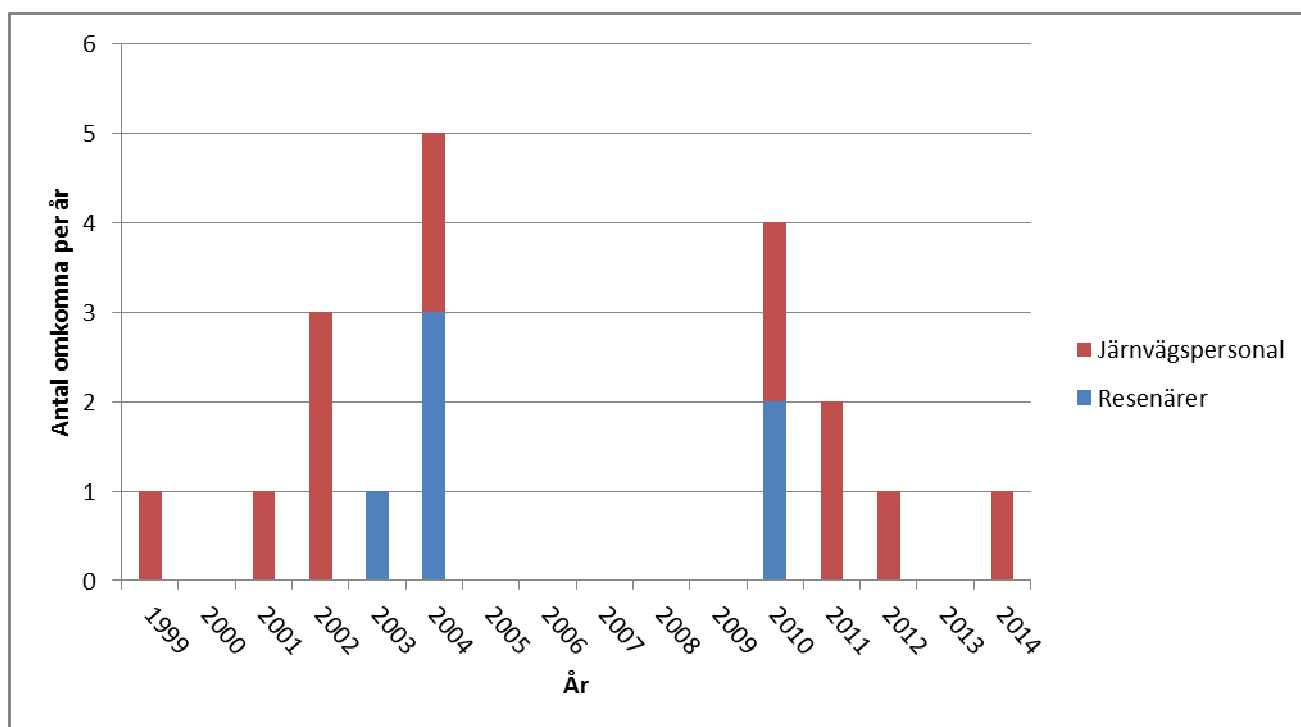
Antal omkomna resenärer och järnvägspersonal utgör mellan 0 och 5 personer per år, varav resenärer utgör 0–3 personer per år. Antal allvarligt skadade resenärer varierar mellan 1–10 per år.

Det är sällan antalet omkomna vid en dödolycksolycka har överstigit 2 personer under 1990- och 2000-talet. Oftast är det en person och mer sällan 2 personer som omkommer vid samma olycka. Antal allvarligt skadade resenärer vid en olycka varierar till upp till 9 vid ett olyckstillfälle under 1990- och 2000-talet. Under 1980-talet förekom ett antal olyckshändelser där antalet omkomna var ett 10-tal och antal skadade 40–100, t.ex. olyckan i Lerum 1987 när två persontåg kolliderade i hög hastighet och 9 personer omkom och 130 personer skadades.

Trafikverket bedömer att nollvisionen i princip uppfyllts för resenärer. Det kontinuerliga arbetet med att öka säkerheten inom järnvägen medför också att säkerheten för resenärer ökar genom att t.ex. obevakade plankorsningar byggs bort.

<sup>4</sup> Fram till år 2005 var avlidna uppdelade i färre kategorier.

Statistiken visar på i medeltal 0,4 omkomna resenärer per år i hela landet under åren 1999–2014. Med järnvägspersonal inkluderad erhålls i medeltal 1,2 omkomna per år under hela perioden och 1,6 omkomna per år för de senaste 5 åren mellan 2010 och 2014, se Figur 4. Järnvägspersonal innefattar även tågpersonal i tågen.



Figur 4 Antal omkomna resenärer och järnvägspersonal mellan åren 1999-2014.

Trafikarbetet i antal personkm per år under åren 2003–2014 har ökat med 36 procent från 8 894 miljoner personkm år 2003 till 12 122 miljoner personkm under år 2014. Det ger i medeltal en ökning med ca 3 procent per år. Mellan 2010 och 2014 var ökningen i medeltal 1,7 procent. Se [32].

Uppgifterna om totalt antal omkomna per år respektive personkilometer sammanställs i Tabell 3 för åren mellan 2010–2014 med totalt 58 290 miljoner personkm.

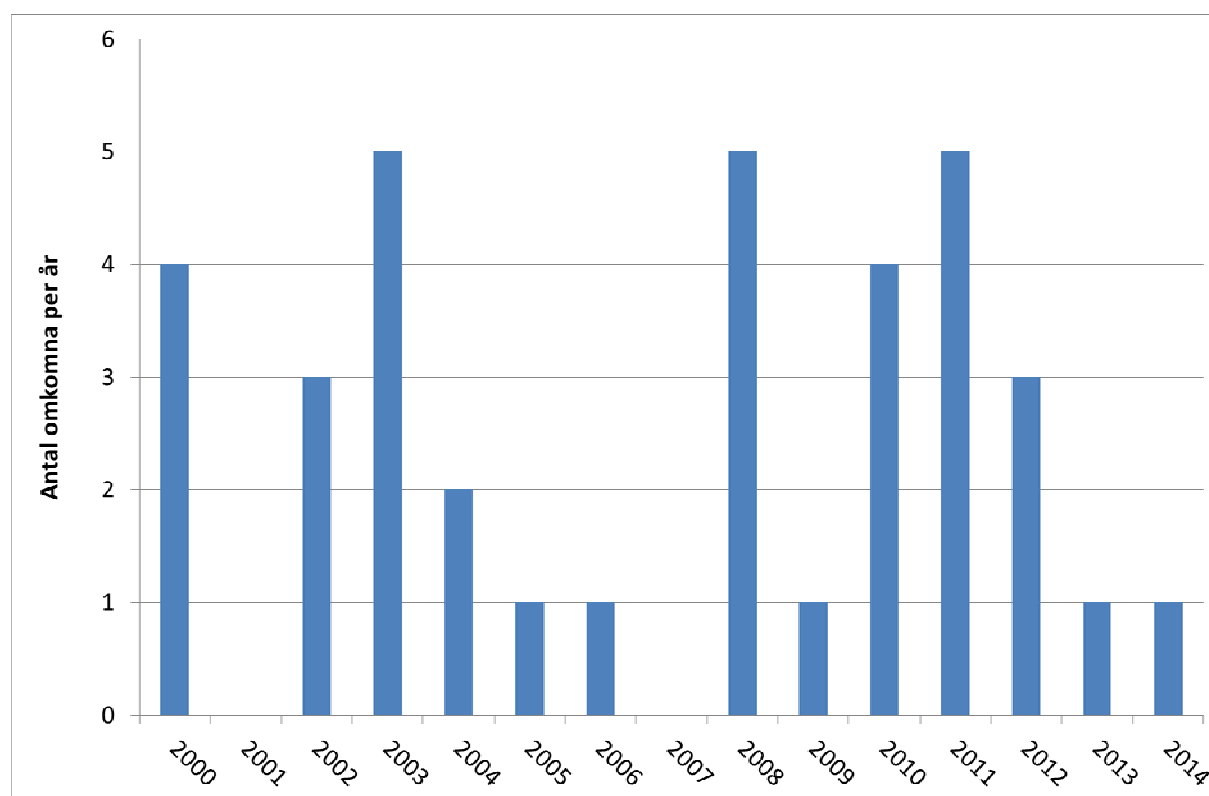
Tabell 3. Sammanställning av dödfall i järnvägstrafiken i Sverige som helhet mellan år 2010–2014.

Sammanställning	Totalt	Exklusive suicider	Endast resenärer
Antal omkomna per år	Ca 100	Ca 25	0,4
Antal omkomna/ miljon personkm	8,7E-03	2,2E-03	0,03E-03

### 3.2.3 Tunnelbana

Statistikinsamling för tunnelbanan utförs även den kontinuerligt på samma sätt som för järnvägen, se [32]. I Figur 5 visas antal omkomna i vid olyckshändelser vid tunnelbanedrift. Av de 14 omkomna 2010–2014 var 13 genom obehörigt spårbedrädande och 1 anställd. Dessutom sker ca 7 suicider per år inom tunnelbanan. Det anges också att ingen resenär har omkommit sedan 2002. Det visar på att större händelser är sällsynta, vilket medför en stor statistisk osäkerhet.

Allvarliga olyckor till följd av brand, urspårning och kollision är mycket ovanliga – ingen har omkommit till följd av detta under de 65 år som tunnelbanan har varit i drift.



Figur 5. Antal omkomna i vid olyckshändelser vid tunnelbanedrift, exkl. suicider. Bantrafikskador 2014, Trafikanalys [32].

En genomgång av Trafikförvaltningens incidentrapporteringssystem (STAR) visar att knappt 2 400 händelser har rapporterats som brand/rök-incident under perioden januari 2010 till och med september 2015. I detta innefattas dock allt, dvs. även felaktig användning av handbrandsläckare m.m. 26 gånger har räddningstjänsten varit på plats. 8 av dessa beror på brand i tunnel eller brand/rök i fordon. Övriga händelser har varit brand

utanför anläggningen, fellarm m.m. och är därför inte relevanta för detta arbete. Vid några få tillfällen har utrymning initierats. Det har dock aldrig varit fara för liv och ingen har skadats. Utslaget på perioden innebär dessa 8 händelser att antalet brandhändelser i tåg eller anläggningen blir ca 1,4 per år.

Urspårningar och sammanstötningar har rapporterats till 4 mellan 2005 och 2014, dvs. 0,4 per år enligt [32]. Detta stämmer också överens med rapporteringen i månadsrapporter. Tunnelbanan transporterade 1 841 miljoner personkilometer år 2013.

En beräkning utifrån statistiken ger följande:

- 7,6E-10 brandincidenter per personkilometer.
- 2,2E-10 sammanstötningar och urspårningar per personkilometer.

Inga omfattande riskanalyser har gjorts i tunnelbaneprojekt, vilket gör att vi inte kunnat ta fram anpassad statistik för sällsynta händelser.

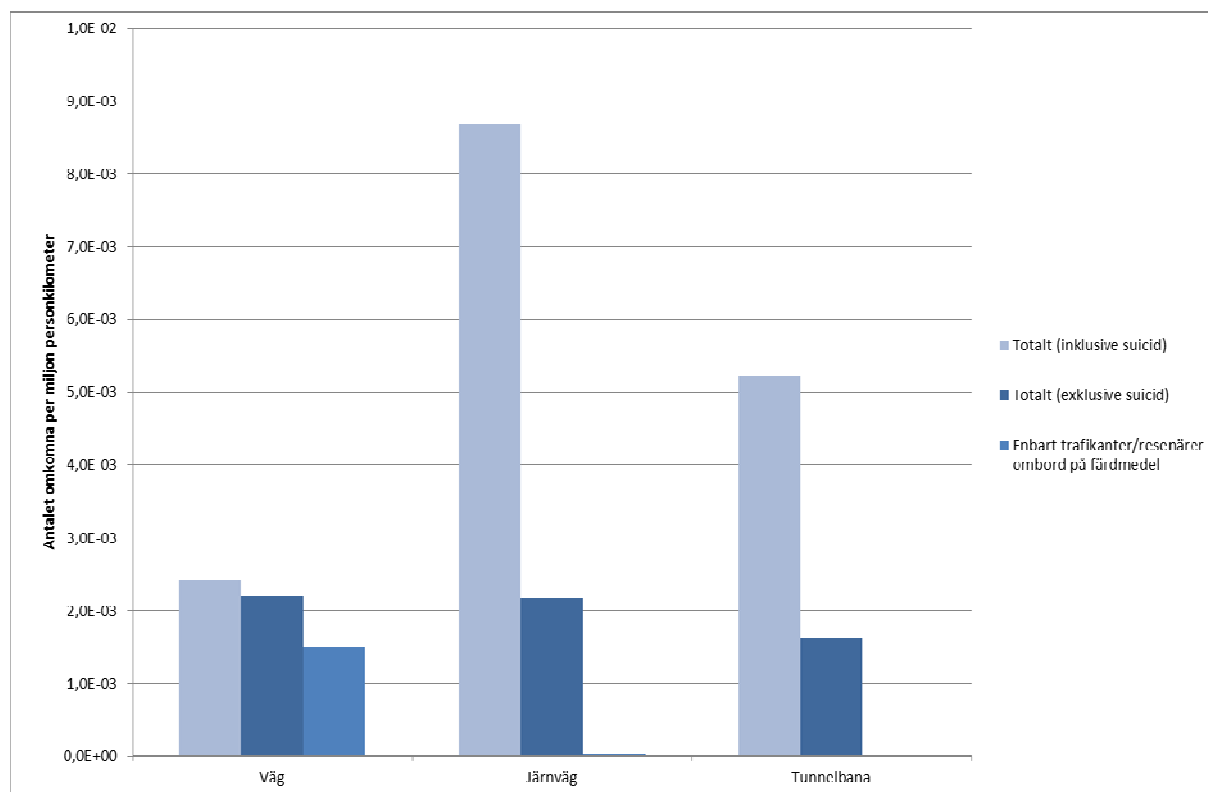
Tabell 4. Sammanställning av dödfall i tunnelbanetrafiken som helhet, exklusive suicid.

Sammanställning	Totalt	Exklusive suicider	Varav resande
Antal omkomna per år	10	3	0
Antal omkomna/miljon personkm	5,4E-03	1,6E-03	0

### 3.2.4 Jämförelse mellan trafikslagen

Med utgångspunkt från olycksstatistik som redovisats för de tre trafikslagen gör vi en sammanställning i figuren nedan. Antalet omkomna per miljon personkilometer anges totalt för alla kategorier (resenärer och oskyddade trafikanter eller spårbedrädanden), inklusive respektive exklusive suicid, samt enbart för trafikanter/resenärer ombord på färdmedel.

Observera att för tunnelbanan har inga olyckor med omkomna resenärer ombord på tåg inträffat.



Figur 6. Jämförelse i PLL-tal mellan de olika trafikslagen. Uppgift om mängden suicid i vägtrafiken saknas.

### 3.3 Mål, metoder och samhällsnytta i vägtunnlar

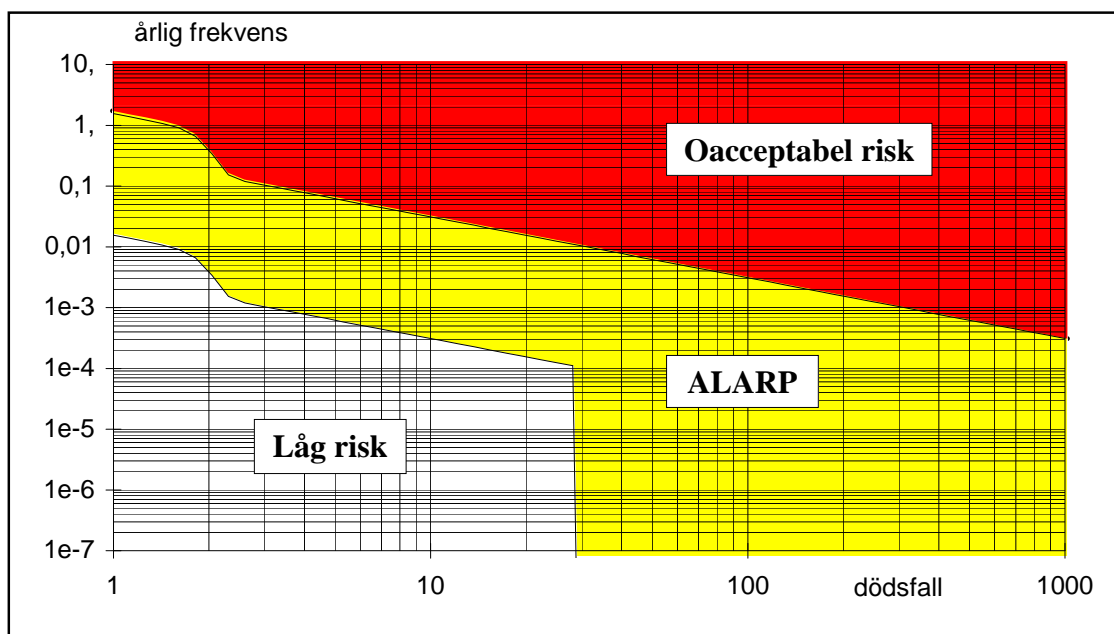
#### 3.3.1 Exempel från projekt

I detta avsnitt presenterar vi de acceptanskriterier som använts i tidigare projekt.

##### Södra länken 1990-talet

Projektet för Södra länken definierade acceptanskriterier men dessa blev inte förankrade fullt ut inom Vägverkets ledning. Kriterierna uttrycktes dels som PLL-tal (väntevärde, antal omkomna per år), dels som F/N-kurva och byggde på rikstäckande olycksstatistik för liknande vägtyper.

Acceptansvärdet som föreslogs i Riskanalysen för hela Ringen [33] sattes till 5 dödsfall per miljard fordonskilometer, vilket var 1 dödsfall mindre än vad som använts på Storabältsförbindelsen. I arbetet föreslogs även grundvärden för att beräkna kostnad och nytta samt en F/N kurva enligt Figur 7 nedan.



Figur 7. Föreslagen riskacceptansnivå för Ringen 1995. För olyckor med fler än 3 dödsfall kan acceptansnivån uttryckas med sambandet  $F=0,3/N$ . Ringen beräknades då producera 1,7 milj fkm/ normaldygn (620 miljoner fkm/år).

Personsäkerheten i tunnelarna verifierades mot de uppsatta kriterierna. Alternativa utföranden, som till exempel alternativa avstånd mellan tvärtunnlar, studerades med kvantitativ riskanalys baserad på händelseträdsteknik och bedömning av konsekvenser. Olycksstatistik från högtrafikerade öppna vägvagnsnitt med liknande vägstandard i Stockholm användes som underlag. Dessa justerades med hänsyn till skillnader i förutsättningar mellan öppen väg och tunnel och användes därefter som ingångsdata i analysen.

Transporter med farligt gods var en stor fråga. Lokala trafikföreskrifter, som angav restriktioner för tanktransporter genom innerstaden, fanns utgivna. Dessa transporter studerades därför i ett större perspektiv där alternativa transportvägar ingick. Särskilt studerades omgivningspåverkan på de öppna vägvagnsnitten liksom möjligheterna till alternativa transportsätt med eskort, se den så kallade avsiktsförklaringen [34].

#### Norra länken

Norra länken-projektet har genom årens lopp tillämpat olika acceptanskriterier. Vid den riskanalys som genomfördes 2005 föreslogs väntevärdet 4 dödsfall/miljard fordonskm. Det var i linje med arbetet med Ringen, samt ny olycksstatistik. För samhällsrisik föreslogs även en acceptabel riskprofil som referens, uttryckt som  $F=1/N$ , vilket är betydligt



högre än den föregående för Ringen, men baserat på referenser från österrikiska tunnlar.

Inför sammanställning av säkerhetsdokumentation för Norra länkens öppnande gjordes en förnyad studie av trafikskador på väg och av internationell praxis. Acceptabelt väntevärde (PLL-tal) bestämdes till mindre än snittet för vägnätet i stort, vilket enligt statistiken beräknats till 2,7 dödsfall per miljard fordonskm. Norra länken beräknas ha ett trafikarbete om 170 miljoner fkm/år, vilket skulle tillåta nästan 0,5 dödsfall per år i snitt.

Acceptabel risk uttryckt som F/N kurva valdes till den nivå som Nederländerna enligt PIARC [6] tillämpar som målvärde. Norra länkens totalt 14 km tunnelrör bedömdes motsvara 7 km dubbelrörstunnel, så formen på acceptabel risknivå för Norra länken kan uttryckas som  $F=0,7/N^2$  årligen. Eftersom acceptanskurvan har en större lutning, innebär det en betydligt lägre acceptansnivå för stora olyckor än både Ringen och den tidigare föreslagna för Norra länken.

Bebyggelse ovan tunnelarna i Hagastaden har tillkommit i projektet. Därför bedöms risker för tredje man (ej resande) enligt kriterier beskrivna i Värdering av risk [5], utgiven av Statens Räddningsverk.

Projektet har verifierat acceptabel riskanalys med hjälp av kvantitativa riskanalysmodeller. Projektet har dock valt att fokusera på PLL-tal där säkerheten kan verifieras med god marginal. Vad gäller riskprofilen är osäkerheten i modellerna för stora händelser stor, och därför är slutsatsen att risknivån ligger under acceptanskriteriet känslig.

#### **Förbifart Stockholm**

Förbifart Stockholm har projekterats med Norra länkens säkerhetskoncept som utgångspunkt. Det gjordes dock anpassningar för att uppnå alla kraven i nuvarande regelverk.

Det har gjorts försök att fastställa en acceptabel risknivå, men någon sådan har inte beslutats. Den föreslagna nivån för trafikanter är 2 dödsfall/miljard fordonskm (1,5/år), där resonemanget är att brand och farligt gods ska kunna få stå för maximalt lika många dödsfall (i snitt) som förväntas från trafiken.

Uttryckt som acceptabel riskprofil föreslogs  $F=0,0175/N^{1.5}$  per år, dvs. med ett visst mått av riskaversion, eftersom kurvan har en högre lutning. Riskanalyser genomfördes innan acceptanskriterier föreslogs, men eftersom acceptanskriterierna aldrig fastslagits har någon jämförelse mot dessa inte gjorts. Däremot gjordes kostnads-nyttoanalyser baserade på kvantitativ riskanalys, se avsnitt 3.3.3.

I Förbifart Stockholm beräknas trafikarbetet uppgå till ca 800 miljoner fordonskm/år.

### 3.3.2 Exempel från litteratur

#### Sverige

Trafikverkets krav att tunnlar ”bör utformas så att risker förknippade med användning av vägar med tunnlar inte är större än för vägar utan tunnlar” kan uttryckas både som PLL-tal och som en riskprofil.

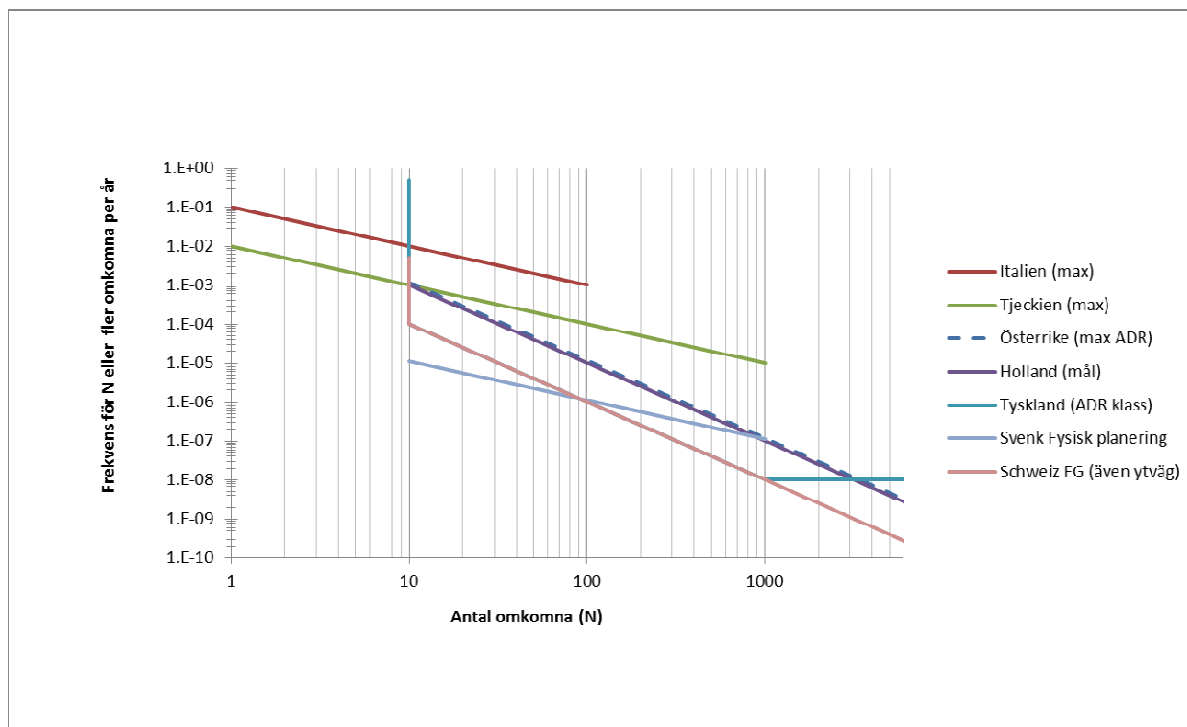
Detta krav fungerar bra att använda för jämförelse mellan olika alternativa sträckningar, om endast det förväntade antalet dödsfall per år (PLL-tal) tillämpas. Eftersom trafikriskerna normalt är betydligt större än risker med bränder och farligt gods, blir det till stor del den totala väglängden som avgör risknivån, då antalet fordon kan förutsättas vara oberoende av alternativen. Det kan dock komma att ändras i framtiden – utvecklingen går hela tiden mot färre dödsolyckor i trafiken. Riskerna i tunnel har också en helt annan karaktär än olyckor på ytan, eftersom bränder och olyckor med farligt gods kan ge mycket stora konsekvenser.

Försök har gjorts med att jämföra riskerna med vägtrafiken på ytan med vägtrafik i tunnel med hjälp av F/N diagram, i syfte att kunna definiera en acceptansnivå som är likvärdig. I rapporten ”Personsäkerhet i vägtunnlar – förslag till säkerhetsmål” [8] föreslås tunnlar jämföras med vägnätet som helhet och inte med alternativa vägsträckningar, vilket ger utrymme för att tillföra risker med farligt gods och brand genom att minimera trafikriskerna i tunneln.

Den nivå som föreslagits i rapporten ovan utvärderades under arbetet med Norra länken, men då kriteriet är uttryckt i form av antal dödsfall per fordonskm\*km tunnel missgynnas tunnlar med hög trafikintensitet i förhållande till längd. Kriteriet bedöms av arbetsgruppen därför inte vara tillämpligt i dess föreslagna form. En vidarebearbetning gjordes i [35] där kriteriet normerades mot enbart trafikarbetet. Den föreslagna acceptanskurvan kan grovt uttryckas på formen  $F=0,001/N^2$  per miljon fordonskm.

#### Internationell utblick

Exempel på acceptanskriterier specifika för tunnlar i andra europeiska länder presenteras av PIARC [6]. Vissa av kriterierna är direkt kopplade till en specifik analysmodell, medan andra i första hand är framtagna för fysisk planering på ytvägnätet. Kriterierna för acceptans av stora olyckor skiljer sig mycket mellan olika länders regler (en faktor 100 eller mer). Vi presenterar en sammanställning av dessa kriterier i Figur 8 nedan.



Figur 8. F/N-diagram som redovisar acceptanskriterier i andra europeiska länder eller i vissa fall specifika projekt. Kriteriet avser i de flesta fall 1 km tunnel, men varierar mycket.

De flesta av kriterierna gäller för 1 km tunnel, förutom Italiens som gäller för ett tunnelrör. Acceptanskriteriet är i övrigt direkt proportionerligt mot tunnels längd, förutom Österrikes där kriteriet är proportionerligt mot roten av tunnelns längd.

Kriterierna är i de flesta fall anpassade för dödsfall i tunnel som då förväntas påverka enbart trafikanter. De schweiziska kriterierna och de som används i Sverige vid fysisk planering är dock i första hand avsedda för ytväg, vilket innebär att det kan vara personer som inte drar nytta av vägen som drabbas av olyckor. I individriskperspektiv brukar man tillåta högre risknivå för dem som t.ex. utnyttjar ett transportsystem än dem som bor intill en farlig industri, eftersom det finns en form av frivillighet i att använda transportsystemet, och riskerna med att göra så är någorlunda kända.

Några av kriterierna (bland annat Tysklands) avser enbart farligt gods, medan andra såsom Nederländernas (Hollands) även inkluderar bränder.

De övre linjerna i Tjeckien och Italien representerar övre linjen i ett ALARP-område, medan t.ex. Holland inte är ett absolut kriterium utan snarare ett mål som det kan finnas argument för att överskrida. Ett sådant skäl skulle kunna vara den höga trafikintensiteten, vilket innebär att samhällsnyttan av tunneln är förhållandevis stor.

Holland och flera andra länder tillämpar strängare krav för extremt stora olyckor i tunnlar än t.ex. svensk fysisk planering. Acceptanskriteriet uttrycks med sambandet  $0,1/N^2$  per km tunnel och år, vilket speglar en förhållandevis stor riskaversion: risken för att 10 personer omkommer i en och samma händelse vart tusende år anses lika allvarligt som att 100 personer omkommer vart 100 000:e år, trots att PLL-talet är en tiondedel så stor för den större olyckan.

Inget av kriterierna i grafen ovan har koppling till trafikarbetet i tunneln så som det acceptabla PLL-talet. Däremot finns en koppling till tunnelns längd, vilket då i förhållande till väntevärde innebär att högratifierade tunnlar skulle behöva vara säkrare beräknat per utfört trafikarbete jämfört med lågratifierade.

### 3.3.3 Värdering av samhällsnytta

I de flesta av de tidigare projekten har det genomförts analyser av kostnad och nytta. I Södra länken/Ringen gjordes bland annat analyser av olika alternativa åtgärder för att hantera farligt gods [36] [37] [38]. I riskanalysen för Ringen [33] finns även förslag på värden av exempelvis dödsfall och skadade för tillämpning i kostnads-nyttoanalyser. I samband med riskanalysen gjordes 1994 även analyser av funktionssäkerhet för olika typlösningar, med fokus på kostnader för produktionsbortfall (stillestånd) [39]. Mycket av det arbetet tillämpas som praxis i svenska tunnlar och är till viss del infört i Trafikverkets byggherrekav TRVK.

För Norra Länken genomfördes ett fåtal kostnads-nyttoanalyser. Eftersom säkerhetskonceptet för Södra länken ifrågasatts, gjordes även studier av sprinklersystem i tunnlar, vilket vid tidpunkten ansågs vara ett system med övervägande negativa effekter för personsäkerheten [40]. I ett andra steg gjordes en kostnads-nyttoanalys [41], där installation av sprinklersystem inte kunde påvisas vara kostnadseffektivt trots förekomst av kö och höga förväntningar avseende antalet räddade liv. I analysen ingick dock inte nyttan av minskade stilleståndskostnader, eller värdet av minskade antal skadade och svårt skadade.

Förutsättningarna för kostnadseffektivitet av sprinkler sågs över igen 2008, då man beslöt tillåta förekomst av kö i Norra länken. I en granskning genomförd av nationalekonom Bengt Mattsson tillämpades kostnader för skadade personer enligt modell för fördelning av skadade och döda hämtad från ytvägnätet [42]. Med denna modell visades det att åtgärderna skulle kunna vara kostnadseffektiva, och så särskilt om även minskade stilleståndskostnader miljöeffekter och riskaversion värderades in kvalitativt.

I Förbifart Stockholms systemhandlingskedde utfördes en kostnads-nyttöanalys [43] enligt Mattssons modell för ett stort antal kombinationer av säkerhetsåtgärder, i syfte att hitta den mest kostnadseffektiva lösningen. I riskanalysen utgör samhällskostnader för stillestånd till följd av brand en stor del av den kvantifierade konsekvensen. Därför visade sig införandet av ett fast brandbekämpningssystem (BBS) utan skuminblandning i kombination med en förtätning av utrymningsvägarna till 100 meter vara mest kostnadseffektivt.

### **3.4 Mål, metoder och samhällsnytta i järnvägstunnlar**

#### **3.4.1 Exempel från projekt**

##### **Botniabanan (järnväg) 2000-talet**

Mål för tunnelsäkerheten för Botniabanan definierades av Banverkets handbok BVH585.30, som anger metod för kvantitativ riskanalys och acceptanskriterier.

Andra mål definierades av projektet för öppna spåravsnitt, både för resenärer (kvalitativa) och för tredje man (kvantitativa), se [44].

Både byggskedet och driftskedet omfattades av säkerhetsmålen.

Målen för tunnelsäkerhet kunde verifieras med metod och mot kriterier enligt handboken men den tekniska utformningen accepterades ändå inte av granskande myndigheter, varken av Räddningsverket eller av Räddningstjänsten i berörda kommuner. Oenigheten ledde inte till några egentliga större förändringar i den tekniska utformningen. Däremot utfördes beräkningar av alternativa utföranden, kostnads-nyttovärderingar av alternativa avstånd mellan utrymningsvägar och fullskaletester med rök i tunnel. Mobila fläktsystem och utrymningsbelysning utvärderades.

##### **Citybanan (järnväg) 2000-talet**

Mål för tunnelsäkerheten för Citybanan definierades av BVH585.30. Eftersom Citybanan har två undermarksstationer, kompletterades de kvantitativa säkerhetsmålen med acceptanskriterier, dels för stationerna, dels för den sammantagna risken att färdas genom tunnel och passera ut genom en station.

Det kom att visa sig att den beräknade risken för tunnlar enligt BVH585.30 med liten marginal överskred F/N-kriteriernas övre gräns och att det inte med rimliga medel kunde åstadkommas en tillräckligt stor riskreduktion för att klara kravet enligt handboken. Följden blev utdragna diskussioner och omfattande granskningar utan att man kunde hitta rimliga förändringar i de redan högt ställda kraven på den tekniska utformningen eller driften för att i tillräcklig grad minska den beräknade risken.

Dödsfall på grund av suicid var en företeelse känd från Stockholms tunnelbana och kunde tänkas inträffa också i Citybanan. Olyckstypen bedömdes dock inte vara relevant som ”olycka” och ingick därför inte i riskhanteringen.

#### **Västlänken 2010-talet**

Projekt Västlänken definierade mål för personsäkerheten i driftskedet [45]. Säkerheten beskrevs utifrån tre strategiska mål:

- Kollektivtrafiksystemets sårbarhet.
- Skaderisker för människa, miljö och egendom ska begränsas.
- Västlänken – ett säkert sätt att resa.

För dessa formulerades ett antal resultatmål:

- Hög tillförlitlighet och redundans i tekniska system i Västlänken ska bidra till hög tillgänglighet och robusthet i anläggningen.
- Minsta exponering mot skyddsobjekt ska eftersträvas.
- Största möjliga trygghet för resenärer eftersträvas.
- Personsäkerheten ska i Västlänken vara lika hög som, eller högre än, i jämförbara infrastrukturer i Sverige.
- Största möjliga säkerhet och tillgänglighet för funktionshindrade ska eftersträvas.

För att verifiera resultatmålen angavs ett antal olika förfaringssätt som skulle genomföras och komplettera varandra, såväl kvalitativa som kvantitativa. Ett av dessa var kvantitativ riskanalys enligt BVH585.30 med den metod som anges där. Beträffande acceptanskriterierna ansöktes om avsteg från den gällande F/N-kurvan för att i stället följa den tidigare gällande riskmatrisen. Skälet till detta var de erfarenheter som gjordes i Citybanan, där F/N-kriterierna inte kunde uppnås.

Sedan Trafikverket börjat arbeta med suicidprevention var det även naturligt att följande åtgärd angavs: ”Säkerhetskonceptet ska omfatta krav för prevention av suicid”.

#### **3.4.2 Värdering av samhällsnytta**

Trots att Trafikverkets handbok BVH585.30 [26] anger att säkerhetsåtgärder ska tillföras i den utsträckning de kan bedömas vara motiverade från ett kostnads-nyttoperspektiv, är det svårt att i projekten finna konsekvent genomförda K/N-analyser. Tre exempel kan dock ges. Alla är hämtade från projekt Botniabanan men är ändå olika i sin upplägning.

### Exempel 1 – Åtgärder för risker med transporter av farligt gods

Enligt beslut som fattades under planprocessen för Botniabanan och enligt de mål som sattes upp inom projektet skulle man i vissa fall tillföra säkerhetsåtgärder med beaktande av deras kostnad. Botniabanan byggdes genom ett landskap som till stora delar var obruten terräng och banan passerade de två större tätorterna Örnköldsvik och Umeå. Vid passage av de två orterna skulle rimliga åtgärder vidtas. Följaktligen utfördes en studie av möjliga åtgärder för riskerna med farligt gods.

Studien [46] genomfördes systematiskt så att ett antal åtgärder beskrevs relativt detaljerat, medan deras effektivitet poängsattes kvalitativt av en grupp personer, experter och sakkunniga. Poängbedömningarna sammanställdes inom områdena effektivitet, kostnad, genomförbarhet och prioritet. Kvoten effektivitet/kostnad framställdes därefter med respektive erhållna poängvärden.

På så vis kunde man sammanställa prioriteringslistor, där de högst prioriterade åtgärderna blev synliga och kompromisser kunde diskuteras, till exempel mellan val av de med högst poäng för bedömd effektivitet med de som hade högst poäng för prioritet eller kvoten effektivitet/kostnad. Se Figur 9.

Exemplet visar hur man kan gå tillväga när man saknar detaljerade kvantitativa uppgifter om åtgärders riskreducerande effekt och kostnader för åtgärdernas genomförande inklusive långsiktiga konsekvenser under livstiden.

Tabell 3.6  
Rangordning av åtgärder med avseende på Effektivitet (E), Prioritering (P) och Effektivitet/Kostnads-förhållande (E/K)

Åtgärdsområde	E	Åtgärdsområde	P	Åtgärdsområde	E / K
A4. Detektion – hjulpl.varmgång	4.3	D1.1 Avlägsna aggressiva objekt	4.2	A5. Detektion – urspårning	1.7
A5. Detektion – urspårning	4.3	A4. Detektion – hjulpl.varmgång	3.9	A4. Detektion – hjulpl.varmgång	1.4
D1.1 Avlägsna aggressiva objekt	4.1	A5. Detektion – urspårning	3.8	C3. Hastighetsnedsättning	1.4
A2. Spårunderhåll	3.9	D1.3 Avlopp, dränering	3.5	D1.1 Avlägsna aggressiva objekt	1.4
A6. Detektion – lastprofil	3.6	E3. Information allmänhet	3.5	E3. Information allmänhet	1.3
C3. Hastighetsnedsättning	3.4	E4. Beredskap	3.5	A6. Detektion – lastprofil	1.2
D1.3 Avlopp, dränering	3.3	E10. Skydd mot intrång	3.5	E4. Beredskap	1.2
E4. Beredskap	3.3	A2. Spårunderhåll	3.3	D1.3 Avlopp, dränering	1.1
D2.1 Inlösen av fastigheter	3.2	C3. Hastighetsnedsättning	3.3	A2. Spårunderhåll	1.0
E10. Skydd mot intrång	3.1	B3. Vagnsyning	3.2	E10. Skydd mot intrång	0.9
D2.3 Byggnadst.;ventilation	3.0	A6. Detektion – lastprofil	3.1	D2.3 Byggnadst.;ventilation	0.9
B3. Vagnsyning	2.9	D2.3 Byggnadst.;ventilation	3.0	D2.1 Inlösen av fastigheter	0.8
D1.2 Skyddsmurar/ vallar	2.9	D1.2 Skyddsmurar/ vallar	2.8	B3. Vagnsyning	0.7
E3. Information allmänhet	2.8	D2.1 Inlösen av fastigheter	2.6	D1.2 Skyddsmurar/ vallar	0.7
D2.4 Byggnadst.; fasader,fönster	2.7	E9. Skydd mot sabotage	2.6	D2.4 Byggnadst.; fasader,fönster	0.7
A3. Urspåringsräler	2.3	D2.4 Byggnadst.; fasader,fönster	2.2	E9. Skydd mot sabotage	0.6
E9. Skydd mot sabotage	2.2	A3. Urspåringsräler	1.9	A3. Urspåringsräler	0.5

Figur 9. Tabellsammanställning av rangordnade åtgärder med avseende på effektivitet €, prioritering (P) och effektivitet/kostnadsförhållande (E/K) [46].

## Exempel 2 – Alternativa avstånd mellan utrymningsvägar i tunnlar

Botniabanan byggdes genom Höga kustens kuperade landskap, vilket innebar att man behövde bygga många och även långa tunnlar, ibland 5–6 km långa. Utrymningsvägar skulle initialt anläggas med 600 meters inbördes avstånd. Det fanns en uppfattning att avståndet var för långt och att man borde minska detta till 300 meter. Eftersom det fanns en kvantitativ riskanalys och modeller för beräkning av utrymningssäkerheten, kunde man etablera en modell för beräkning av kostnadsnyttokvoten, med uppgifter om olyckskostnader från SIKa (Statens institut för kommunikationsanalys, numera ASEK) i form av ekonomiska värden för omkomna och skadade.

Studien redovisade en mycket låg kostnadseffektivitet för en minskning av avståndet till 300 meter. Orsaken var att sannolikheten för en allvarlig olycka var så extremt liten att åtgärds-kostnaderna vida översteg olyckskostnaderna som kunde besparas. Resultatet bedömdes som robust och bidrog till beslutet att inte ytterligare minska avståndet mellan utrymningsvägarna.

Nuvärden	
Kostnad resp. nytta av 300 m istället för 600 m	
Nuvärdesberäkning av marginalkostnad respektive marginalnytta av att förtäta till 300 meter från 600 meter mellan utrymningsvägarna i Namntallshöjden. (Kalkylperiod 30 år, ränta 4%)	
<b>Kostnad</b>	
Investeringskostnad	4,2 Milj kr
Drift och underhållskostnad	0,5 Milj kr
<b>Total extrakostnad</b>	<b>4,7 Milj kr</b>
<b>Nytta</b>	
<b>Reducerad personrisk</b> (baserat på ca 10% minskning av årsrisken)	<b>0,04 Milj kr</b>

Figur 10. Jämförelse av nuvärden för kostnad respektive nytta med kortare avstånd mellan utrymningsvägar i Botniabanans tunnel Namntallshöjden.

## Exempel 3 – Säkerhetstekniska tilläggsåtgärder för Botniabanans tunnlar

Botniabanans många tunnlar utformades enligt Banverkets dåvarande version av handboken Personssäkerhet i järnvägstunnlar [26], utgiven den 1 september 1997. Där angavs att man vid behov skulle införa säkerhetsåtgärder av typen ”tilläggsåtgärder”. De med högst kostnadsnyttoeffektivitet skulle prioriteras.



En studie [47] genomfördes, där bedömningar utfördes av olika säkerhetsåtgärders kostnad och säkerhetshöjande inverkan. Ett jämförelsetal skapades genom en produkt av två tal, ett för åtgärdens kostnad och ett för åtgärdens inverkan på säkerheten. En hög produkt innebar hög prioritet. Se Figur 11.

Åtgärd	Jämförelsetal (J)
Hårdgjord gångbana som skall medge passage av två personer i bredd.	9
Evakueringsbelysning, lågt placerad, alltid tänd (även vid strömbortfall).	9
Port i tunnel för att minska lufthastigheterna.	6
Värme- och rök detektorer i tågagn.	6
Brandlarm i tågagn.	6
Utrustning för intern kommunikation i tågagn.	6
Nödbromsfunktion (blockering av nödbromsen).	6
Evakueringsbelysning i passagerar- och personalutrymmen i tågagn.	6
Detektorer mot sabotage (t.ex. fotoceller kopplat till TV-kameror).	6
Anpassad utrustning för räddningstjänsten (t.ex. IR-glasögon, släckutrustning för tågagnar).	6
Arbetstunnel omgjord till en utrymningsväg (åtgärden är till större nytta i längre tunnlar).	4-6
Mobila fläktar för räddningstjänsten.	4
Detektorer för hjulplatta, varmgång i bromsar och/eller hjullager, profilfel på lämpligt avstånd från tunneln.	4

Figur 11. Prioritering av tilläggsåtgärder för Botniabanans tunnlar med stöd av jämförelsetal (J).

### 3.5 Mål, metoder och samhällsnytta i tunnelbana

#### 3.5.1 Befintlig tunnelbana – erfarenheter

Den befintliga tunnelbanan började byggas ut på 1930-talet och den första etappen färdigställdes 1950. Praxis inom svenskt tunnelbyggande för bland annat järnvägen utvecklades med influenser från andra storstäder avseende tunnelbanetekniken, t.ex. från New York och Berlin. Man kan nog utgå från att de säkerhetsmål som direkt eller indirekt formulerades för Stockholms tunnelbana byggde på andras erfarenheter och uppfattning om vad som var lämplig säkerhetsteknisk utformning.

1944 togs en ny plan fram för utbyggnaden och därefter färdigställdes tunnelbanan i etapper i huvudsak fram till 1985. Systemet består i dag av

drygt 100 kilometer spår och 100 stationer. Ca hälften av dessa är belägna under mark. Systemet är fördelat på 3 olika linjer som har en gemensam knutpunkt i T-centralen.

I huvudsak var inte utrymning ett fokusområde vid utbyggnad av tunnelbanan. Utrymme finns i de flesta fall att ta sig ut ur tåg ner på spårområdet. I vissa avsnitt saknas dock detta. Principen för tunnelbanan är att utrymning ska ske vid stationer eller utanför tunneln. Stationerna förväntas utgöra säkra platser i systemet. Uppgraderingar har skett av vissa stationer successivt genom bland annat installationer av brandlarm, avskiljande partier på plattform och övertrycksättning av uppgångar.

### 3.5.2 Planerad utbyggnad av tunnelbanan

Utbyggnaden görs i tre olika delar. Dessa är:

- Kungsträdgården – Nacka/Söderort
- Odenplan – Arenastaden
- Akalla – Barkarby Station.

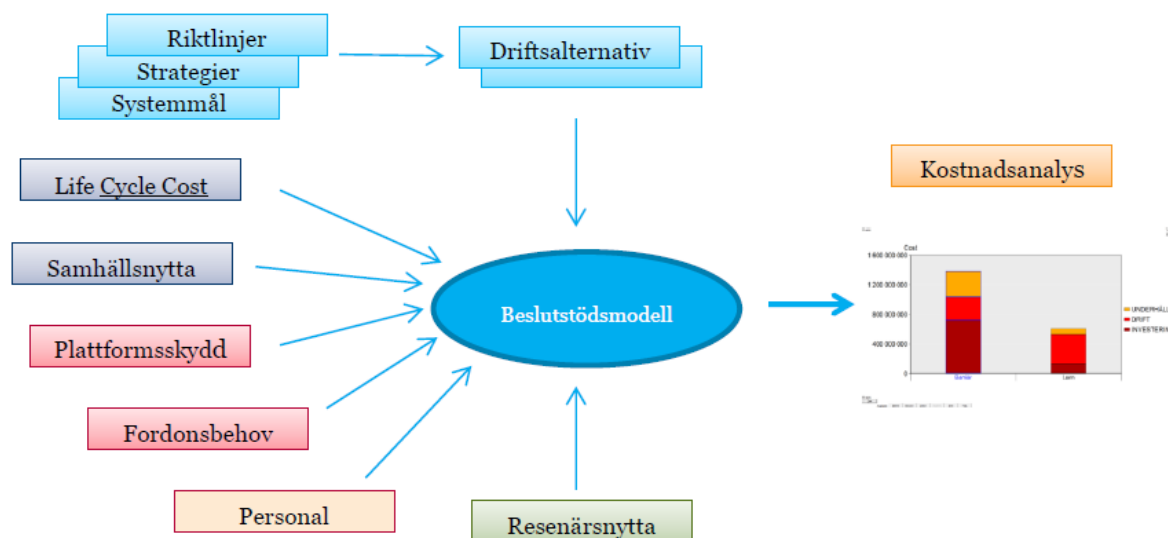
Totalt planeras 19 kilometer tunnel och 12 nya stationer att byggas. Tunnelarna utformas till största del som dubbelspårtunnlar med servicetunnel. Vissa delar utformas som enkelspårtunnlar med utrymning till en servicetunnel. En kortare sträcka kommer dock att ha utrymningsschakt. Normalt är tunnelarna 1–3 km långa och slutar vid en station som utgör säker plats. Växlar finns mellan ungefär varannan station.

Säkerhetskoncept baseras på erfarenheter från Citybanan, som är ett stort och nytt järnvägssystem under mark i Stockholm. Verifieringen av utrymningssäkerheten baseras till största del på metodik liknande den som används vid värdering av utrymningssäkerheten i järnvägstunnlar. Utrymningskonceptet bygger på att tunnelarna förses med gångbana samt utrymningsvägar till servicetunnel var 300:e meter. I övrigt liknar utrymningskoncept och basstandard det som finns på järnväg avseende säkerhetstekniska installationer. Strategin vid utrymning är att tåg i första hand ska köras till en station så att utrymningen kan ske där. Behovet av utrymning i tunnelarna kan dock inte uteslutas. Spårväxlar och stoppsignaler i tunneln kan göra det svårt att fortsätta fram till en station eller ut ur tunneln.

### 3.5.3 Värdering av samhällsnytta

Kostnadsnyttovärdering vid val av säkerhetshöjande åtgärder är ovanligt. Som ett exempel kan ändå nämnas de värderingar som nyligen gjorts i en rapport kring införande av helautomatisk drift i tunnelbanans röda linje [48]. En beslutsstödsmodell skapades där alla väsentliga effekter vägdes in,

framför allt rörande trafiksäkerhet, driftsäkerhet och restidspåverkan. Alternativa driftkoncept och säkerhetsåtgärder värderades i modellen och det mest fördelaktiga kunde väljas. Figur 12 illustrerar schematiskt hur beslutsstödsmodellen var sammansatt och att samhällsnytta och LCC (Life Cycle Cost) utgjorde delar av modellen.



Figur 12. Beslutsstödsmodell baserad på LCC-analys, med värdering av säkerhetsvinster och åtgärds kostnader [48].

### 3.6 Summering

Vår inventering visar på ganska stora olikheter mellan trafikslagen.

Lagstiftningen har utvecklats mycket de senaste åren för väg och järnväg och blivit harmoniserad inom EU. Svensk lag har anpassats därefter. Tunnelbanor behöver inte europeisk harmonisering på samma sätt som de gränsöverskridande transportsystemen. Den svenska regeringen anger härutöver mål för transporter och infrastruktur som också berör säkerhet i tunnlar för alla trafikslag. Målen uttrycker ambitioner om successivt ökad säkerhet i transportsystemen. Kvantifierade säkerhetsmål verkar inte finnas inom lagstiftningen.

Byggherrekraften har utvecklats i takt med det svenska tunnelbyggandet och med den europeiska lagstiftningen, framför allt för väg och järnväg. Trafikverket har för järnvägstunnlar utvecklat en handbok med kvantitativa säkersäkerhetsmål och med en tillhörande metod för riskanalys och värdering av säkerheten. Inom tunnelbanan har man de senaste decennierna främst ägnat sig åt drift och förvaltning. Först på senare år har stora

utbyggnadsplaner aktualiserat frågor kring tunnelsäkerhet och mål. De egna regelverken inom tunnelbanan har inte uppdaterats i takt med vad som skett inom väg och järnväg.

Inventeringen av projekt visar att man inom väg och järnvägsprojekt har tillämpat riskanalys och satt upp kvantitativa mål för säkerheten. Riskanalyserna har gjorts på olika sätt och med delvis olika syften. Målen har sällan kunnat förankras hos granskande myndigheter, organisationer eller räddningstjänst. I viss omfattning har även metoder för värdering av samhällsnytta och kostnadsnytta tillämpats vid val av säkerhetshöjande åtgärder.

Sammanfattningsvis kan sägas att regering och lagstiftning uttrycker ambitioner om att skapa säkerhet och även öka denna inom trafikslagen. Det finns metoder och modeller för att sätta upp mål och värdera säkerheten i tunnlar, vilka används inom projekten. Det saknas dock tydligt stöd i relevanta myndighetsföreskrifter om vilken säkerhetsnivå som ska uppnås och metod som ska användas, vilket leder till problem i samråd och i godkännandeprocesserna samt till olikheter i hanteringen mellan trafikslagen.

## 4 Analys

### 4.1 Inledning

Vi i arbetsgruppen har undersökt olika möjligheter att bestämma säkerhetsmål, med utgångspunkt från grunderna för att upprätta säkerhetsmål i avsnitt 2.1.5 och utifrån inventeringen i avsnitt 3.

I detta avsnitt presenterar vi några tidigare utförda kvantitativa riskanalyser i sammandrag kompletterat med jämförelser och scenarioanalyser. Avsikten är att studera hur den beräknade risken ser ut för de olika trafiktunnelobjekten med de riskmått som varit aktuella och med några variationer i utformning och förutsättningar.

För vägtunnlar gör vi dessutom en analys av två hypotetiska vägtunnlar som syftar till att visa hur omfattningen av säkerhetsåtgärder som byggs in i tunneln påverkar den beräknade risken.

För järnvägstunnlar har vi undersökt om en hypotetisk tunnel utförd strikt enligt kraven i TSD skulle uppfylla Trafikverkets ambitionsnivå uttryckt i F/N-diagram enligt BVH585.30.

För tunnelbanor har vi genom en jämförande analys undersökt om man kan anse att risknivån i de nya projekterade delarna av tunnelbanan, FUT, är jämförbara i nivå med den nya Citybanan, som det finns omfattande kvantitativa riskanalyser dokumenterade för.

I det sista avsnittet jämför vi analyserna för de olika trafikslagen väg och järnväg med varandra, som utgångspunkt för frågan om man kan ansätta ett gemensamt eller på annat sätt samordnat säkerhetsmål för alla de tre olika trafikslagen.

### 4.2 Vägtunnlar

#### 4.2.1 Tidigare tunnlar risknivåer

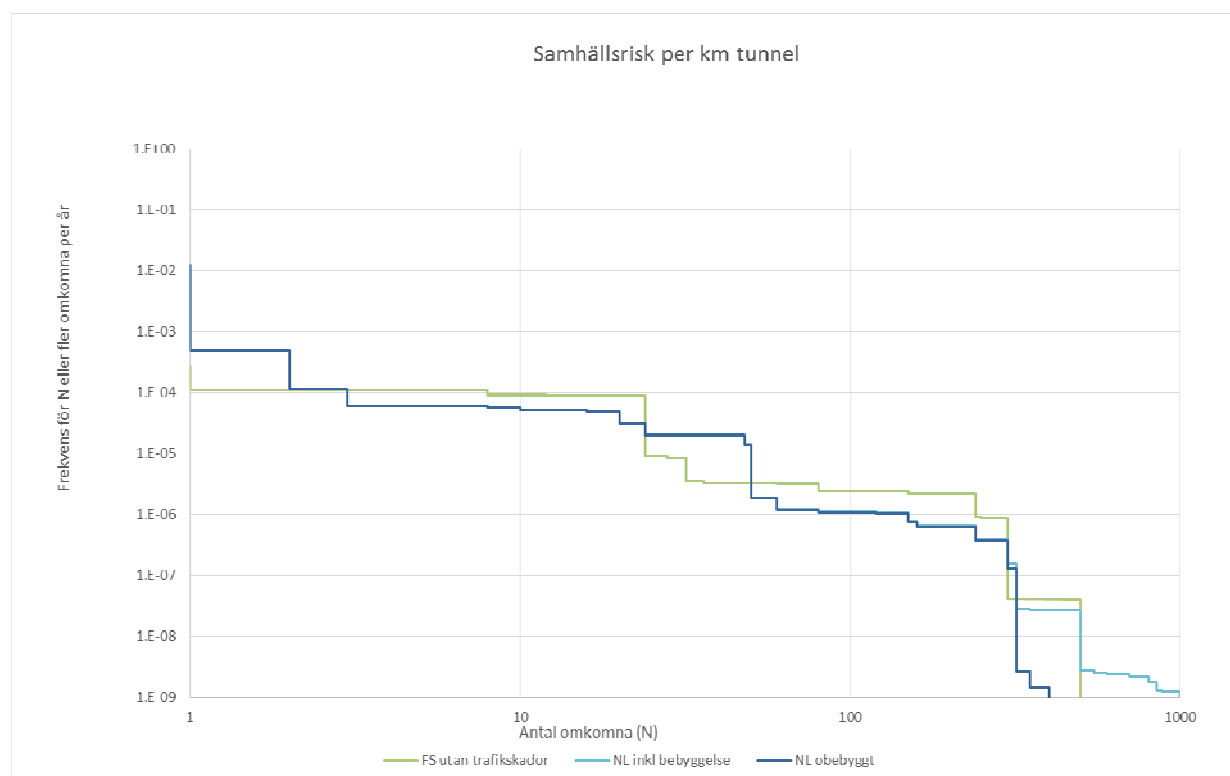
Kvantitativa riskanalyser för svenska vägtunnlar har i första hand utförts för Ringen (som inkluderar ytväg), Norra länken (ingår även i Ringen) och Förbifart Stockholm. Följande data gäller för Norra länken (inklusive överdäckning i Hagastaden) och Förbifart Stockholm.

I Norra länken ingår flera explosionsscenarioer, dels i form av scenarier där byggnader ovanför kollapsar, dels scenarier där en explosion påverkar flertalet trafikanter i tunneln. Både Förbifart Stockholm och Norra länken är komplexa tunnlar med ramper, trafikplatser och huvudtunnlar under mark. Det innebär att risknivån – främst på grund av farligt gods – kan variera relativt kraftigt mellan olika avsnitt i tunneln, beroende på antal körfält, vägstandard, trafikintensitet och transportmängd med farligt gods. De beräkningar som utförts gäller dock för systemen som helhet.

Tabell 5. Indata för riskanalys för vägtunnlar. Båda systemen har en hög utrustningsnivå och hög trafikintensitet. Tunnlarna förses med ett automatiskt fast brandbekämpningssystem.

Tunnel	Längd tunnelrör (km)	Trafikarbete (miljon fordonskm/år)	Antal körfält	Andel farligt gods	Sannolikhet för kö nedströms
Förbifart Stockholm [49]	47	800 (89% i huvudtunnel)	3 kf (35 km) 2 kf (3 km) 1 kf (16 km)	2,5 % av tung trafik (10 %)	2,3 % i HT 0,15 % i ramp
Norra länken [50]	14	170	4 kf (0.5 km) 3 kf (3 km) 2 kf (6 km) 1 kf (4 km)	0,7 % av tung trafik (10 %)	5 %

Resultatet av dessa beräkningar är sammanställt i F/N-diagrammet nedan. Beräkningsresultaten får anses representera den godkända anläggningens riskprofil, dvs. en ”accepterad” riskprofil.



Figur 13. Riskanalysresultat från tidigare tunnelprojekt. I båda riskanalyserna ingår fordonsbrand och farligt gods-olyckor. I analysen för Förbifart Stockholm ingår inte trafikskador.

Skillnaden i redovisade risknivåer beror delvis på vilka modeller som tillämpats. Modellen för analyserna är till stor del lika med den största skillnaden att Norra länken (i senare revideringar) tillämpat modeller för fordonsbrand från ASTRA- projektet [51], vilken genererar dödsfall vid

brand även utan kö nedströms, och det gör inte föregående modeller. Förbifart Stockholm har (per km tunnelrör och år) ca 50 procent större trafikflöde än Norra länken och mängden transporter med farligt gods är mer än 5 gånger större.

#### 4.2.2 Hypotetiska tunnlar

Som vi diskuterade inledningsvis skulle en hypotetisk tunnel utformad med en basstandard enligt gällande föreskrifter kunna stå modell för den acceptabla risknivån. Den beräknade risknivån för en sådan "normal" tunnel skulle i så fall anses vara ett exempel på acceptabel säkerhetsnivå. En tunnel som har den farligaste kombinationen av egenskaper och förutsättningar, men ändå sådana att man slipper krav på verifierande riskanalys eller krav på ytterligare åtgärder enligt föreskrift, skulle kunna användas för att definiera den högsta accepterade risknivån för en tunnel.

I följande avsnitt studeras ett par olika varianter av tunnlar med förutsättningar och utformningar inom vad som anses "normalt", dvs. som kan accepteras utan särskilda åtgärder eller verifierande riskanalyser.

##### **Teknisk beskrivning**

I avsnittet studerar vi risknivå i två hypotetiska tunnlar med godkända egenskaper samt en tunnel med hög utrustningsnivå motsvarande Norra länken men utan brandbekämpningssystem.

Tunneltyp 1 ska representera en tunnel med låg utrustningsstandard som är tillåten enligt TSFS 2015:27 [17], vilket bedöms utgöras av en dubbelriktad tvåfilig tunnel strax under 1 000 meter i längd och med trafikmängder strax under 15 000 fordon per dygn. Varianten av samma tunnel (1b) skulle få utföras utan utrymningsvägar (utöver mynningar), om den är under 500 meter lång.

Tunneltyp 2 ska motsvara standarden i Norra länken, vilket är dubbla tunnelrör med enkelriktad trafik och relativt hög utrustningsnivå. Trafikmängden förutsätts motsvara ca 15 000 fordon per körfält och dygn, vilket beroende på fördelning över dygnet bedöms innebära att ca 75 procent av kapacitetstaket nås under maxtimmen. De åtgärder som satts in i Norra länken för att tillåta kö är inte med i säkerhetskonceptet för denna hypotetiska tunnel. Tunneln beräknas i två varianter: utan kö (tunneltyp 2) respektive med 5 procent av olyckorna med stillastående fordon nedströms (tunneltyp 2a).

Avseende brand är risknivån i tunneltyp 2a inte per definition accepterad, eftersom det krävs riskanalys för att avgöra om en tunnel med longitudinell ventilation och risk för kö behöver ytterligare säkerhetsåtgärder.

Trafikintensiteten i tunneltyp 1 blir hälften av trafikintensiteten i ett enkelriktat rör i tunneltyp 2, eftersom den senare har två körfält i samma riktning och inga restriktioner avseende trafikintensitet. Det innebär att det i tunneltyp 2, med två enkelriktade tunnelrör som helhet, passerar 4 gånger så många fordon som i tunneltyp 1.

I tabellen görs även en grov uppskattning av kostnaden. Kostnaden för en tunnel ligger till stor del i berg- och betongarbeten, och det är därför antalet tunnelrör (och dess storlek) som styr totalkostnaden. Installationer bedöms utgöra ca 10 procent av kostnaden vid nybyggnad av tunnlar som Norra länken och Förbifart Stockholm.

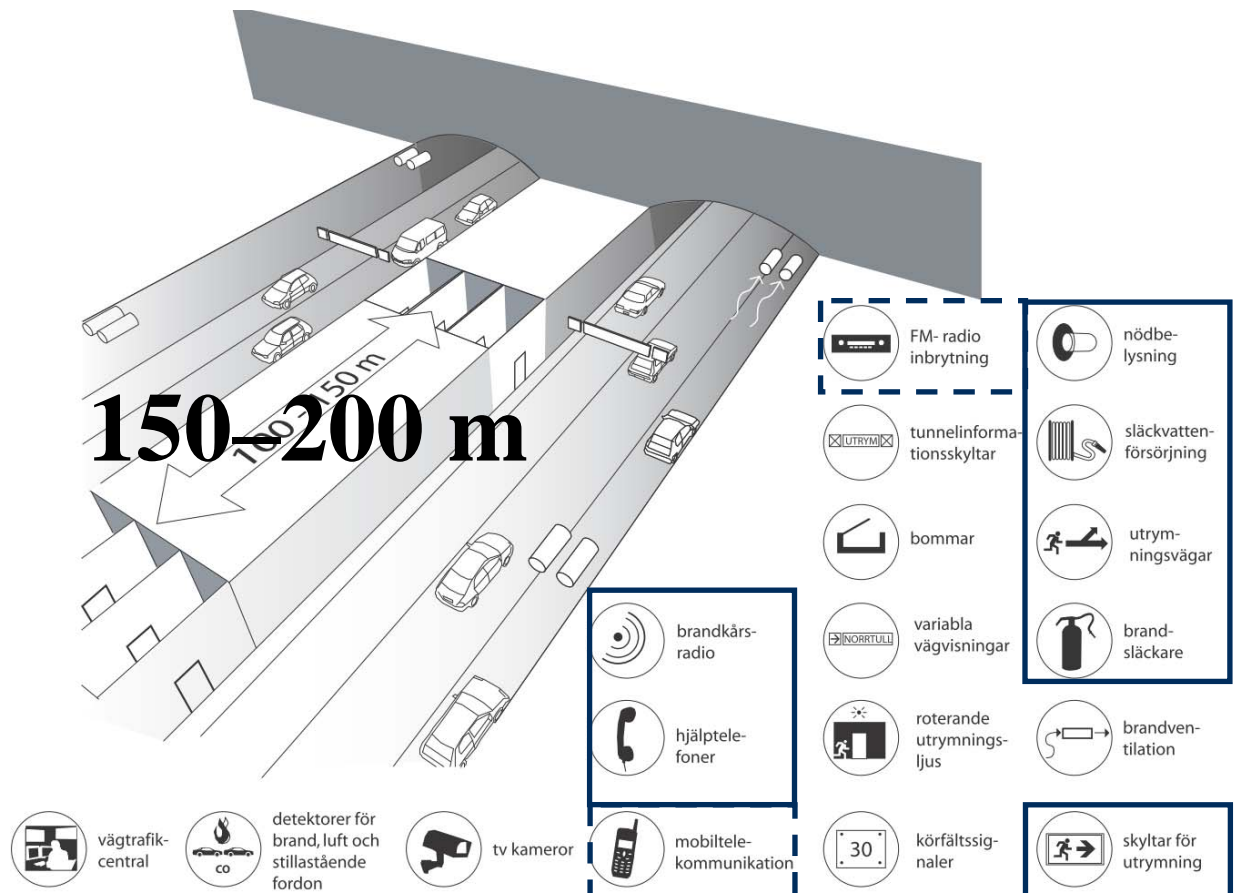
Tabell 6. Sammanställning av ingångsdata för de hypotetiska tunneltyperna.

<b>Typtunnel</b>	<b>1, låg standard</b>	<b>1a, låg standard kort</b>	<b>2, hög standard utan kö</b>	<b>2a, hög standard 5% kö</b>
<i>ÅDT/rör</i>	15 000	15 000	30 000	30 000
<i>Längd</i>	1 km	500 m	1 km/rör	1 km/rör
<i>Utrymning cc (reduktionsfaktor utrymning)</i>	200 m (0,3)	500 m (0,7)	150 m (0,25)	150 m (0,25)
<i>Andel kö</i>	0 %	0 %	0 %	5 %
<i>Antal körfält/rör</i>	2 motsatta	2 motsatta	2 lika	2 lika
<i>Trafikarbete hel anläggning</i>	15 000 km/dygn	7 500 km/dygn	60 000 km/dygn	60 000 km/dygn
<i>Kostnad hel anläggning (rel)</i>	1	0,5	2,2	2,2
<i>Maximalt antal resande vid olycka, givet 1,6 personer per fordon.</i>	240	120	480	480

I tabellen presenteras även maximalt förväntat antal personer i tunneln vid en olycka. Maximalt personantal beräknas normalt till ca 150 fordon per körfält när trafiken har stannat. För dubbelriktade tunnlar med flytande trafik kan det antas att ett av två körfält alltid kan tömmas genom att fordon kör ut. För enkelriktade tunnlar stiger personantalet med olyckans avstånd från infarten. Vid högtrafik fylls 1 km tunnel på mindre än 5 minuter. Vid lågtrafik kan personantalet begränsas av tekniska system som stänger tunneln vid brand. I kommande beräkningar görs ingen analys av antalet personer i tunneln vid olycka förutom att konsekvensen för tunneltyp 1 begränsas till den maximala (se Tabell 6 ovan), eftersom tunnelns längd är begränsad i föreskrift.



Enligt föreskriften [17] ska de åtgärder som vidtas beakta parametern ”mängd och typ av farligt gods”. Huruvida detta innebär att en ”normal” mängd och typ av farligt kan tillåtas utan ytterligare åtgärder är dock otydligt. I riskanalysen för hypotetiska tunnlar görs därför beräkningar även för mängder farligt gods enligt riksgenomsnittet (0,25 procent av all trafik) och risknivå med respektive utan farligt gods jämförs. De tekniska säkerhetsåtgärder som ingår i tunnelarna illustreras i figuren nedan.



Figur 14. Beskrivning av säkerhetskonceptet för de studerade typtunnelarna. De inrutade åtgärderna är krav i alla tunnlar enligt TSFS, medan övriga endast ingår i typtunnel 2 (och 2a). För typtunnel 1a är avståndet mellan utrymningsvägar dock 500 meter. I alla tunnlar med farligt godstrafik ska dessutom utsläpp av brandfarliga vätskor samlas upp i ett avloppssystem, så att risken för pölbrand i tunneln begränsas.

Radio ska kunna brytas för säkerhetsmeddelanden om radio återutsänds. Mobiltelefoni är inte obligatoriskt i tunnlar, men det förutsätts finnas av andra skäl. Kravnivån för den dubbelriktade typtunneln innebär att det inte finns något system för att aktivt avge ett ”utrymningslarm” för att initiera utrymning.

### Analysmodell

Analysmodellen som vi använder är i princip densamma som använts för Norra länken och den beskrivs inte i detalj här. Det som skiljer sig åt är hur brand i fordon modelleras. I resultaten nedan använder vi modeller hämtade från det norsk-schweiziska ASTRA-projektet [51]. Till skillnad från Norra länkens analys antar vi att trafikintensitet i de hypotetiska tunnlar fördelar sig över tid enligt tabellen nedan. Detta påverkar i sin tur hur branden antas utvecklas när den väl inträffar och hur många som drabbas av den.

Tabell 7. Fördelning av trafikmängd över dygnet, som underlag för att beräkna brandintensitet och bedöma personantalet i tunneln vid olycka.

Trafikintensitet	1 000	1 800	1 800	1 800	Fordon/timme och körfält
Hastighet	70	70	50	10	km/h
Antal fordon initialt	30	50	70	300+	Fordon/km tunnel
Tunnel 1	80 %	20 %			Fördelning av tid
Tunnel 1a	80 %	20 %			Fördelning av tid
Tunnel 2	60 %	20 %	20%	0 %	Fördelning av tid
Tunnel 2a	57 %	19 %	19%	5 %	Fördelning av tid

Tunneltyp 2 förutsätts likt befintliga svenska tunnlar ha longitudinell ventilation som kan styras vid brand. Modellen genererar något lägre risker för liten och medelstor brand om tunneln i stället hade varit transversellt ventilerad. Skillnaden i risknivå mellan den senare och den beräknade är dock maximalt en faktor 2.5 inom vissa scenarier, men något högre i vissa andra scenarier.

I övrigt är modellen relativt enkel. Trafikolyckor bedöms i princip endast genom att anta en olyckskvot för en motsvarande ytväg hämtad från Trafikverkets effektkatalog, se Tabell 8 nedan. Jämförelser i tidigare projekt indikerar att dessa kan stämma någorlunda med de begränsade erfarenheter som finns från svenska tunnlar. Betydligt mer avancerade modeller för att beakta anslutningar, lutning och trafik finns i ASTRA-modellen som är nämnd ovan, men dessa tillämpar vi inte här eftersom modellen inte är fritt tillgänglig. Till skillnad från tidigare analyser används en fördelning av antalet dödsfall vid en och samma trafikolycka [8]. Dödsfallen fördelas mellan 1–9 personer per olycka, med klar övervikt (95 procent) för olyckor med 1 och 2 dödsfall.

**Beräknad säkerhet/risknivå**

De största skillnaderna mellan de två tunneltyperna är att det i tunneltyp 1 i princip alltid finns trafikanter på båda sidor om olyckan. Å andra sidan är antalet personer som kan finnas i tunneln begränsad i tunneltyp 1, vilket ger en lägre maximal konsekvens, speciellt för den kortare tunneltypen 1a.

Tabell 8. Resultat från riskanalysmodell i form av förväntat medeltal omkomna (dödsfall/miljard fordonskm).

<b>Typtunnel</b>	<b>1, låg standard</b>	<b>1a, låg standard kort</b>	<b>2, hög standard utan kö</b>	<b>2a, hög standard 5 % kö</b>
Trafik	7	7	1	1
Brand	0.3	0.7	0.05	0.21
Farligt gods	1.4	1.3	0.31	0.34

Typtunnel 1 har generellt betydligt högre PLL-tal, eftersom trafikanter i typtunnel 2 skyddas av riktningsseparatorerad trafik. Trafikriskerna har dock en helt annan karaktär än övriga risker sett ur ett samhällsriskperspektiv, eftersom dödstaten/olycka normalt är låga. Beakta dock att trafikolyckorna hämtas relativt grovt utifrån tabellvärden för ytvägnätet. Sannolikt skiljer sig tunneltyp 2 och 2a åt avsevärt, då risken för upphinnandeolyckor blir hög i en tunnel med kö.

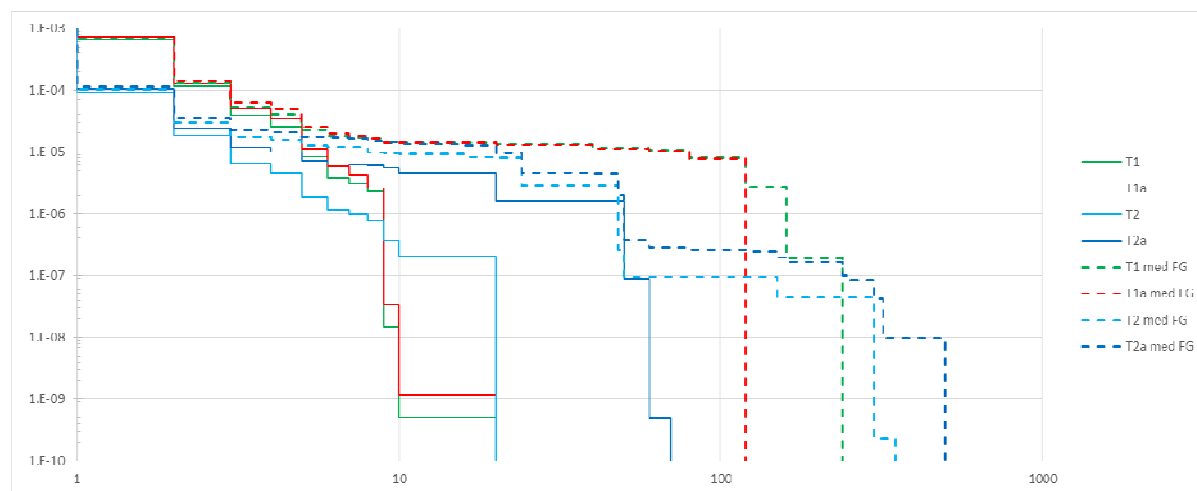
Risker med brand och farligt gods skiljer sig väsentligt åt mellan tunneltyperna, eftersom man i den enkelriktade tunneln har möjlighet att styra bort brandgaser och andra utsläpp från de platser där trafikanter utrymmer. Generellt ger modellen att trafik med farligt gods i omfattning enligt riksgenomsnittet ger en riskökning runt 30 procent.

Avseende brand blir enkelriktade tunnlar med hög utrustningsnivå betydligt säkrare med liten eller ingen kö, men de närmar sig enkelriktade tunnlar utan brandventilation och utrymningslarm, om andelen trafik i kösituationer blir över 5 procent. För farligt gods däremot får inverkan av kö liten betydelse för PLL-talet.

PLL-talet för en enkelriktad tunnel med hög utrustningsnivå blir på grund av dess högre trafiksäkerhet betydligt lägre än en dubbelriktad accepterad tunnel, även om det förekommer frekventa köer och farligt gods.

Korta tunnlar (2a) utan utrymningsvägar får en hög brandrisk i förhållande till trafikarbetet, men en begränsad brandrisk som objekt. Om man skulle väga in någon form av aversionsfaktor för olyckor med stora konsekvenser i jämförelsen skulle jämförelsen mellan de olika tunneltyperna se annorlunda ut. Riskaversion skulle värdera risker med farligt gods och brandrisker

högre och jämna ut skillnaderna i total risk mellan de olika typtunnlarna. Riskernas karaktär illustreras även i F/N-diagrammet nedan.



Figur 15. F/N diagram för beräknad riskkontur i fyra delvis olika tunneltyper utan och med transporter av farligt gods. Risken är uttryckt som händelser per miljon fordonskm.

Figur 15 ovan visar tydligt skillnaderna i trafikriskerna i konsekvensintervallet 1–5 dödsfall. Men även modellen för brand innebär att flertalet av brandolyckorna i de lågtrafikerade tunnlar förväntas i intervallet 1–10 dödsfall, medan de högtrafikerade tunnlar även har betydande sannolikhet för brandkonsekvenser i området 10–80 dödsfall. Avseende farligt gods beräknas riskerna bli lägst för enkelriktade tunnlar med lite kö, samtidigt som de lågtrafikerade tunnlar har en något lägre maximal konsekvens. Huruvida farligt gods i normal mängd är acceptabelt är oklart. Det är således endast T1, T1a och T2 utan farligt gods som med säkerhet kan anses vara acceptabla enligt regelverket.

De modeller som vi har använt är enkla och tar inte hänsyn till konsekvenser av flera samtidiga fel eller katastrofscenarier som stor detonation eller stort giftgasutsläpp helt utan utrymning nedströms. För en tunnel som bara är 1 km lång spelar detta ingen roll, eftersom personantalet är begränsat, men för längre tunnelavsnitt (vilket tunneltyp 2 tillåter) skulle sådana scenarier kunna generera betydligt fler dödsfall om än med låg sannolikhet. Detta skulle då främst kunna påverka riskprofilens utseende i diagrammets nedre högra hörn.

Analysresultatet är till stor del beroende av val av modell. I den modell som används (baserad på expertbedömningar) är den maximala konsekvensen för en accepterad tunnel (alla utom tunneltyp 2a) låg. Jämförelse med en hypotetisk accepterad tunnel utan farligt gods ger därför ett minimalt stöd för att påvisa en acceptabel risknivå i intervallet 10–1 000 dödsfall. En

annan modell, som den för Södra länken och Förbifart Stockholm, skulle möjligen kunna ge en annan bild. Det finns dock inga fullt accepterade modeller att tillämpa i nuläget. Möjligen skulle även en ”normal” mängd farligt gods kunna utgöra en acceptabel nivå, men detta är helt avhängigt av hur säkerhetsmålet definieras.

### 4.3 Järnvägstunnlar

#### 4.3.1 Tidigare tunnlar risknivåer

Här presenteras underlag till avsnitt 4.5 i form av risk för hela objektet/år med beskrivning av tunnellängd, antal rör, tågrörelser per dygn och personkm/år. Kvantitativa riskanalyser för svenska järnvägstunnlar har utförts på ett flertal järnvägstunnlar i Sverige. I detta projekt har vi valt Hallandsåstunneln, Västlänken, Citybanan, Krokbergstunneln (Ådalsbanan) och Strängnästunneln för att representera system med stor och liten trafik- och resandemängd, enkelspårstunnlar och dubbelspårstunnlar.

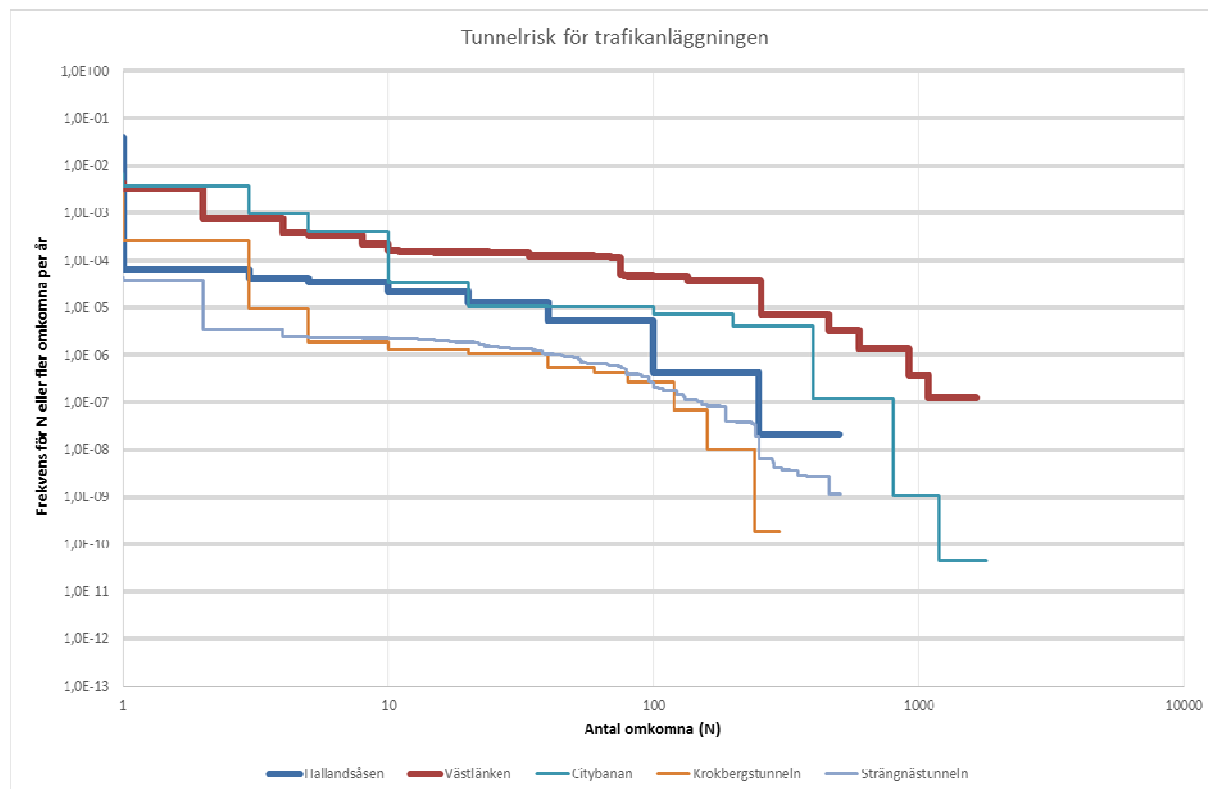
Tabell 9. Indata för riskanalys för järnvägstunnlar.

Tunnelnamn	Tunnellängd	Antal tunnelrör/antal spår i varje rör	Antal resande per dygn	Tågrörelser per dygn	Personkm/år
Hallandsåstunneln	8,7 *2=17,4	2 st / 1 st	13 100	Pt-104 Gt-35	83,5 miljoner
Västlänken	6,6*2 =13,2 km (exklusive undermarksstationer)	1 st / 2 st	75 000	Pt-520	1 030 miljoner
Citybanan	6*2=12 km	1 st / 2 st	250 000	Pt-600	1 100 miljoner
Krokbergstunneln	4,5 km	1 st / 1 st	4 384	Pt-34 Gt-21	7,24 miljoner
Strängnästunneln (ny)	2,9 km	2 st / 1 st	3 600	Pt-33 Gt-5-10	3,81 miljoner

Resultatet av dessa beräkningar är sammanställt i F/N-diagram nedan. Beräkningsresultaten representerar den godkända anläggningens riskprofil, dvs. en indirekt ”accepterad” riskprofil för Hallandsåstunneln, Krokbergstunneln och Strängnästunneln. Citybanan och Västlänken bedöms uppnå en acceptabel tunnelsäkerhet, men när samhällsriskerna uttrycks i ett F/N diagram och jämförs med Trafikverkets acceptansnivåer så överskrider tolerabel risknivå marginellt. Det beror på att Trafikverkets nuvarande acceptansnivåer inte är anpassade för tunnlar med stor mängd resande och fordon och där stopp inne i tunneln kan inträffa mer frekvent (metrosystem) än i en genomsnittlig tågtunnel på stambanan. I båda projekten har jämförelse och värdering också utförts mot Trafikverkets tidigare tillämpade

acceptansnivåer uttryckt i en riskmatris. I denna jämförelse överskrids inte gränsen för acceptabel risk, se kapitel 0.

Jämförelsen mellan samhällsrisk i Västlänken och Citybanan visar att Västlänkens totala risknivå är ungefär samma som i Citybanan vid händelser med fler än 10 omkomna. Risker för händelser med relativt sett större sannolikhet men med färre än 10 omkomna är lägre i Västlänken än i Citybanan.



Figur 16. Riskanalysresultat från de tidigare tunnelprojekten Hallandsås, Västlänken, Citybanan, Krokbergstunneln och Strängnästunneln.

#### 4.3.2 TSD och Strängnästunneln – en kvalitativ jämförelse

##### Inledning

I avsnitt 4.2.2 utfördes analyser för hypotetiska ”normala” vägtunnlar. På ett liknande sätt undersöker vi här hur risknivån kan se ut för en ”normal” järnvägstunnel.

Frågan som ställs är hur den beräknade risken skulle se ut för en tunnel som är utförd helt enligt TSD Säkerhet i järnvägstunnlar, en ”TSD-tunnel”. Risker för en sådan tunnel skulle kunna utgöra gräns för den acceptabla risken, dvs. säkerhetsmålet.

Järnvägstunnlar har vanligen utformats med högre standard än de minimikrav som anges i TSD säkerhet i järnvägstunnlar. Orsaken är oftast inte en för hög risknivå utan åtgärder för räddningstjänstens insats samt ökade åtgärder för att säkerställa utrymnings säkerheten. Tillgängliga riskanalyser för detta rapportarbete behöver därför modifieras eller tolkas för att kunna sägas spegla risknivån i en TSD-tunnel.

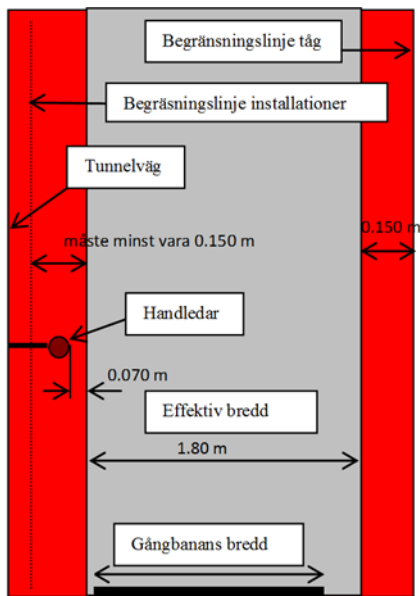
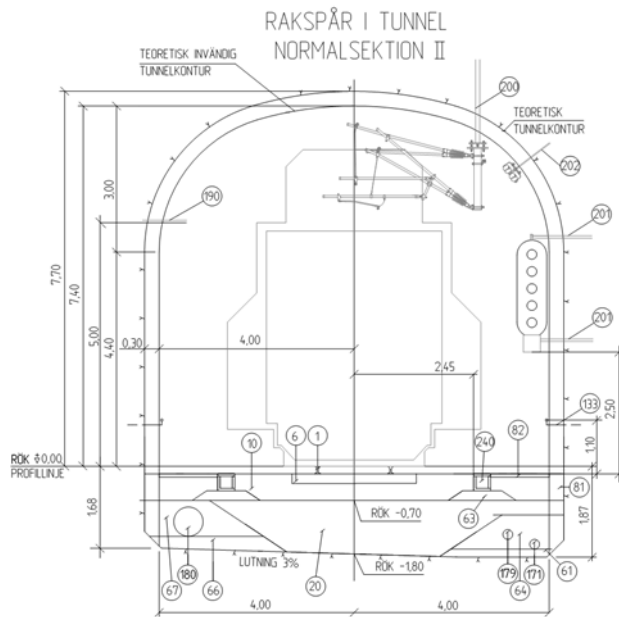
För att kunna bedöma vilken risknivå för resande och tågpersonal som en TSD-tunnel får har vi gjort en jämförande scenarioanalys med en befintlig tunnel som det finns underlag tillgängliga för i form av riskberäkningar, i detta fall Strängnästunneln. Vi tillämpar scenarioanalys eftersom en fullständig riskanalys skulle vara alltför omfattande. Brand i fordon är normalt den händelse som ger störst riskbidrag i en riskanalys under förutsättning att blandad trafik – persontåg och godståg – inte kan ske eller är begränsad. Kopplingen mellan möjligheten för människor att utrymma och den beräknade risken för brand i fordon är stor. Vi har gjort konsekvensberäkningar (brand- och utrymningsberäkningar) för ett stort antal scenarier, för både Strängnästunneln och för TSD-tunneln, och sedan har dessa jämförts. Resultatet av jämförelsen ger underlag för bedömning av den samlade risknivån för TSD-tunneln.

#### **Tunnelutformning**

De avgörande skillnaderna mellan Strängnästunneln och en tunnel utförd enligt miniminivå i TSD tunnelsäkerhet är avståndet mellan utrymningsvägarna samt gångbanornas placering och bredd. I övrigt är tunnelnarnas utformning i huvudsak lika.

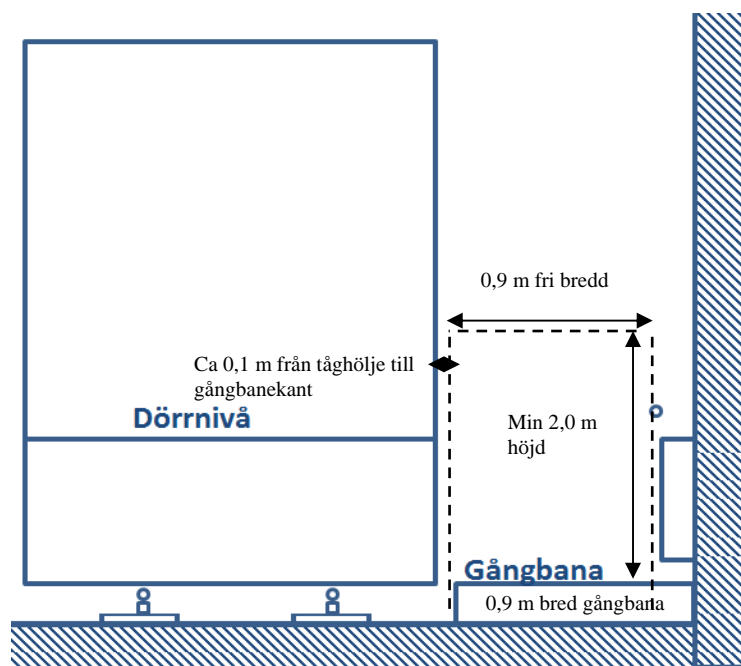
Avståndet mellan utrymningsvägarna är upp till ca 800 meter i Strängnästunneln, medan en TSD-tunnel ska ha max 500 meter mellan utrymningsvägarna.

Gångbanorna i Strängnästunneln är 1,2 meter breda och finns i nivå med rälsunderkant på båda sidor om spåren. I en TSD-tunnel räcker det med gångbana på ena sidan om spåret som är minst 0,8 meter bred och ska vara placerad i nivå eller högre än rälsöverkant. Vid den jämförande analysen har dock antagits bredden 0,9 m, vilket framgår av Figur 18.



Figur 17. Tunneltvärsnitt och effektiv bredd i Strängnästunneln.





Figur 18. Dimensionerande utrymningsmått vid gångbanan längs tåget (TSD-tunnel).

Vid jämförelsen har vi använt samma brandscenario: en brand längst fram eller bak i ett tvåkopplat Regina-tåg. Vi studerar dels en brandeffekt enligt NFPA slow upp till 15 MW med lufthastigheten 1 m/s, dels enligt NFPA medium upp till 20 MW med lufthastigheten 1 m/s och 2 m/s. Tiden till påbörjad utrymning varierar mellan 5, 8 och 10 minuter och tre olika grader av personbelastningar i tåget har studerats (fullt, halvfullt och medelbeläggning).

I beräkningen analyserar vi vilken toxisk dos och temperaturpåverkan som de utrymmande utsätts för. Dessutom studeras siktförhållandena under utrymningen, vilket påverkar gånghastigheten och således utrymningstiden.

Beräkningarna visar om utrymningen kan genomföras innan påverkan av toxiska gaser (FID-värden  $>0,3$ ) och värmepåverkan blir alltför hög.

Beräkningsresultaten uttrycks som andelen scenario med möjlig självutrymning, dvs. utan skadekonsekvenser (omkomna). Vi jämför de båda tunnelarna och drar slutsatser beträffande TSD-tunnelns totala risknivå.

### Beräkningar

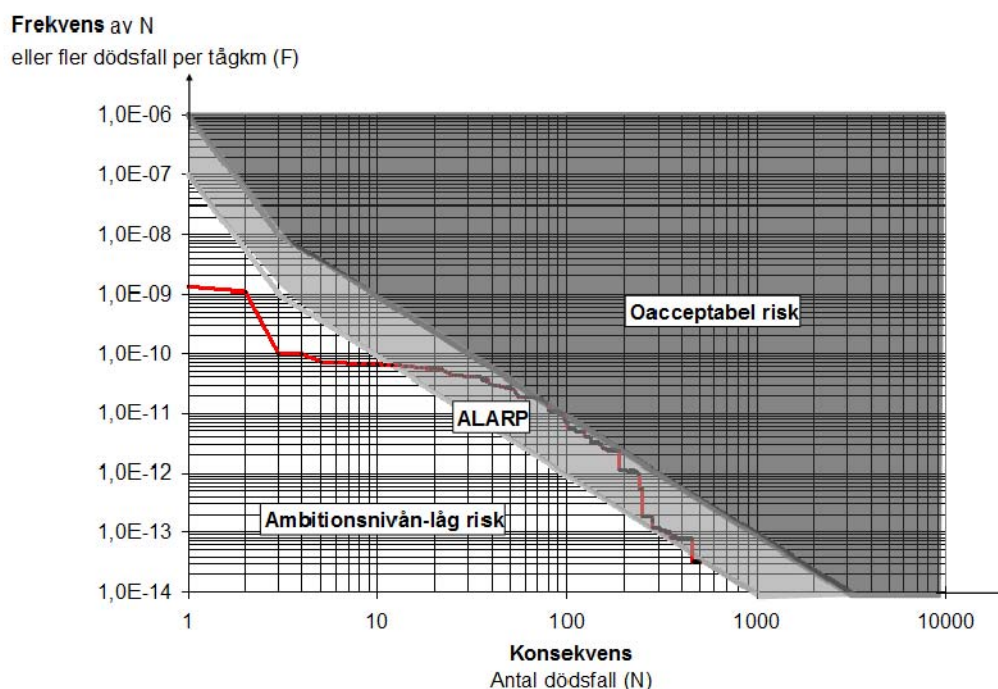
Dimensionerade bränder inklusive sannolikheter för de olika scenarierna enligt Trafikverkets metod [52] togs fram i projektet Strängnästunneln och var underlag i säkerhetsvärderingen [53]. Det var projektörens uppgift att ta fram och bedöma scenario och sannolikheter.

Resultat som redovisas är möjligheten att självutrymma i Strängnästunneln och TSD-tunneln i fyra brandscenarier med bränder > 1 MW samt risknivån i Strängnästunneln. Vidare redovisas känslighetsanalyser i TSD-tunneln med reducerat personflöde på gångbanan, högre personantal och längre tid till påbörjad utrymning. Det gör vi för att få en uppfattning om vilket resultat tunnlar som innehåller fler resenärer får, exempelvis Västlänken och Citybanan.

Tabell 10. Resultat, Strängnästunneln.

Scenario nr	Beskrivning	Lufthastighet	Andel med möjlig självutrymning
1	Slow 15 MW	1 m/s	99 %
2	Medium 20 MW	1 m/s	48,2 %
3	Medium 20 MW	2 m/s	45,6 %
4	Fast 20 MW		8,9 %

Riskenivå för samhällsrisk är på en tolerabel nivå, se Figur 19.



Figur 19. Totala personrisken (inte bara brandscenario) för resande och tågpersonal i Strängnästunneln.

Förklaringar till Figur 19:

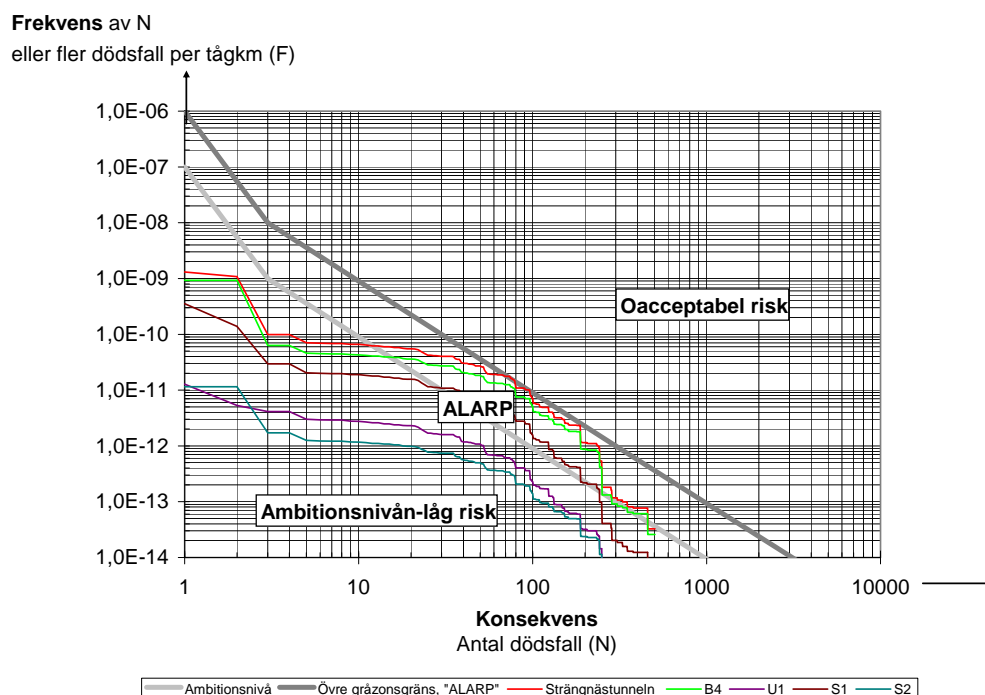
- — : Personrisken för resande och tågpersonal i Strängnästunneln.

- **Vitt:** Ambitionsnivå är uppnådd. Säkerställ nivån genom kontinuerlig uppföljning av förändringar, incidenter och säkerhetsåtgärder.
- **ALARP - Mellanrått:** Risknivån ligger i nivå med markspår. Värdera säkerhetshöjande åtgärder mot ytterligare förbättrad säkerhet.
- **Mörkgrått:** Ambitionsnivån är inte uppnådd. Omvärdera koncept och säkerhetshöjande åtgärder.

Total personrisk för resande och tågpersonal i Strängnästunneln fördelas på fyra riskbidrag:

- Brand i motorvagnståg [B4]
- Ursparning persontåg [U1]
- Sammanstötning persontåg med tungt föremål [S1]
- Sammanstötning persontåg med lätt föremål [S2]

Det största riskbidraget är brand i motorvagnståg [B4], se Figur 20.



Figur 20. Total personrisk för resande och tågpersonal i Strängnästunneln, uppdelad på riskbidrag B4, U1, S1 och S2.

Resultat för TSD-tunneln avseende möjligheten att självutrymma vid en brand i ett tåg som stoppar i tunneln och utrymmer, se Tabell 11.

Tabell 11. Resultat för TSD-tunneln.

Scenario nr	Beskrivning	Lufthastighet	Andel med möjlig självutrymning
1	Slow 15 MW	1 m/s	100 %
2	Medium 20MW	1 m/s	87 %
3	Medium 20MW	2 m/s	86 %
4	Fast 20 MW		9 % (uppskattning)

Känslighetsanalyser på TSD-tunneln har utförts enligt följande för scenario nr 2 (medium 20 MW, 1 m/s), se Tabell 12.

Tabell 12. Känslighetsanalyser och resultat för TSD-tunneln.

Analys	Beskrivning	Andel med möjlig självutrymning
Strängnästunneln		48,2 %
Ursprunglig värdering		87 %
Reducerat personflödet på gångbanan	Beaktas: Faktumet att det inte går att passera på gångbanan medan någon håller på att hoppa ut ur tåget minskar personflödet förbi tåget och möjligheterna att självrädda. Flödet förhindras under 60 % av tiden.	82 %
Högre personantal	Ursprunglig fördelning Fullt 504 p (2 %) Halvfullt 250 p (48 %) Normalt 109 p (50 %)  Ny fördelning Överfullt 1 836 p (1 %) Fullt 1 212 p (2 %) Halvfullt 508 p (30 %) Normalt 150 p (67 %)	78 %
Längre tid till påbörjad utrymning	Ursprunglig fördelning 5 min (38 %) 8 min (50 %) 10 min (12 %) Ny fördelning 14 min (25 %) 12 min (50 %) 10 min (25 %)	62 %

### Slutsatser

Resultaten av scenarioanalysen för Strängnästunneln och TSD-tunneln är sammanställda i Tabell 13.

Tabell 13. Analysresultat för Strängnästunneln och TSD-tunneln. Andel scenario med möjlig självutrymning.

Scenario	Strängnästunneln	TSD-tunneln
1	99,0 %	100 %
2	48,2 %	87 % (*82%)
3	45,6 %	86 %
4	8,9 %	9 %

\* Reducerat personflöde på grund av trängsel enligt känslighetsanalysen är en trolig effekt.

Jämförelsen visar att TSD-tunneln ger högre andel scenario med möjlig självutrymning. Det innebär att TSD-tunnelns kortare avstånd mellan utrymningsvägarna har en större positiv betydelse för utrymningen än den negativa påverkan som det mindre antalet gångbanor och mindre gångbredd har.

Jämförelsen visar därmed att det aktuella exemplet på en TSD-tunnel kan antas ha något lägre risk än Strängnästunneln och därmed också uppfyller en tolerabel risknivå enligt Trafikverkets acceptansnivåer. Följande kommentarer vill vi dock lämna:

De analyserade tunnelarna är relativt okomplicerade, men ganska långa, 2 900 meter. Trafiken är blandad men signalsystem och indelning i blocksträckor är sådana att godståg och persontåg inte kan passera samtidigt i tunneln.

Vid större och mer komplexa system ökar sannolikheten för stopp i tunneln, och där möjligheten finns att godståg och persontåg befinner sig samtidigt ökar riskerna. Större mängd personer på tågen påverkar konsekvensutfallet och därmed också risknivån.

Vid järnvägssystem med sådana förutsättningar är det inte säkert att en TSD-tunnel får en lika gynnsam värdering av risknivån. Detta har vi inte undersökt inom detta projekt men kan behöva studeras närmare.

#### 4.4 Tunnelbana

Eftersom det saknas genomarbetade kvantitativa säkerhetsvärderingar för tunnelbanan, i motsats till väg- och järnvägstunnlar där sådana finns, gör vi en kvalitativ jämförelse av risknivåer för den planerade nya tunnelbanan mot ett referenssystem, i det här fallet Citybanan. Jämförelse med referenssystem är en av tre principer som anges i CSM-RA, se avsnitt 3.1.3, för att värdera om riskerna med ett system kan accepteras.

Värderingen utgår från en tänkt typsträcka för Nya tunnelbanan. Den består av en ca 2 km lång dubbelspårstunnel som avslutas av en station som utgör säker plats i vardera änden. Referenssystemet utgörs av sträckan på Citybanan mellan station City och station Odenplan. Sträckan är ca 2 kilometer dubbelspårstunnel med servicetunnel.

Riskfaktorer och förutsättningar som har betydelse för risknivån för resande och tågpersonal identifieras för de olika systemen. Utgångspunkten för den tunnel som värderas är systembeskrivningen, dvs. hur anläggningarna kommer att byggas och användas. För referenstunneln har vi använt genomförd säkerhetsvärdering som underlag.

Riskfaktorer och förutsättningar har grupperats i följande huvudgrupper:

- Tunnel
- Omgivning
- Banan
- Trafik och resande
- Rullande materiel
- Organisationen
- Räddningstjänstinsats
- Övrigt

Jämförelsen sammanfattas där skillnaderna mellan värderad tunnel, dvs. Nya tunnelbanan och referenstunneln, anges. Skillnaderna redovisar vi sammanfattningsvis i Tabell 14. Omgivning och räddningstjänstens insats har inte inkluderats i detta fall, eftersom jämförelsen utgår från en fiktiv sträcka. I bilaga 1 redovisas de mer omfattande.

Tabell 14. Sammanställning av jämförande analys Nya tunnelbanan – Citybanan. Nya tunnelbanans risk presenteras i tabellen.

Risikfaktorer/ förutsättningar	Lägre riskfaktor +	Ingen märkbar skillnad	Högre riskfaktor –	Ännu högre riskfaktor --
Tunnel [A]				
Omgivningen [B]	Bedöms ej			
Banan [C]				
Trafik och resande [D]				
Rullande materiel [E]				
Organisation [F]				
Räddningstjänstinsatsen [G]	Bedöms ej			
Övrigt [H]	Bedöms ej			

Resultatet från jämförelsen är att risknivåer och förutsättningar kan antas vara liknande eller bättre hos Nya tunnelbanan jämfört med Citybanan, givet den utformning av tunnelbanan som beskrivs ovan.

Största skillnaderna mellan systemen ligger i att Citybanan utgör en central del av järnvägsnätet med tät trafik, medan utbyggnaden utgör en del i systemets ytterkanter. Vidare är tunnelbanan ett isolerat system, till skillnad från Citybanan som är en del av hela järnvägssystemet, vilket gör att trafikledning och trafikstyrning kan antas vara enklare för tunnelbanan. Sammantaget bedömer vi att dessa skillnader mellan systemen dock har en relativt liten påverkan på den totala risknivån. Anläggningens utformning tillsammans med sannolikheten för olyckor är relativt lika, vilket ger störst resultatpåverkan. Sammantaget bedömer vi det troligt att tunnelbanan, med dess nuvarande säkerhetskoncept, kan anses uppfylla en liknande säkerhetsnivå som Citybanan gör.

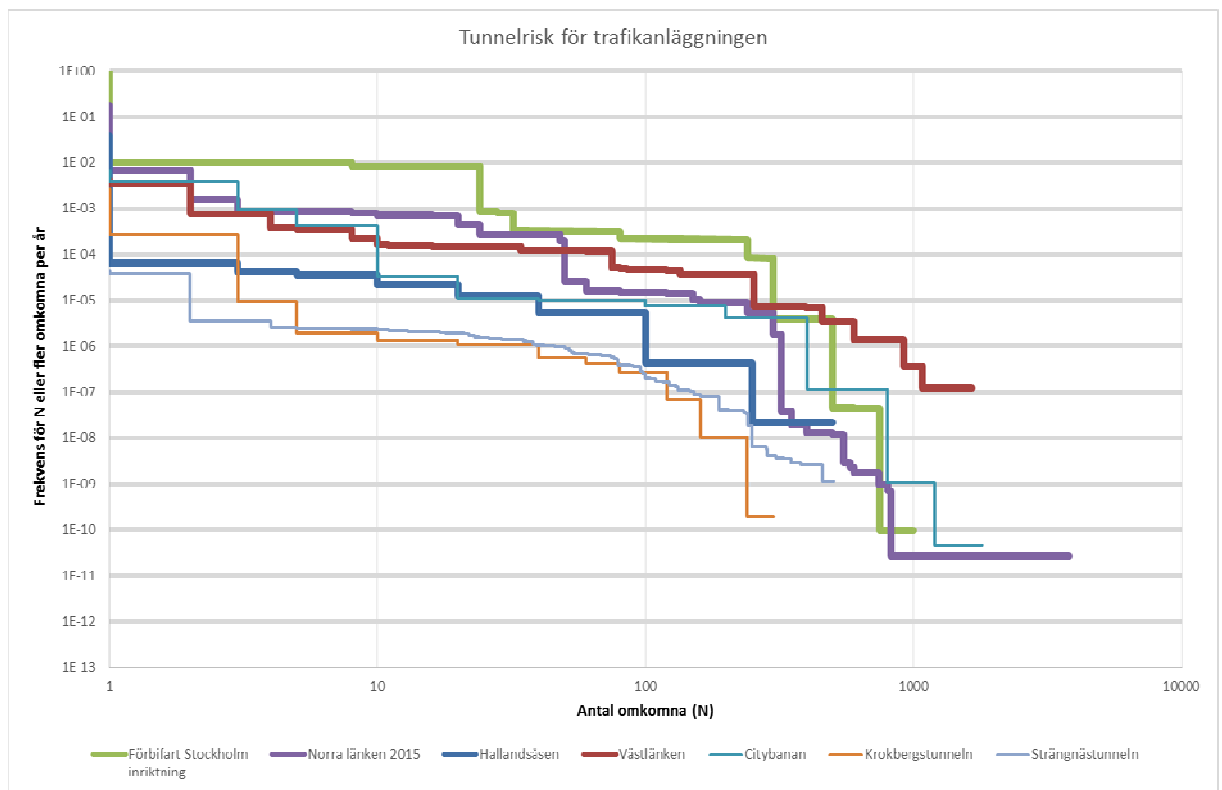
#### 4.5 Normering av riskmått och jämförelse mellan trafikslag utifrån praktiska fall

##### 4.5.1 Jämförelse av beräknad risk för studerade objekt av olika trafikslag

I föregående avsnitt har personrisken beräknats och presenterats i form av F/N-kurvor för ett antal olika tunnlar för väg och järnväg.

I figuren nedan redovisar vi en sammanfattande bild av risken i de olika anläggningarna som presenterades i avsnitt 3 och föregående avsnitt i kapitel 4.

Frekvensen uttrycks som årlig sannolikhet F för att en olycka inträffar i tunneln med minst N omkomna trafikanter i respektive tunnel.



Figur 21. Risk per anläggning för de studerade väg- och järnvägstunnlarna.

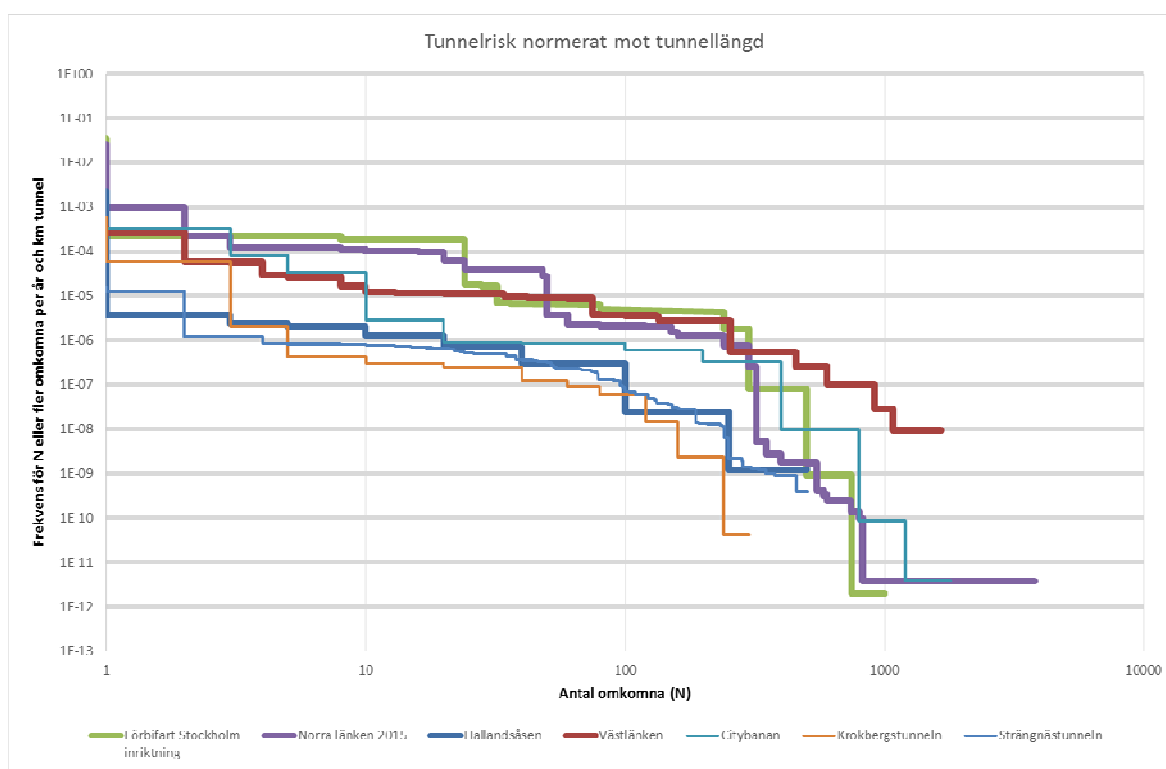
Spridningen är som väntat stor mellan de olika anläggningarna med flera tiopotenser, eftersom längd och trafikflöde skiljer mycket. Dessutom finns skillnader i utformning som kan ha påverkan på säkerheten, t.ex. om det är enkel- eller dubbelspårstunnlar.

Vilken risk som accepteras (dvs. kombinationen av sannolikheten för olycka samt dess konsekvens) har stark koppling till systemets storlek och avgränsning, särskilt om det finns stora skillnader i nyttan från anläggningen eller aktiviteten i förhållande till storleken. Exempelvis accepteras på nationell nivå ett större antal olyckor jämfört med om ett mindre geografiskt område studeras, t.ex. en kommun eller en enskild verksamhet. Det är därför rimligt att anta att ett säkerhetsmål behöver skalas till systemets storlek eller geografiska omfattning på något vis. Inom detta område finns det begränsat med arbete utfört, men exempel förekommer där någon typ av geografisk skalning gjorts. Ett sådant exempel är inom området fysisk planering, där acceptanskriterierna för samhällsrisik i samband med riskvärdering vid bebyggelse nära farliga verksamheter avser riskpåverkan inom 1 km<sup>2</sup> stort område. Ett annat exempel är risknivåer i tunnlar som i vissa länder uttrycks per km, medan andra uttrycker dem per anläggning (oavsett storlek).



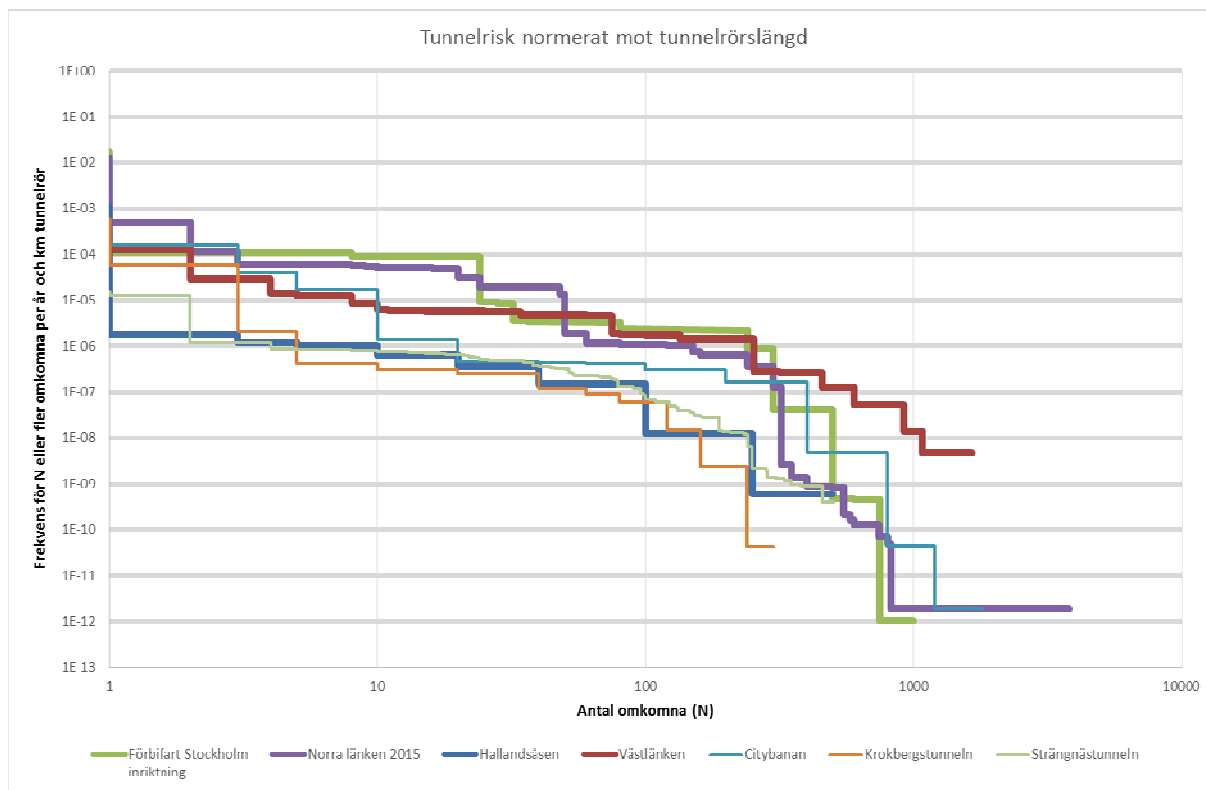
En viktig fråga i projektet har varit att undersöka möjligheterna att normera riskmålet så att det avspeglar nyttan med anläggningen, men även möjligheterna att formulera ett gemensamt eller likvärdigt acceptanskriterium för de olika trafikslagen. Se projektets omfattning i avsnitt 1.2. För transportsystem är det vanligt att det förväntade antalet olyckor inte enbart är proportionellt mot anläggningsdelens längd utan även trafikintensiteten. Det medför att riskexponeringen förväntas vara proportionell mot trafikarbetet, vilket är ett vanligt förekommande antagande för ytvägnät, men märkligt nog varit sparsamt undersökt för tunnlar. I en nyligen publicerad forskningsartikel ges förslag på denna typ av tillämpning av normering, vilket gör fortsatta undersökningar intressanta.

Metoden för att undersöka detta bygger på att analysera risknivåerna för olika typer av anläggningar och se hur en jämförelse mellan både anläggningar inom ett och samma trafikslag och mellan olika trafikslag ser ut.



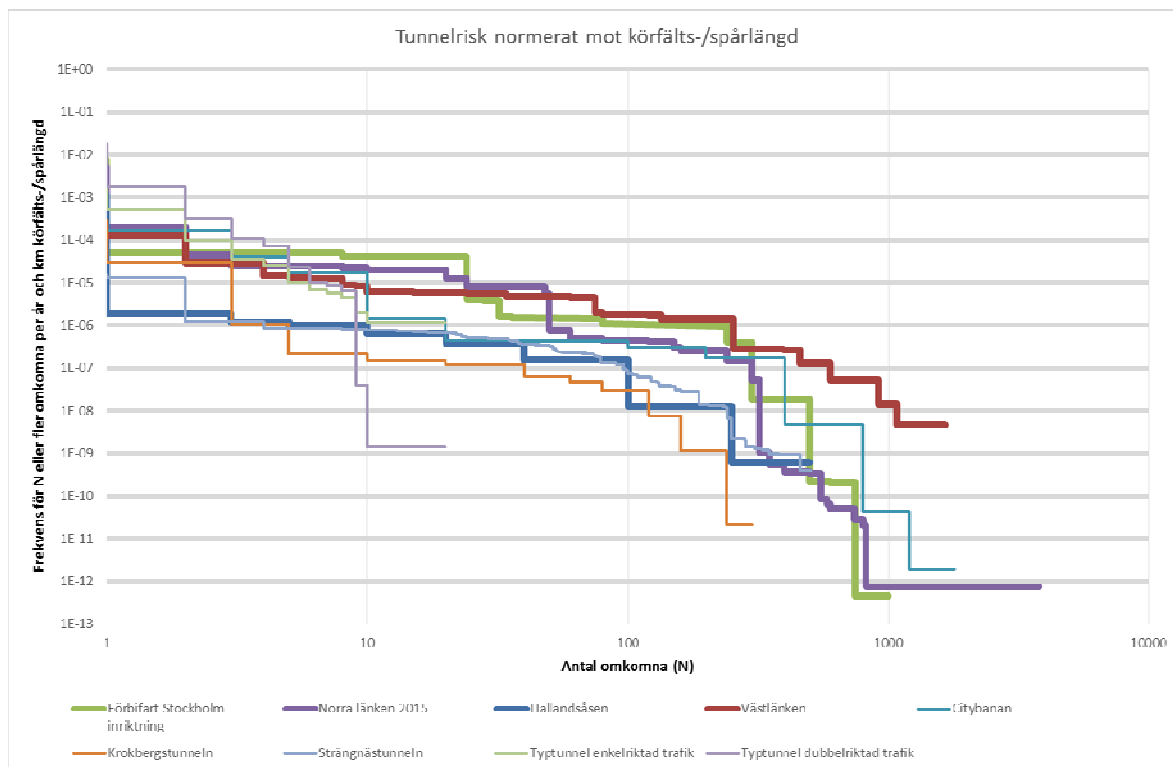
Figur 22. Risk per km tunnel för de studerade väg- och tågtunnelarna.

Vid normering mot tunnelns längd minskar spridningen något mellan tunnelarna, vilket pekar på att den totala risken i viss utsträckning är proportionell mot tunnellängden.



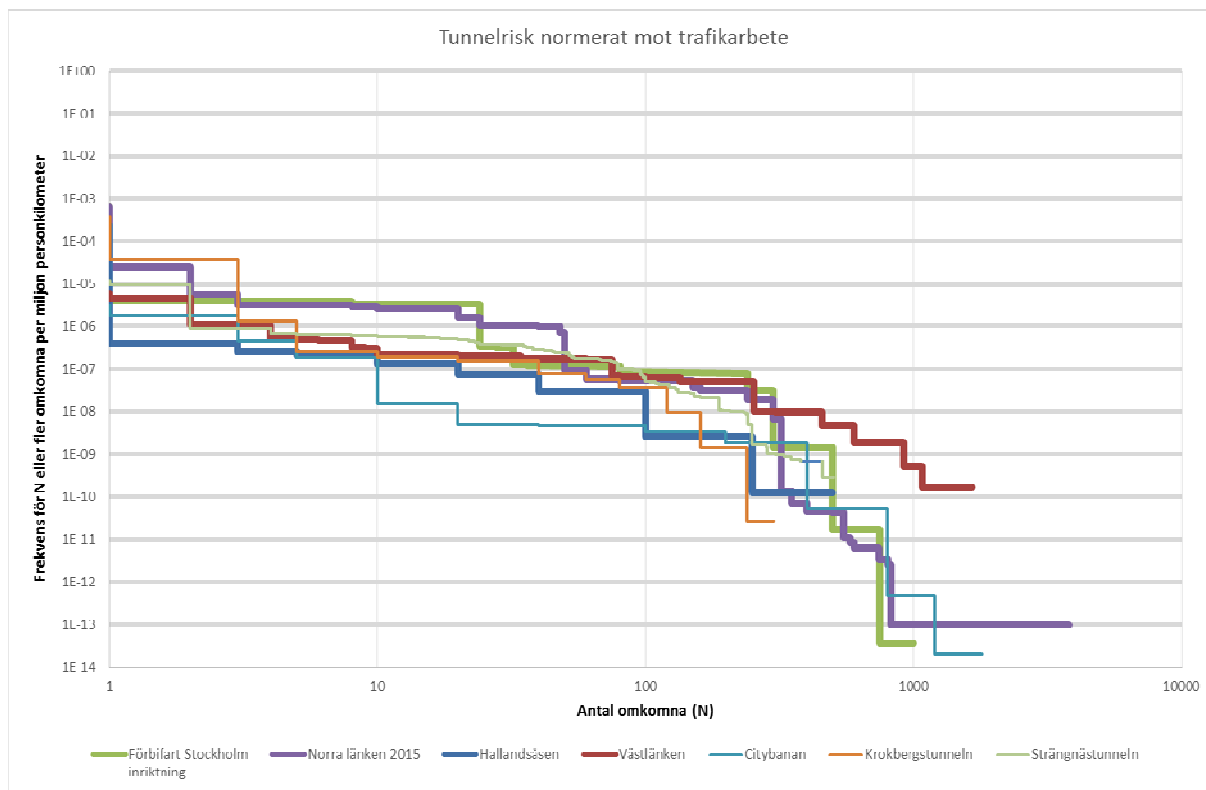
Figur 23. Risk per km tunnelrör för de studerade väg- och tågtunnlarna.

Vid normering mot den totala tunnelrörlängden minskar spridningen ytterligare något mellan tunnarna. På samma sätt sker ytterligare en viss minskning om normeringen i stället sker utifrån körfälts-/spårlängd, se Figur 24. Denna normering medför att för en dubbelrörstunnel räknas längden som dubbelt jämfört med en enkelrörstunnel.



Figur 24. Risk per år och km körfälts-/spårlängd för de studerade väg- och tåg tunnelarna.

Avslutningsvis gör vi en normering mot trafikarbetet, dvs. både längd och trafikantflöde beaktas. Resultatet redovisas i Figur 25 och visar på en väsentlig reduktion i spridning mellan de olika studerade anläggningarna.



Figur 25. Risk per miljon personkm för de studerade väg- och tåg tunnelarna.

Slutsatsen är att vid en normering mot trafikarbetet, dvs. både längd och trafikantflöde beaktas, sker en väsentlig reduktion i spridning mellan de olika studerade anläggningarna. Trafikarbete ger ett bra mått på den nytta som anläggningen producerar. Slutsatsen blir att riskpåverkan blir relativt lika oavsett anläggning och oavsett trafikslag. Det bör därför finnas förutsättningar för att formulera ett acceptanskriterium som är trafikslagsövergripande.

För de studerade anläggningarna ser riskprofilerna (F/N-kurvorna) ut på liknande vis när risken normeras mot trafikarbete, även för de olika trafikslagen. Detta indikerar att den risknivå som blir resultatet av dagens byggtradition och dimensioneringsmetoder i ganska god överensstämmelse är likvärdig för de olika trafikslagen samt att riskversionen för stora olyckor är i samma storleksordning i förhållande till hur mycket personer som nyttjar anläggningen. Beräknat PLL-tal för respektive anläggning presenteras i tabellen nedan men kommenteras inte ytterligare här.

Tabell 15. PLL-tal för de olika studerade väg- och tågtunnlarna.

Anläggning	PLL-tal (förväntat antal omkomna per miljon personkilometer)
Förbifart Stockholm inriktning	7,4E-04
Norra länken 2015	7,7E-04
Hallandsåsen	2,4E-04
Västlänken	4,1E-05
Citybanan	9,6E-06
Strängnästunneln	5,3E-05
Krokbergstunneln	4,5E-04

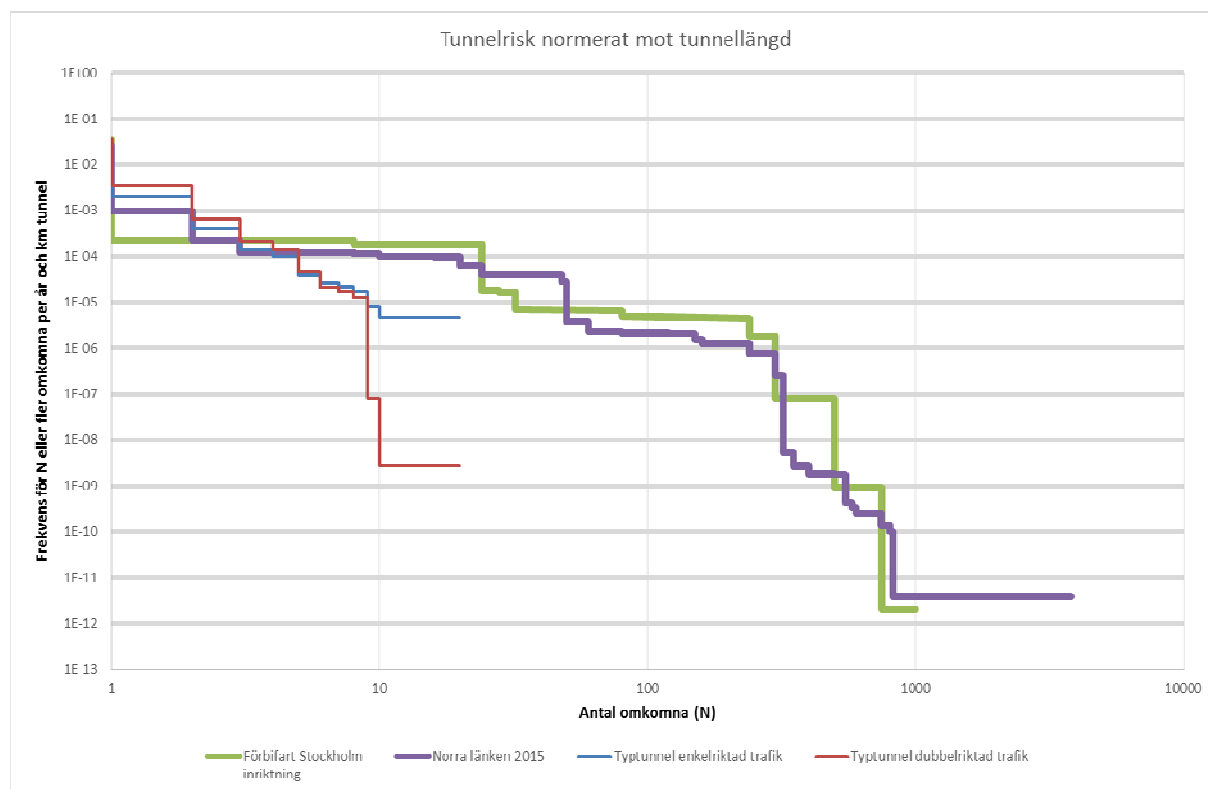
#### 4.5.2 Jämförelse av beräknad risk mellan praktiska fall och hypotetiska objekt

Följande jämförelse avser verkliga projekterade vägtunnlar respektive hypotetiska tunnlar som är utformade på sådant sätt att de accepteras utan ytterligare verifierande riskanalyser eller tilläggsåtgärder.

Av jämförelsen framgår att kurvorna korsar varandra och att händelser med stora konsekvenser för de hypotetiska tunnlar är mindre sannolika. Det kan förklaras av att farligt gods inte transporteras i typtunnlarna, och möjligen också att kö inte förekommer. I intervallet 1–10 dödsfall skiljer sig kurvorna åt, eftersom modellerna för dödsfall i de verkliga tunnlar inte har någon fördelning utan förutsätter endast ett dödsfall per trafikolycka. Nivån för ett dödsfall är dock snarlik typtunnel enkelriktad trafik, vilket inte tydligt framgår av figuren.

De verkliga tunnlar har godstrafik och köbildning, är i bruk och kan därför betraktas som accepterade vad avser risknivån.

Typtunnlar bedöms inte vara lämpliga som modell för säkerhetsmål i tunnlar med farligt gods eller kö, eftersom den största förväntade konsekvensen är betydligt lägre i typtunnlar. Även sannolikheten för stora olyckor är betydligt lägre för typtunnlar än för de i dag accepterade tunnlar, och betydligt lägre än flertalet acceptanskriterier i andra länder. Med typtunnlar som referens för kriteriet skulle de flesta tunnelprojekt vara omöjliga att genomföra med dagens investeringsramar och sannolikt skulle kostnadseffektiviteten vara mycket låg.



Figur 26. Risk för de studerade vägtunnlarna i jämförelse med två hypotetiska objekt enligt regelverket.

Beräknat PLL-tal för respektive anläggning presenteras i tabellen nedan men kommenteras inte ytterligare här.

Tabell 16. PLL-tal för de olika studerade vägtunnlarna samt de hypotetiska tunnlar (typtunnlarna) .

Anläggning	PLL-tal (förväntat antal omkomna per miljon personkilometer)
Förfart Stockholm inriktning	7,4E-04
Norra länken 2015	7,7E-04
Typtunnel enkelriktad trafik	6,5E-04
Typtunnel dubbelriktad trafik	4,6E-03

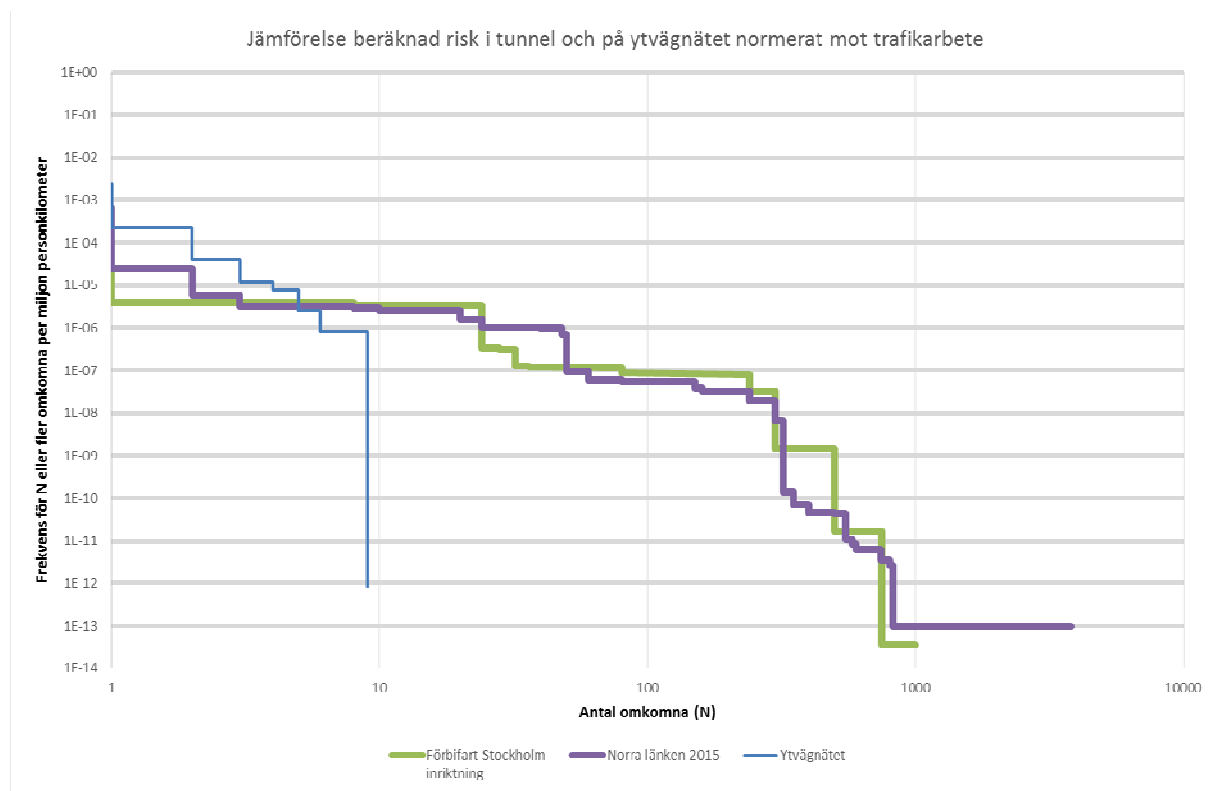
#### 4.5.3 Jämförelse av beräknad risk för studerade objekt med ytvägnät

Som i föregående fall med typtunnlarna gör vi här en jämförelse mellan vägtunnlar och ytvägnätet. Jämförelsen visar att kurvorna korsar varandra och att händelser med stora konsekvenser för ytvägnätet är osannolika. Händelser med små konsekvenser är däremot fler per personkilometer.

Skillnaderna är inte oväntade. De förklaras av de typiska skillnaderna mellan tunnlar och öppna vägvägsnitt. Det har i tidigare avsnitt 2.1.5

framförts argument mot att låta säkerheten på ytan vara grund för säkerhetsmål för tunnlar när flera trafikslag ska jämföras. Detta stöds genom denna jämförelse, i alla fall vad avser riskmål uttryckta i form av F/N-kurva.

Vi bedömer därför att riskprofiler för ytvägnätet inte är lämpliga som modell för säkerhetsmål i tunnlar.



Figur 27. Risk för de studerade vägtunnelarna i jämförelse med risken på ytvägnätet [8].

Beräknat PLL-tal för respektive anläggning presenteras i tabellen nedan men kommenteras inte ytterligare här.

Tabell 17. PLL-tal för de olika studerade vägtunnelarna samt för ytvägnätet.

Anläggning	PLL-tal (förväntat antal omkomna per miljon personkilometer)
Förfart Stockholm inriktning	7,4E-04
Norra länken 2015	7,7E-04
Ytvägnätet	2,7E-03

#### 4.5.4 Jämförelse av beräknad risk för studerade objekt med förslag till acceptanskriterium i vägtunnlar

Ytterligare en jämförelse med vägtunnlar görs i detta avsnitt. Denna gång en jämförelse mellan vägtunnlar och förslag till acceptanskriterier som framtagits i ett utvecklingsprojekt som Trafikverket finansierat [35].

Acceptanskriterierna är konstruerade utifrån förhållanden på ytvägnätet och de olycksdata som är aktuella där. Anpassningar och modifieringar har gjorts på olika sätt i underlaget för att rekonstruera en olycksstatistik som den kan förväntas se ut i tunnlar. Resultatet har formats till en övre och en lägre gräns kring ett ALARP-område i ett F/N-diagram, som förslag till acceptanskriterier. Se Figur 28.

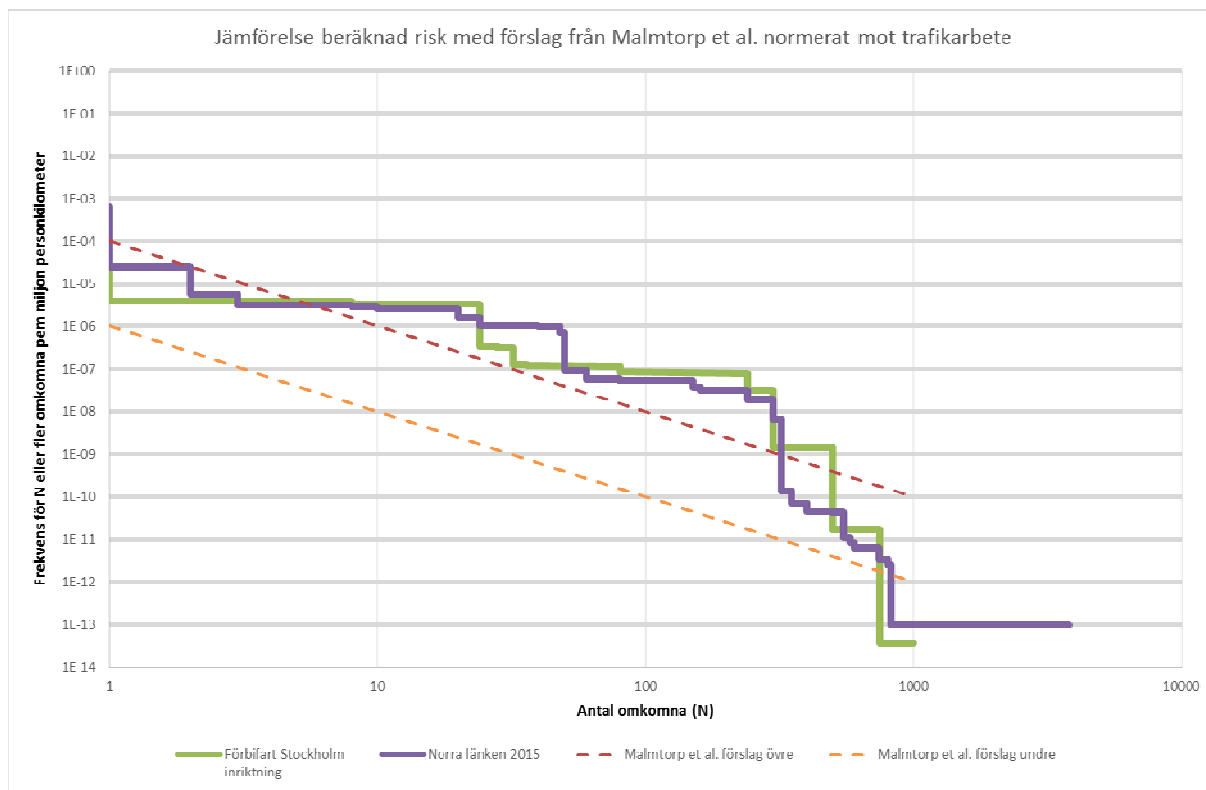
Av jämförelsen framgår att de verkliga tunnelnarnas beräknade riskprofiler inte ryms inom de föreslagna kriterierna. Norra Länkens tunnlar har efter granskning och godkännande tagits i drift vilket leder till slutsatsen att det antingen är fel på förslaget till kriterier eller så är det fel på beräkningen av risk för de projekterade tunnelarna.

Beräknade risker – oavsett om de är formade som acceptanskurvor eller som riskgrafer som representerar tunnelobjekt – är behäftade med betydande osäkerheter. Om osäkerheterna slår åt var sitt håll i en jämförelse, kan resultatet bli det som visas i jämförelsen nedan. Tunnelprojektets risker kan vara överskattade, medan acceptanskriterierna kan vara färgade av de specifika förhållanden som råder på ytvägnätet och därmed missgynna vägtunnelarna.

I avsnitt 2.1.3 har vi framfört argument mot att låta säkerheten på ytan vara grund för säkerhetsmål för tunnlar när flera trafikslag ska jämföras. Även denna jämförelse stöder tesen att tunnlar ska jämföras med tunnlar, i alla fall vad avser riskmål uttryckta i form av F/N-kurva.

Vi bedömer därför att förslaget till acceptanskriterier enligt [35] inte är lämpligt som modell för säkerhetsmål i tunnlar.





Figur 28. Risk för de studerade vägtunnlarna i jämförelse med förslag till kriterium i vägtunnlar [35].

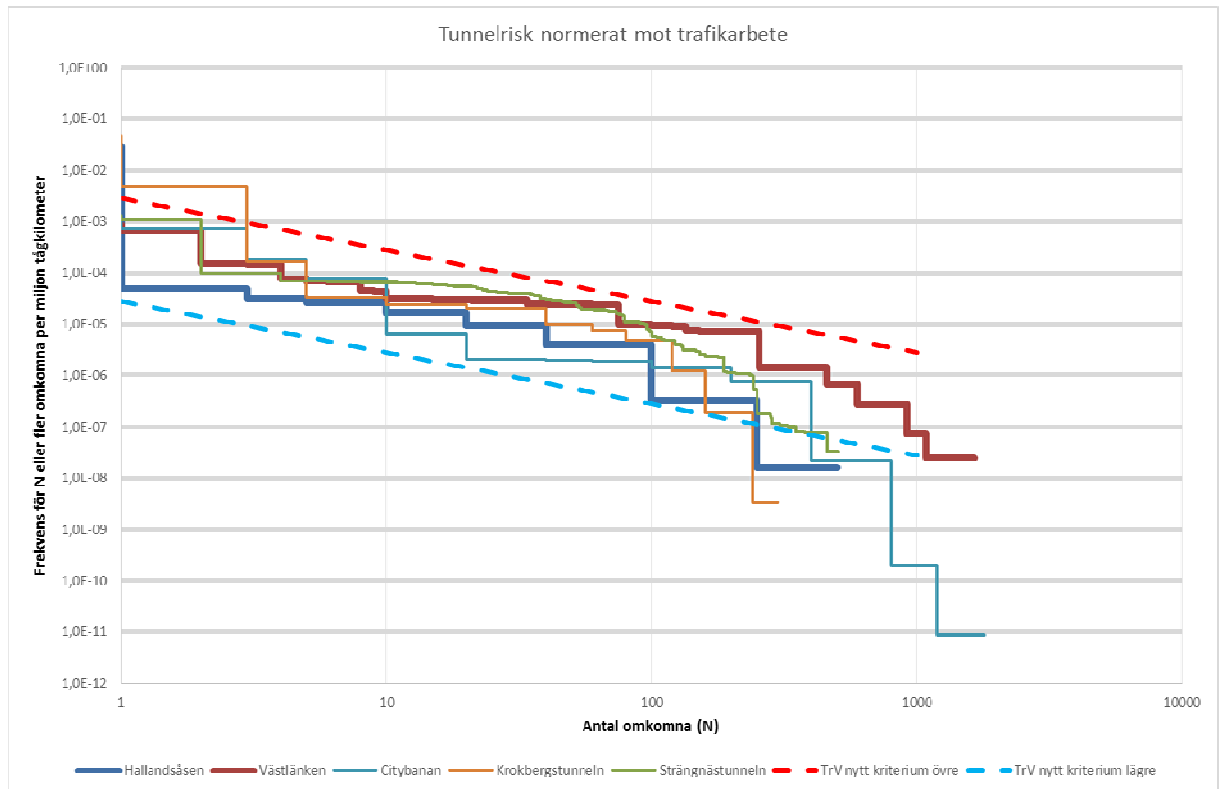
Vi presenterar beräknat PLL-tal för respektive anläggning respektive för förslaget till acceptanskurva i tabellen nedan men det kommenteras inte ytterligare här.

Tabell 18. PLL-tal för de olika studerade vägtunnlarna samt för övre gränsen för förslag till kriterium för vägtunnlar.

Anläggning	PLL-tal (förväntat antal omkomna per miljon personkilometer)
Förbifart Stockholm inriktning	7,4E-04
Norra länken 2015	7,7E-04
Malmtrorp et al. förslag övre	2,0E-04

#### 4.5.5 Jämförelse av beräknad risk för studerade objekt med förslag till acceptkriterier för markspår

I Figur 29 redovisas en jämförelse mellan det utkast till kriterium som Trafikverket arbetat fram för järnvägstrafik, men som i nuläget inte är fastställt. Detta kriterium kan komma att ersätta kriteriet för säkerhetsvärdering som vi presenterar i avsnitt 3.1.3, byggherrekra.



Figur 29. Risk för de studerade tåg tunnelarna i jämförelse med utkast till uppdaterat acceptanskriterium i tillägg till TRVK tunnel 11.

## 5 Förslag till säkerhetsmål, process och metodik

### 5.1 Allmänt

Förslaget som vi i arbetsgruppen presenterar utgår från målet med arbetet i avsnitt 1.3, utförd inventering i kap. 3 och genomförd analys i kap 4. Bland de övergripande reglerna som citeras finns regeringens transportpolitiska mål som uttalar krav på förbättringar av säkerheten i transportsystemen. I projektspecifikationen anges samtidigt samhällsekonomiska hänsyn som en viktig del av säkerhetsmålen.

Enligt avsnitt 2.1.5 kan risknivån bedömas genom analys och värdering av riskerna mot ett kvantitativt mål. Vid inventeringen i avsnitt 3 redovisade vi också med exempel hur kvantitativa riskmått tillämpats i projekt och hur Trafikverket har anvisat kvantitativa mål för säkerheten i järnvägstunnlar. Det ligger då nära till hands – eftersom det speglar nuläge och tillämpad praxis samt godkännanden av tunnelanläggningar – att enligt avsnitt 2.1.5 basera ett kvantitativt mål på en beräkning gjord på en verklig referenstunnel med accepterad säkerhetsnivå alternativt en hypotetisk tunnel utformad enligt gällande föreskrifter.

### 5.2 Förslag till säkerhetsmål och mått

Utredningens jämförande studier av olika riskmått och riskprofiler för olika projekt visar att ett trafikslagsövergripande säkerhetsmål bör vara möjligt att formulera. De olika analyserade projekten och de hypotetiska tunnarna utformade enligt minimikraven i gällande regelverk ligger väl samlade i en jämförelse när den beräknade risken att omkomma uttrycks i förhållande till personkilometer. Man skulle därför kunna uttrycka ett gemensamt säkerhetsmål så här:

***Risken vid färd i tunnel för väg, järnväg och tunnelbana ska vara likvärdig, uttryckt som risk att förolyckas per personkilometer.***

Tolkningen av detta säkerhetsmål skulle då uttryckas med riskmättet ”sannolikhet för dödsfall per personkilometer” och acceptanskriterier redovisas i en F/N-kurva som representerar det mätbara målet – med en övre kurva som representerar maximalt accepterad risk och en undre kurva som representerar en risknivå som om den underskrids inte bör föranleda behov av ytterligare åtgärder. Området mellan kurvorna är det så kallade ALARP-området (As Low As Reasonable Practicable), som innebär att risken är acceptabel under förutsättning att möjliga kostnadsnyttiga åtgärder införs.

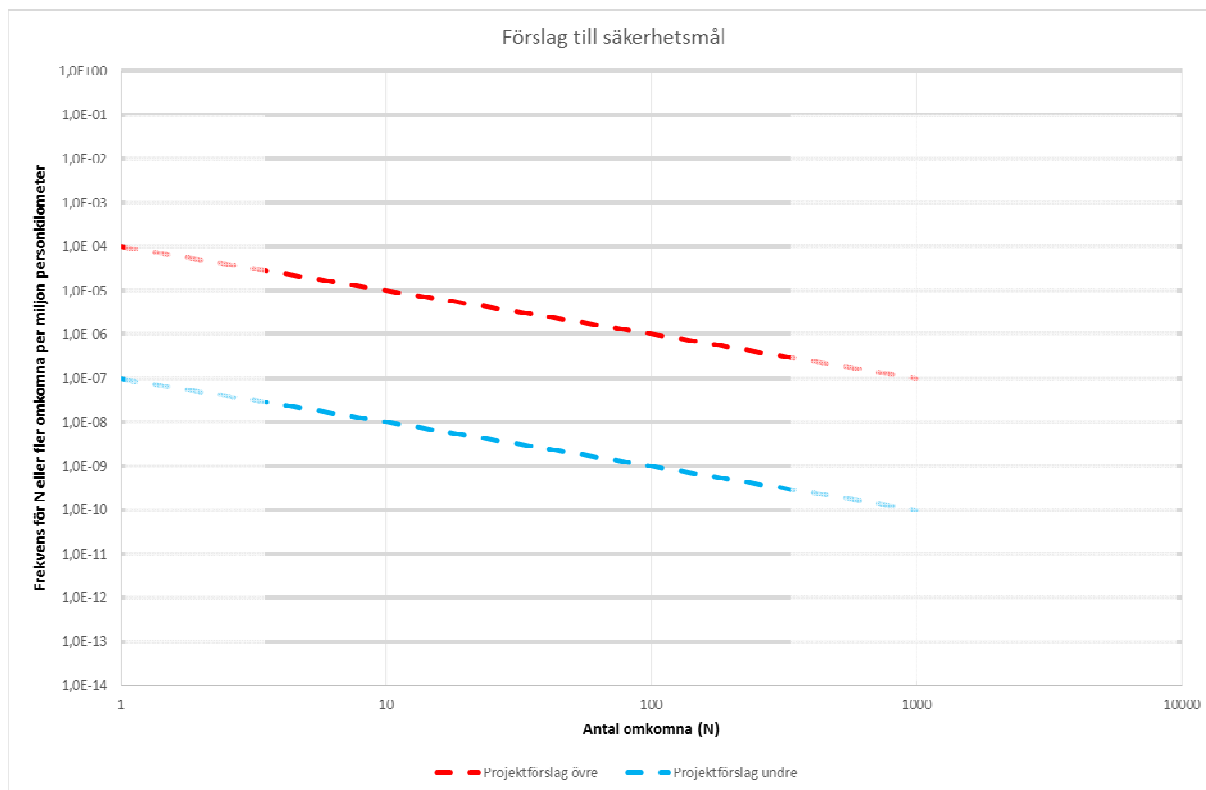
Det finns tydliga skillnader mellan trafikslagen vad gäller händelser med enstaka omkomna. Dessa händelser är också ofta mer frekventa och ofta finns därför erfarenhet och empiriska samband, vilka normalt inarbetas

direkt i regler som föreskrivna obligatoriska åtgärder. Vi föreslår därför att säkerhetsmålet inte ska anges med riskmått i FN-kurvan för enstaka omkomna.

Händelser med flera hundra eller tusentals omkomna är ytterst sällsynta och orsakerna eller kombinationer av orsaker kan vara svåra att finna teoretiskt. (Kärnkraften är exempel på när detta görs med oerhört omfattande analyser, men man lyckas ändå inte finna alla orsaker.) Underlaget från analyserna i kap. 4 ger inte heller någon samstämmig bild för händelser med fler hundra omkomna eller fler. Förslaget är därför att säkerhetsmålet inte ska anges med riskmått i F/N-kurvan för fler än 300–500 hundra omkomna.

För dessa olyckshändelser med mycket låg sannolikhet och extremt stora konsekvenser krävs det troligen en annan typ av hantering, där extremt otroliga händelser sammanvägs och hanteras separat. Förmodligen är sådana analyser inte kostnadsnyttiga att göra i enskilda projekt. Exempelvis kommer antagligen jordbävning, materialfel i konstruktioner, feldimensionering etc. att bli signifikanta. Här kan en central utredning vara aktuell för att belysa riskerna generellt. Även krig och terrorhändelser med stora potentiella konsekvenser behöver hanteras utanför den traditionella riskanalysen baserad på olycksstatistik.

Förslaget till acceptanskurvor med ALARP-område övre och undre gräns samt begränsningar till vänster och höger i diagrammet enligt resonemanget ovan framgår av Figur 30.



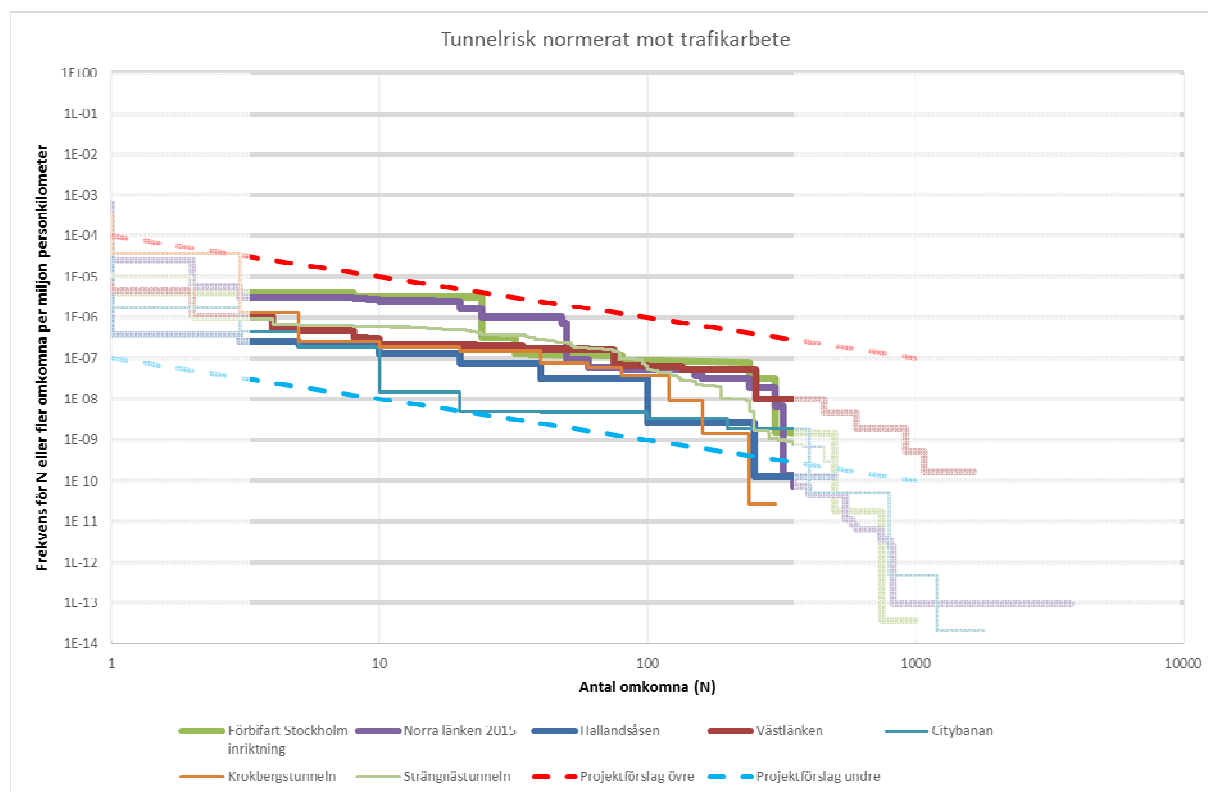
Figur 30. Förslag till säkerhetsmål avseende resande i tunnel. Övre och undre gräns samt mellanliggande ALARP-område. Kurvorna föreslås börja vid liten konsekvens, "enstaka omkomna" och sluta vid konsekvens 300–500 omkomna.

Beräknat PLL-tal för förslaget till acceptanskurvas övre gräns presenteras i tabellen nedan men kommenteras inte ytterligare här.

Tabell 19. Beräknat PLL-tal för föreslagen acceptanskurvas övre gräns (Projektförslag övre).

Anläggning	PLL-tal (förväntat antal omkomna per miljon personkilometer)
Projektets förslag övre gräns	7,9E-04

De sju olika studerade projektexemplen enligt föregående avsnitt presenteras med säkerhetsmålet som bakgrund i följande figur.



Figur 31. Förslag till säkerhetsmål.

### 5.3 Process och metodik

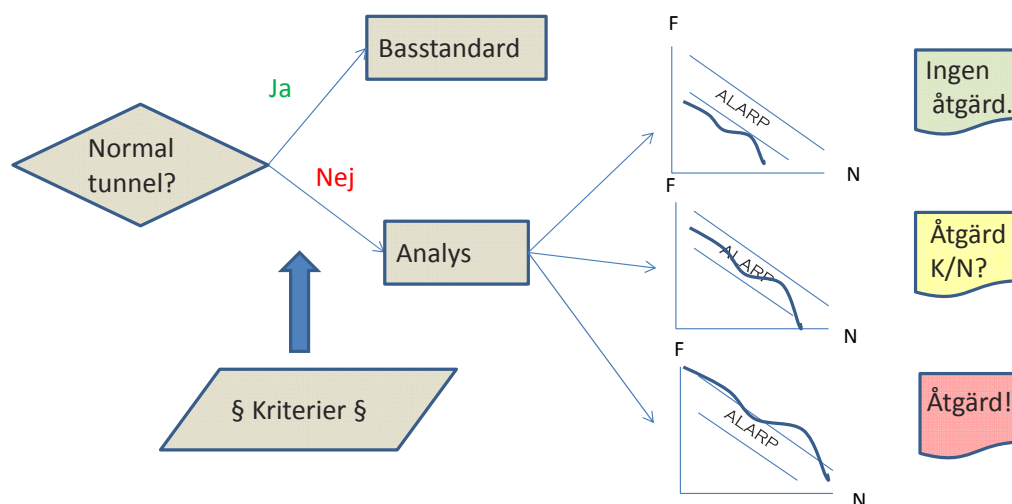
Det finns generella krav på att regler inte ska vara onödigt komplicerade eller omfattande. För att uppfylla detta föreslår vi nedanstående principiella process (Figur 32). Säkerhetsmålet kan anses vara uppfyllt utan krav på verifierande kvantitativ riskanalys för vissa tunnlar, medan andra kräver en riskanalys.

Processen inleds med att man frågar sig om den aktuella tunneln som ska projekteras är en "normal tunnel". Frågan besvaras med stöd av på förhand givna kriterier för bedömningen.

Om frågan besvaras med ja, tillämpas basstandard för utformning av tunnelns säkerhetskoncept. Annars ska en kvantitativ analys utföras och behovet av åtgärder bedömas med stöd av säkerhetsmålet uttryckt i F/N-diagram.

- Om den beräknade risken är låg, under ALARP-området, krävs inga åtgärder.
- Om risken är inom ALARP-området, ska de åtgärder tillföras som kan bedömas kostnadsnyttiga.

- Om risken är högre än ALARP-området, ska åtgärder tillföras oavsett kostnad.



Figur 32. Processbild – beslut om åtgärder.

Förslaget som vi redovisar baseras på att det finns

- regler för utformning av trafiktunnlar enligt basstandard
- metoder och praxis för analys och kvantifiering av risker
- principer för värdering av kostnad och nytta av säkerhetsåtgärder.

### 5.3.1 Basstandard

Många trafiktunnlar är förhållandevis enkla och likartade, och de skulle kunna utformas med samma uppsättning krav på säkerhetsinstallationer och säkerhetsfunktioner. Dessa ”normala” tunnlar skulle kunna utformas och utrustas enligt en ”basstandard” som ska vara utformad så att säkerhetsmålet uppnås, men utan att särskild riskanalys behöver utföras. Med stöd av kriterier avgör man om en tunnel kan betraktas som ”normal”.

En basstandard skulle kunna utformas som en handbok eller liknande dokument, men vårt förslag är att i stället utgå ifrån ett regelverk. Motivet är främst att det finns krav på att uppfylla regelverken, och att de existerande regelverken för väg- och järnvägstunnlar redan i dag medger att enklare tunnlar kan utföras utan riskanalys. De hypotetiska tunnlar som vi har analyserat i rapporten faller också väl inom acceptanskriterierna, dvs. inom ALARP-området. De hypotetiska tunnarna har valts med minimiåtgärder enligt regelverken Säkerhet i järnvägstunnlar respektive Säkerhet i vägtunnlar. Om en basstandard ska införas enligt detta förslag, kan dessa

regelverk därför anses vara lämpliga. För tunnelbana finns inget motsvarande regelverk i dag, men Transportstyrelsen bör överväga att införa sådana regler och utforma dessa så att även de kan utgöra en basstandard. Allt i syfte att få trafikslagsövergripande likheter i såväl säkerhetsnivå som metodik.

För enkla och likartade tunnlar, som basstandard är tillräckligt för, ska man förutsätta att säkerhetsnivån ligger inom ALARP -området. Därför bör kostnadseffektiva åtgärder alltid övervägas.

Basstandard för respektive trafikslag, enligt tidigare resonemang i avsnitt 5.2 antas hantera och begränsa de frekventa olyckstyperna med enstaka omkomna.

Hur avsteg från basstandard görs – dvs. att byta bort en obligatorisk åtgärd mot andra åtgärder för att uppnå samma säkerhetsnivå – bör beskrivas i respektive regelverk och behandlas inte vidare här.

### 5.3.2 Riskanalys

Kvantitativ riskanalys är metoden för att ta fram en riskkurva som visar måluppfyllnaden när den jämförs med föreslagna acceptanskriterier i F/N-kurvan.

Riskanalysmetoder finns dels generellt beskrivna, dels speciellt för väg- respektive järnvägstunnlar. Vi anser att ingen särskild metodik behöver tas fram.

Avvikande tunnlar, dvs. de som enligt givna kriterier inte är ”normala”, ska analyseras med avseende på säkerhetsnivå. Därefter fattas beslut om behov av tilläggsåtgärder. Figur 32 visar processen.

Analysen genomförs enligt gängse principer för kvantitativ riskanalys. Värderingen av risk sker med stöd av gränsvärden som definierar säkerhetsmålet enligt Figur 31 och åtgärder införs enligt grundprinciper som baseras på risknivå och åtgärdernas kostnads-nyttokvot.

## 5.4 Kostnads-nyttoanalyser

Vid bedömning av om åtgärder ska tillföras, och i så fall vilka åtgärder, görs en bedömning eller beräkning av deras kostnads-nyttoeffektivitet. De med stor nytta i förhållande till kostnaden sett över en längre period ska prioriteras framför de med lägre kostnads-nyttokvot. Följande princip tillämpas:

- Åtgärder ska vara kostnadsnyttiga. För att genomföra kostnads-nyttobedömningar används rapporten [24] Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn, ASEK 5.2, med kostnads-nyttokvoten  $NK > 0$ .



- För risker som ligger i den övre delen av ALARP-området, nära gränsen för det oacceptabla området, kan åtgärder accepteras med negativ kostnads-nyttokvot, dvs.  $NK < 0$ . Åtgärder med  $NK \ll 0$  bör undvikas.

För tunnlar utförda enligt basstandard bör det vara tillräckligt med mer kvalitativa bedömningar. Det kan exempelvis innefatta att erfarenhet inhämtas från tunnlar där mer omfattande kostnads-nyttanalyser genomförts, genom expertbedömningar eller genom att åtgärder från ny teknik och forskning övervägs.

## 6 Diskussion

### 6.1 Förslagets huvuddelar

Förslaget kommenteras här i sina huvuddelar:

- Mål – med kvantitativa riskmått och F/N-kurva
- Process – med klassificering av tunnlar med normal standard
- Kriterier – vid klassificering av tunnlar
- Kostnads-nyttoanalys – för bedömning av åtgärder

Förslaget till säkerhetsmål skulle enligt utgångspunkterna i detta projektarbete helst kunna uttryckas kvantitativt och en modell för beräkning av säkerheten skulle definieras.

Vårt förslag i kapitel 5 baseras på vad som framkommit i föregående kapitel om inventering och analys. Det har kunnat ges en kvantitativ utformning med ett gemensamt mått för de olika trafikslagen. Förslaget ger dock upphov till frågor som behöver diskuteras.

I följande avsnitt diskuterar vi några aspekter på förslaget olika delar.

### 6.2 Mål

Bör säkerhetsmålen harmoniseras mellan trafikslagen? Är det nödvändigt? Är det lämpligt? Trafikslagen är olika på flera sätt. Exempelvis är graden av egen kontroll över resan större i vägtrafiken jämfört med spårbunden trafik.

Typerna av risker skiljer sig även åt mellan trafikslagen.

Förslaget om att undanta händelser med små konsekvenser från det kvantitativa målet kan vara ett sätt att göra de olika trafikslagen mer jämförbara vid en kvantitativ jämförelse.

Är det rimligt att det ska finnas en gräns för risknivån, dvs. hur hög den får vara med kvantitativa mått? Ett krav på ständiga förbättringar och införande av säkerhetsåtgärder med positiv kostnads-nyttokvot kunde väl räcka? Frågan besvaras med nej. Ett argument är att det kan finnas ovanliga tunnelprojekt för vilka den beräknade risken är stor och erforderliga riskreducerande åtgärder inte är kostnadsnyttiga. För dessa projekt behövs en övre gräns för risknivån.

### 6.3 Typer av risker som hanteras

De risker som historiskt har beaktats kvantitativt vid vägtunnlar är trafikolyckor, bränder och olyckor med farligt gods. En mer utförlig inventering av faror, olyckstyper, orsaksexempel och säkerhetsproblem finns i Vägverkets rapport Personsäkerhet i tunnlar [54]. De övriga olyckstyper som nämns där är

- brand och andra fel i driftsutrymmen
- brand i installationer i trafikutrymmet
- brand explosion eller felfunktion i vattenhanteringssystem
- naturolyckor
- sabotage
- översvämning
- externa olyckor.

Traditionellt ingår inte dessa i kvantitativ eller verifierande riskanalys, utan de hanteras genom andra krav.

Trafikolyckorna är normalt den dominerande dödsorsaken i tunnlar, sedan kommer brand och därefter farligt gods. Konsekvensområdena är dock väldigt olika, åtminstone i högtrafikerade tunnlar där många trafikanter kan befinna sig samtidigt. I dessa hamnar konsekvenserna inom 1–9 dödsfall per händelse vad gäller trafikolycka, medan brand antas orsaka upp till 80 dödsfall (enligt modell) och farligt gods-olyckor bedöms kunna ge tusentals dödsfall i stora trafiksystem där detonation kan uppstå. Dessa händelser med extrema konsekvenser har även extremt låg sannolikhet.

Med tanke på att vanliga trafikolyckor är dominerande till antalet olyckor i en tunnelanalys är det tveksamt om det finns någon nytta med att ta med dessa inom ramen för acceptanskriteriet. Dessutom kan man ifrågasätta om dessa verkligen är "tunnelolyckor", enligt de avgränsningar som vi gjort i arbetet, se avsnitt 1.4. Många av de kriterier som används i andra länder gäller från 10 omkomna och uppåt, vilket innebär att trafikolyckor som enskild händelse inte behöver ingå i modellen. Kraven på trafiksäkerhet behöver då ställas med hjälp av andra krav eller typer av kriterier.

Förslaget som vi ger är därför att kriteriet i F/N-diagrammet startar vid cirka 3 omkomna.

Inom järnvägen ser det ut på ett lite annat sätt.

I en olyckskatalog sammanställs de olyckor i driftskedet som kan vara relevanta för järnvägstunnlar. Olyckskatalogen innehåller tänkbara olyckshändelser som kan leda till allvarliga skador eller dödsfall för resande och tågpersonal. Exempel på en olyckskatalog, se Tabell 20.

Tabell 20. Olyckskatalog för järnvägstunnlar [26].

Olyckstyp	Händelse
Brand i fordon	Brand kan uppstå i fordon på stationer, i tunnlar och i anslutning till dessa. Orsaker kan vara elfel, tjuvbroms eller motorbrand. Sabotage och anlagd brand räknas också som en orsak till brand i anläggningen. Om det uppstår brand i persontåg eller godståg, kan även andra tåg påverkas negativt om de kör in i tunneln.
Brand i infrastruktur och installationer	Brand i teknikutrymmen, installationer eller föremål i tunneln, kabel- och skärpbränder.
Urspårning	Persontågs- eller godstågshjul hamnar utanför rälsen. Följdolyckor kan inträffa, såsom kollision och brand.
Kollision	Kollision innebär att två tåg kolliderar med varandra eller att ett tåg kolliderar med någon tung konstruktion belägen i närheten, till exempel en traktorgrävare. Kollisioner kan i värsta fall leda till stora konsekvenser för resenärer.
Farligt godsolyckor	Med farligt gods-olycka avses endast de olyckor där det farliga godset har spridits utanför behållaren. En urspårning utan läckage räknas därmed inte som en farligt gods-olycka. Konsekvenserna begränsas oftast till inom 30–50 meter från utsläppspunkten, men vid stora olyckor som explosioner och gasutsläpp kan personer drabbas hundratals meter från utsläppspunkten.
Personolyckor	Personolyckor antas ha sin grund i att personer vistas för nära spåren och fastnar, kläms eller faller på spår eller i station. Att en person blir påkörd är den vanligaste olyckstypen på järnväg. Orsaker till personpåkörning är oftast plankorsningsolyckor eller att obehöriga befinner sig i spårområdet. Det senare innefattar även självmord.
Elolyckor	Elolyckor kan inträffa vid trasiga installationer eller om obehöriga tar sig in på spårområdet.
Naturolyckor	Naturolyckor som kan utgöra en olycksrisk mot järnvägen är till exempel ras och skred, erosion, översvämning och stormar. Översvämning kan utgöra en risk genom att höga vattenstånd kan underminera banvallen. En tunnel kan även översvämmas vid höga flöden.
Sabotage/terrorism	Sabotage eller terrorism kan orsaka skador på anläggningen som leder till olycka eller direkta skador på person. Det omfattar vitt skilda händelser, till exempel mindre skadegörelse, anlagd brand och större explosioner.
Övrigt	

Typiska olyckshändelser som har en signifikant påverkan på den beräknade personrisken (resande och tågpersonal) är vanligen bränder, kollisioner, urspårningar och kombinationer av dessa.

Den dominerade olycksrisken i järnvägstunnlar för resande och tågpersonal är händelsen med brand i fordon och olyckor med godstrafik där persontåget också kör in i tunneln. Händelser med konsekvensen enstaka omkomna resande förekommer i princip inte, annat än som följd av vissa stora olycksscenarioer där enstaka människor blir kvar i tåg eller tunnel efter en i övrigt lyckligt genomförd utrymning.

Enstaka människor som omkommer på spåret undantas från diskussionen i detta arbete, eftersom de inte betraktas som resenärer.

De största konsekvenserna uppstår vid händelser med extremt liten sannolikhet, olyckor med farligt gods och eskalerande brandhändelser med fullsatta persontåg som tvingats stanna i tunneln.

Situationen för tunnelbanan ser ut på ett liknande sätt som för järnvägen men blandad trafik, gods och persontrafik förekommer inte, om man bortser från transporter med arbetsfordon. En annan skillnad är att stationer förekommer regelmässigt i tunnelbanan och mer undantagsvis i järnvägstunnlar. Stationer under mark är undantagna i detta arbete men de fyller ofta en roll som säker plats i förhållande till de anslutande tunnlar. Betydelsen av att ha en station inom rimligt gångavstånd påverkar tunnelsäkerheten, beräkningsmässigt, praktiskt och möjligen även psykologiskt.

#### **6.4 Mål och riskmått som beslutsstöd**

Vad kan målet uttryckt som kvantitativt riskmått användas till? Föregående avsnitt visar att det är nödvändigt att undanta risker av olika slag vid beräkning av risken. En del säkerhetsåtgärder regleras och hanteras även på annat sätt, av tradition eller genom andra lagkrav.

Den kvantitativa riskanalysen som metod och det kvantitativa riskmålet som mål bör ändå kunna tjäna som stöd för en övergripande bedömning av resenärernas säkerhet vad avser tunnelriskerna och det eventuella behovet av extra riskreducerande åtgärder. Dessutom kan metoden ge underlag för en kostnads-nyttovärdering och prioritering mellan alternativa säkerhetsåtgärder.

Faktum kvarstår: Alla säkerhetsåtgärder låter sig inte fångas upp av riskanalysen som metod. Beslut om dessa måste fattas på annat sätt och stödjas med andra regler. Exempel på detta kan vara vissa utformningsdetaljer, teknik, system eller anpassningsåtgärder för

räddningstjänstens insatser, där man intuitivt inser effekten men inte kan beräkna den.

Så vilka beslut måste stödjas med andra metoder och mål?

Följande exempel utgör områden kopplade till trafikanternas säkerhet som kan behöva regleras på annat sätt än genom det föreslagna riskmålet:

- Säkerhet vid utrymning
- Transporter med farligt gods
- Anordningar och hjälpmedel för räddningstjänstens insatser
- Tunnelns byggnadskonstruktioners integritet vid olyckslastpåverkan
- Terror och sabotageverksamhet
- Suicid
- Skydd för oskyddade trafikanter och spårbedrädanden
- Jordbävning
- Översvämning

För ovanstående risker kan särskilda riskmål, riktvärden eller acceptansgränser behöva utformas. Praxis kan ge vägledning.

Riskmål som det vanligen formuleras baseras på sannolikheten för olyckshändelser med omkomna personer. Man skulle också kunna räkna med andra negativa konsekvenser för människor, men det blir då mer komplicerat och det statistiska underlaget som erfordras för beräkningarna blir mer osäkert. Förslaget till riskmål omfattar därför inte skadade utan endast omkomna.

Vi bedömer att det föreslagna målet och riskmålet kan tjäna som underlag för en bedömning av den övergripande säkerhetsnivån, med beaktande av de risker och hot som måste hanteras särskilt.

## 6.5 Riskacceptans

Flera olika mått för personrisk kan formuleras, baserat på sannolikhet och konsekvens för omkomna personer. Samhällsrisik presenteras gärna, så som i förslaget, i form av F/N-diagram där även acceptansgränser kan anges, vanligen som en övre och en undre gräns till ett ALARP-område. Om den beräknade risken hamnar ovanför den övre gränsen, är risken oacceptabel och åtgärder måste tillföras, oavsett kostnad.

Nytan med acceptansgränser är uppenbar men erfarenheten säger också att det kan uppstå problem, t.ex. om beräkningar visar att man överskrider

acceptansgränsen, medan man intuitivt uppfattar säkerheten i anläggningen som acceptabel. Åtgärderna som måste införas kan vara mycket kostsamma eller omöjliga. Det kan då ligga nära till hands att ifrågasätta acceptkriteriet, beräkningsmetoden, den person som utfört beräkningen eller de bakomliggande historiska olycksdata som använts för beräkningen.

Behöver man då verkligen uttrycka en övre gräns för risken med ett mått, med tanke på svårigheterna som uppstår i ett projekt om denna gräns överskrids? Kan inte säkerheten i stället garanteras med minimikrav på utformning och åtgärder baserade på praxis? Man skulle väl i så fall kunna ha som tilläggskrav och princip att alltid söka förbättringsåtgärder som uppvisar en samhällsekonomisk effektivitet, dvs. enligt principen om ständiga förbättringar? Det skulle också kunna uttryckas som att ALARP-området saknar övre gräns. Man tvingas tillföra K/N-värderade tilläggsåtgärder så länge risken inte ligger under ALARP-områdets nedre gräns.

En övre ”smärtgräns” för beräknad risk bedömer vi ändå som fördelaktigt genom att det stämmer bättre med tanken om ett tydligt mål för säkerheten.

## 6.6 Särbehandling av händelser beroende på storlek

Vanliga händelser med enstaka omkomna respektive osannolika händelser med många omkomna utgör ytterligheter som kanske kan, och bör, hanteras separat och med olika riskmått och kriterier? Om dessa händelser summeras med alla övriga händelser och redovisas i samma riskberäkning, vilket är brukligt, kan problem uppstå med riskkommunikationen och diskussionen kring lämpliga åtgärder. Frågan hänger till viss del ihop med diskussionen kring händelsetyper.

Exempelvis kan vanliga vägtrafikolyckor hanteras med en nollvision om antalet döda i trafiken. Åtgärder av generell karaktär införs successivt över hela vägnätet och målet följs upp genom att trenden i antalet dödsfall registreras. Katastrofolyckorna med många omkomna inträffar däremot sällan eller aldrig och är därför svårare att åtgärda och följa upp med avseende på åtgärdernas effektivitet. Här krävs andra mål och metoder.

## 6.7 Dimensionerande scenario

I föregående avsnitt diskuterade vi katastrofer som del i ett riskspektrum med små och stora händelser. Ett sätt att hantera riskerna är att dimensionera anläggningen och dess skyddssystem. Frågan uppkommer då vilket scenario som är rimligt att anta.

Inte sällan ställs krav på projekten att också mycket sällsynta händelser (worst case) ska vara dimensionerande, även om den beräknade risken ligger inom vad som för projektet definierats som acceptabelt område (ALARP). Åtgärderna är då ofta mycket kostnadskrävande. Här finns de

scenarier som har stora konsekvenser och har diskuterats mycket i projekten men som man oftast inte kan dimensionera för med rimliga medel.

Skulle vi kunna hantera dessa sällsynta scenarier, t.ex. definierade som mindre sannolika än  $10E-6$  eller  $10E-07$ , på ett annat sätt? Kan man till och med få avstå från åtgärder? Eller skulle det innebära att man inte behöver betrakta dessa som dimensionerande? Principen om att undvika katastrofer kan behöva omsättas på annat sätt än genom kvantitativa riskmått.

Kan man, vilket berördes tidigare, på motsvarande sätt bortse från frekventa händelser med enstaka omkomna? Detta gäller särskilt för vägsystemet och här finns metoder för att begränsa dessa.

Vårt förslag till kvantitativt säkerhetsmål i föregående kapitel bygger på att små händelser accepteras med oändlig frekvens och att extremt sällsynta händelser accepteras med oändligt stor konsekvens. Dessa risktyper och händelser förutsätts bli hanterade med en basstandard för tunnelutformningen och med särskilt utformade regler och principer.

## 6.8 Osäkerheter

Osäkerheter behöver beaktas noga vid riskanalys och vid tillämpning av säkerhetsmål (riskvärdering).

Vid beräkning av risk förekommer en mängd osäkerheter som måste hanteras eller accepteras för att resultatet av riskberäkningen ska vara användbart. Vid analyser av detta slag råder ibland brist på relevanta data, behov av att göra antaganden och förenklingar och svårigheter att få fram tillförlitliga uppgifter som dessutom är mer eller mindre osäkra. Ytterligare en väsentlig osäkerhet är kunskapen och skickligheten hos personen som utför riskanalysen. Dessa svårigheter innebär att olika riskanalyser och riskanalytiker ibland kan komma fram till motstridiga resultat på grund av skillnader i antaganden, metoder eller ingångsdata. De som tolkar och använder resultaten av riskanalyser i tunnlar måste vara införstådda med att bland annat osäkerheter inom följande områden inkluderas i resultatet:

- Modell för riskanalys
- Konsekvensbedömningar
- Statistiskt underlag
- Uppskattning av sannolikheter för olika händelser
- Trafikprognoser
- Godsmängder
- Mänskligt beteende i praktiken



- Förändringar i fordon och drivmedel
- Underhållsåtgärder
- Ombyggnader i framtiden
- Hot i omvärlden

Risکانالysen bygger på historiska data och en prognos om framtiden.

Ett exempel ges på den första punkten enligt ovan. Vid de riskanalyser som vi presenterar i kapitel 4 måste man betänka att det inte är den faktiska risknivån som presenteras utan en beräknad risknivå, som är beroende av val av modell. Modellens utförande skulle därmed kunna få stor betydelse för hur olika tunnlar jämförs med varandra eller mot acceptanskriterier. Det vore därför önskvärt att man använder en accepterad modell som kan ta hänsyn till alla de aspekter som behöver analyseras, alternativt att tydliga riktlinjer för hur beräkningsmodeller och beräkningar ska kvalitetssäkras. Men någon sådan modell finns inte i nuläget. Med en modell baserad på öppen källkod eller olåsta beräkningsark skulle i princip en sådan modell kunna skapas, men på bekostnad av flexibilitet, utveckling och möjlighet att anpassa modellen utifrån specifika situationer. Detta är en svår avvägning. Inom andra områden finns omfattande arbete gjort för att ta fram checklistor och rutiner för kvalitetssäkring av riskanalyser [55]. Dessa borde kunna anpassas till och tillämpas på tunnlar. Ett traditionellt sätt att hantera osäkerhet är att utföra känslighets- och osäkerhetsanalys för att uppskatta effekten av osäkerheter på slutresultatet. Detta är en arbetsam uppgift, men en viktig sådan för att beakta osäkerheter som inte går att reducera.

Risikkriterier innebär att tydliga gränser existerar mellan vad som är oacceptabelt, acceptabelt och i stort sett acceptabelt om ytterligare ansträngningar inte bedöms rimliga. Riskanalytiker och användare av resultat från riskanalyser bör inte betrakta dessa kriterier som skarpa avgränsningar, dvs. risikkriterierna måste användas med ett visst mått av sunt förnuft. Till exempel bör en analytiker inte dra slutsatsen att riskreducerande åtgärder är tillräckliga bara för att en studie visar att risken är marginellt lägre än den maximalt tolererbara risknivån, eftersom den verkliga risken kan vara större när man överväger osäkerheten i analysen. Överoptimistiska uppfattningar om noggrannhet och precision av analysen bör inte användas för att motivera att undvika lämpliga åtgärder för att minska riskerna. Tillämpning av ALARP-konceptet bidrar till att system som bara knappt uppfyller risikkriterier fortfarande är föremål för medveten riskreduktion och kontroll i ett försök att ytterligare minska riskerna.

Klok hänsyn till osäkerheten i riskanalys är en viktig aspekt av beslutsfattandet kopplat till risker. Det är tänkvärda ord som formulerades

från Vägtransportinstitutet (VTI) om transport av farligt gods på väg- och järnvägsnätet för mer än tjugo år sedan och tål att upprepas. Om nu riskanalyser är behäftade med alla dessa problem som gör att vi inte på allvar kan begära av dem att de ska ge oss svaret på alla de frågor kring risker och acceptabel risknivå i tunnlar – varför ska vi då spendera tid och pengar på att använda dem? Svaret på denna fråga kräver naturligtvis att man överväger hur man annars går tillväga för att få fram ett beslutsunderlag när det gäller dessa risker. Det finns flera skäl till varför systematiska riskanalyser är att föredra framför andra mer informella eller intuitiva sätt att hantera den stora, men långt ifrån fullständiga, kunskapsmassa som finns beträffande riskerna i tunnlar.

Användning av riskanalysmetoder av den typ som vi i arbetsgruppen har använt i detta projekt innebär att vi har samlat in befintlig kunskap, som vi har strukturerat och sammanställt på ett systematiskt sätt så att kunskapsluckor kan identifieras. Detta medför att analysens förutsättningar kan prövas, ifrågasättas och korrigeras av oberoende. Metoden innebär också att de antaganden och värderingar som ligger till grund för olika skattningar tydliggörs för att undvika missförstånd vid information, diskussion och förhandling mellan beslutsfattare, transportörer och allmänhet. Riskanalyser utgör därigenom ett viktigt led i den demokratiska process som omger transporter i samhället [56].

## 6.9 Självutrymning/självräddning

En frågeställning som ofta förekommit är om möjligheten att sätta sig själv i säkerhet vid en inträffad olycka alltid ska finnas, eller om det täcks in i acceptabel säkerhetsnivå. Frågan kan troligen härledas till byggnader där det sedan flera decennier anges att en byggnad ska utformas så att personer ”vid brand kan lämna det eller räddas på annat sätt”. Skrivning finns nu i kap. 3 krav på byggnadsverk 8 § punkt 4 plan- och byggförordningen (2011:338). För bostadshus innebar det att man antingen kunde säkerställa utrymningsvägar så att personerna själva kunde antas ta sig ut eller att man i vissa fall kunde räkna med att få hjälp av räddningstjänsten via stegar.

När järnvägstunnlar började planeras igen i Sverige på 1990–2000-talet, var diskussionerna intensiva mellan Boverket, Räddningsverket och Banverket. Orsaken låg i avsaknaden av specifika regler för järnvägstunnlar och därmed möjligheten till olika tolkningar. Lite förenklat ansåg Banverket att anläggningen var säker och sannolikheten för olycka liten och därför borde kostsamma investeringar i utrymningsvägar minimeras. Räddningsverket och räddningstjänsterna ansåg att om en olycka ändå inträffade, borde personerna själva kunna ta sig ut. Räddningstjänsten hade ingen kapacitet att rädda många människor inne i en tågtunnel. Resultatet av detta blev i flera projekt att regeringen i sitt beslut om tillåtlighet skrev in i klartext att självutrymning skulle kunna ske.

Trafikverket har nu inskrivet för både väg- och järnvägstunnlar att man ska kunna självutrymma. Detta är också uttryckt som ett kompletterande krav till säkerhetsnivåer. Det är alltså inte möjligt att förbättra någon annan säkerhet i stället för att säkerställa möjligheten att utrymma.

För såväl basstandard som för acceptanskriterier för säkerhetsnivå bör det därför antingen anges att självutrymning kan anses uppfylld utan vidare analys eller att en särskild analys av självutrymning ska ske för bedömning mot ett ytterligare fristående kriterium. Det rimliga bör vara att för de tunnlar man kan tillämpa basstandard bör denna standard anses innefatta åtgärder så att självutrymningskriteriet är uppfyllt. För tunnlar som ska bedömas mot säkerhetsnivåerna krävs omfattande analyser och i dessa kan man som en delmängd visa att självutrymning kan ske.

När man ska visa att självutrymning kan ske finns många påverkande faktorer som kan varieras, exempelvis branden, förflyttningshastighet och rökspridningshastighet samt kriterier för vad personer tål att utsättas för. Hur och var dessa faktorer och kriterier bör bestämmas behandlar vi inte vidare här.

## 6.10 Värdering av samhällsnytta

Vid samhällskostnadsvärderingar i trafikinfrastrukturen och värdering av olyckskostnader refererar Trafikverket till i ASEK [24]. Vi har inte kunnat klarlägga inom ramen för denna rapport huruvida dessa är samordnade med de olyckskostnader för järnvägar som framförs i direktiv 2014/88/EU om gemensamma krav på säkerhet inom järnvägssystemet, CSI, se kapitel 0. Frågan kan behöva hanteras vidare.

Säkerhetsåtgärder kan vara av flera slag och införas vid olika tidpunkter. De kan till exempel vara av typen fasta installationer, organisatoriska åtgärder eller restriktioner och personella insatser under drifttiden eller en kombination av dessa. En del kostnader uppstår vid investeringen och en del uppstår under drifttiden.

Om kostnads-nyttoberäkningen utförs som en del i projekteringsprocessen är sällan dessa kostnadsparametrar fullt kända. Även om investeringskostnaderna kan bedömas, kan driftkostnaderna vara förenade med stora osäkerheter. Exempelvis är Trafikverket restriktivt med att införa nya system i tunnlar, eftersom det är mycket svårt att bedöma livscykelkostnader för system i den aggressiva tunnelmiljön. Skador på ett nytt system kan innebära stora kostnader för stillestånd vid utbyte och för reparation. Kostnader kan även bestå i att bemanna organisationen med kompetent personal som kan hantera systemen.

Säkerhetssystem kan leda till nyttor i form av minskade olyckskostnader, ökad trafikillgänglighet och trygghet. I pågående projekt värderas kostnader

utan riskaversion, men det skulle också kunna vara så att man värderar undvikande av katastrofer högre än undvikande av fler små olyckor. Det riskreducerande värdet av ett statistiskt liv skulle i så fall räknas upp med lämplig faktor, om det är fråga om stora olyckshändelser.

I Trafikverkets effektkatalog [30] finns metoder och normalvärden för att kunna värdera nyttor av åtgärder i ytvägnätet. För tunnlar är det betydligt svårare, eftersom riskanalysen är behäftad med betydligt större osäkerheter. I NordFoU-projektet Evakuering i vegtunneler [57] ges dock exempel på åtgärder och under vilka förutsättningar de kan anses vara kostnadseffektiva.

Eftersom det är praxis vid kvantitativ riskanalys att göra konservativa antaganden tills en mer detaljerad analys ger underlag för mindre konservativa antaganden, skapas en inbyggd övervärdering av den risk som man bedömer kan reduceras med en viss åtgärd. Härigenom kan sägas att nyttoeffekten kan bli övervärderad och leda till oriktigt beslut om införande av en åtgärd. Problemet är inte kvantifierat, men det bör vara en av de olika osäkerheter som kan behöva bedömas vid en kostnads-nyttovärdering av säkerhetsåtgärder.

### **6.11 Riskanalysens många syften**

Riskanalys kan vara metoden för att verifiera att säkerhetsmålet har uppnåtts genom det valda säkerhetskonceptet för tunneln.

Riskanalys kan även

- vara metoden för att inventera och öka kunskapen om risker
- vara metoden för att studera effekten av alternativa säkerhetsåtgärder
- skapa underlag för samråd om säkerhetshöjande åtgärder
- kommunicera risker och förklara säkerhetsarbetet i ett projekt och till sakkunniga granskare av ett projekt
- ge underlag för kostnadsnyttovärderingar av alternativa säkerhetsåtgärder
- stimulera till systematisk hantering av säkerhetsoptimering samt inte minst
- vidmakthålla intresset kring systematiskt säkerhetsarbete.

Riskanalys bör påbörjas i ett tidigt skede av ett projekt för att identifiera potentiella problem och hitta enkla lösningar. Samtidigt finns ofta ett behov av att visa att de föreslagna lösningarna håller måttet och inte medför en risk

som är oacceptabel. Riskanalysarbetet bör därför bedrivas återkommande och detaljeringsgraden öka successivt.

## 6.12 Behov av vidare utredning

Inom följande områden har vi identifierat frågeställningar som inte kunnat lösas inom projektet och där vi föreslår en fortsatt utredning:

- Det föreslagna kvantitativa riskmålet i F/N-diagrammet omfattar inte de risker som ligger utanför, till vänster och till höger, om det föreslagna riskmålet i F/N-diagrammet. Principer och mål bör därför upprättas för hantering av dessa mer frekventa händelser, ofta typiska för respektive trafikslag, respektive för hantering av de mer sällsynta extrema katastrofhändelserna med många omkomna, där andra principer bör gälla. Se även följande punkt.
- Det föreslagna målet baseras på samhällsrisk. En komplettering av acceptanskriteriet med inriktning mot individrisk, förslagsvis formulerat som PLL-tal, skulle kunna utformas specifikt för respektive trafikslag. Syftet skulle vara att ha ett kvantitativt mål som också omfattar riskerna med fåtal omkomna och de med katastrofkonsekvenser, vilka lämnades utanför det ovan föreslagna säkerhetsmålet formulerat med F/N-kurva.
- Det föreslagna målet har konstruerats med stöd av ett antal referenstunnlar. Kompletterande kontroll av beräknad risknivå för typtunnlar utrustade enligt basstandard kan behövas för att säkerställa målets nivå innan det slutligt fastställs.
- Nuvarande regelverk anger att viss andel farligt gods ska kunna transporteras utan särskilda åtgärder i vägtunnlar. Det bör utredas vilka andelar farligt gods som ska kunna accepteras i "normala" vägtunnlar utan krav på särskilda åtgärder eller krav på riskanalyser.
- Basstandard, enligt förslaget, ska baseras på etablerade regelverk för säkerhet i trafikantunnlar. Dessa finns i dag för väg och järnväg men saknas för tunnelbana. För tunnelbana bör det utvecklas en motsvarande basstandard.
- I den mån man kan se en fortsatt utbyggnad av tunnlar för spårväg bör om möjligt även detta trafikslag omfattas av säkerhetsmålen och en studie genomföras för att underbygga en sådan utveckling.

## 7 Slutsatser

Projektet har visat att det är möjligt att formulera ett gemensamt trafikslagsövergripande säkerhetsmål för vägtunnlar, järnvägstunnlar och tunnelbana med en tydlig koppling till samhällsnyttan. Förslaget som vi framför kan formuleras sammanfattande:

Risken vid färd i tunnel för väg, järnväg och tunnelbana ska vara likvärdig, uttryckt som risk att förolyckas per personkilometer.

Riskgraferna för olika genomförda tunnelprojekt avseende berörda trafikslag visar en samlad bild mot detta mål. En jämförelse med hypotetiska tunnlar med minimistandard enligt regelverken ligger inom jämförbara delar också i linje med detta.

Vi har tagit fram ett kvantitativt verifierbart mål, där sannolikhet för dödsfall per personkilometer och acceptanskriterier redovisas i en FN-kurva. En övre kurva representerar maximalt accepterad risk och en undre kurva representerar en risknivå som om den underskrids inte bör föranleda behov av ytterligare åtgärder. Området mellan kurvorna – det så kallade ALARP-området (As Low As Reasonable Practicable) – innebär att risken är acceptabel under förutsättning att möjliga kostnadsnyttiga åtgärder införs.

De samhällsekonomiska konsekvenserna har vi inte särskilt utrett, men de bör vara acceptabla utifrån att kraven ställs med utgångspunkt i gällande regelverk och genomförda projekt. Utvecklingen av de nya EU-reglerna för harmonisering av säkerheten på järnväg bör dock följas upp. Vi ger inga förslag till någon ändring i regelverk eller av nivå i förhållande till nuläget.

Valet av måttet ”antal omkomna per personkilometer” beaktar samhällsnyttan genom att hänsyn tas till de stora personflöden som ofta förekommer i nya anläggningar, samtidigt som måttet är tillämpligt även på enklare anläggningar. Kopplingen till samhällsnyttan är tydlig inom ALARP-området, där kostnads-nyttoanalyser ska göras för att bedöma om ytterligare åtgärder ska vidtas. Det innebär att åtgärdernas säkerhetsvärde får en tydlig koppling till det som eftersträvas, nämligen att skydda människors liv och hälsa avvägt mot samhällets nytta. Samma analyser kan också användas för att välja mest effektiva åtgärd om risknivån ligger över maximalt accepterad risk.

Metodiken och processen som vi föreslår nyttjar existerande regelverk som en basstandard, vilken bedöms ge en risknivå som hamnar inom ALARP-området. Kostnads-nyttoanalysen kan för dessa tunnlar vara kvalitativ. Det gör att enklare tunnlar inte belastas med ytterligare utredningsbehov. För de tunnlar där basstandard inte är tillräckligt ska en riskanalys genomföras.

Metodik för riskanalyser finns och används praktiskt i dag inom tunnelprojekten. Arbetsgruppen bedömer att de fungerar tillfredsställande och kan användas för att redovisa måttet på risknivån. För kostnadsnyttovärdering inom ALARP-området kan såväl enklare kvalitativa metoder tillämpas som mer avancerade beräkningsmodeller baserade på samhällskostnadsvärderingar med nyckeltal och värderingsparametrar enligt ASEK.

Vi föreslår en avgränsning av det föreslagna måttet för säkerhetsmål avseende frekventa olyckor med enstaka omkomna respektive extremt osannolika händelser med många omkomna. De frekventa händelserna med enstaka omkomna skiljer sig markant mellan trafikslagen, både vad gäller frekvens och åtgärder för att begränsa dessa. Olyckstyper med enstaka omkomna bedöms av arbetsgruppen inte heller vara typiska ”tunnelolyckor”. Här bör det finnas underlag för att ställa specifika krav och mål för respektive trafikslag. Bästa åtgärd är heller inte nödvändigtvis en tunnelanläggningsåtgärd utan i stället en generell trafikslagsspecifik åtgärd, till exempel bilbälte. För extremt osannolika händelser med fler än 300–500 döda ger analysen inte tillräckligt underlag att bestämma risknivå. För denna typ av olyckor kan också störtande flygplan, jordbävning, terrorhandlingar eller andra osannolika händelser bli signifikanta. En möjlighet att omfatta även dessa händelser med ett kvantitativt mål kan vara att etablera individriskmål baserade på PLL-tal. Metoden blir likvärdig för trafikslagen och omfattar alla typer av händelser men målet blir trafikslagsspecifikt. Vi har diskuterat saken men har inte utrett vidare.

Vi bedömer att effekten av vårt förslag är att

- säkerheten optimeras, oavsett trafikslag, mot transportnyttan genom valet av riskmått
- införande av säkerhetsåtgärder optimeras mot kostnadsnyttan (ALARP)
- nyttjande av befintligt regelverk, metodik och process minimerar kostnaden för införandet.

Risken som trafikanterna exponeras för vid transport i en tunnel ska inte jämföras med eller förväxlas med den som tredje man exponeras för på grund av transporter. Olika principer för acceptans gäller och vårt uppdrag inskränker sig att behandla trafikanternas risker.

Slutligen och sammanfattningsvis anser vi att förslaget befrämjar riskanalysteknik som stöd för en fortsatt utveckling inom området tunnelsäkerhet genom en förståelse för hur risker uppkommer och hur de ska hanteras. Dessutom skapar förslaget en grund för bedömning av

säkerhetsåtgärders kostnadseffektivitet och optimering. Arbetet med kvantitativa mål med tydlig koppling till samhällsekonomin ger underlag för samråd med myndigheter och beslut baserade på rationella faktorer.



## 8 Referenser

- [1] P. Vedin, "Projektspecifikation. Säkerhetsmål för trafikanter i väg- och spårtunnlar", Transportstyrelsen, 2015-03-05.
- [2] "Risk Management - vocabulary, Guide 73:2009", ISO, 2009.
- [3] "Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards", ISO, 1999.
- [4] P. & B. M. Thoft-Christensen, "Structural Reliability and Its Applications", Springer Verlag, Berlin, 1982.
- [5] DNV - Det Norske Veritas, "Värdering av Risk - FoU rapport", Statens Räddningsverk, Karlstad, 1997.
- [6] PIARC, Current practice for risk evaluation for road tunnels, PIARC Committee C4 Road Tunnel Operation, 2012.
- [7] John Spouge et al, "Harmonised Risk Acceptance Criteria for Transport of Dangerous Goods", DNV-GL, 2014.
- [8] J. Malmtorp, J. Lundin och P. Vedin, "Personsäkerhet i vägtunnlar – förslag till säkerhetsmål, publikation nr 2014:124", Trafikverket, 2014.
- [9] A. I. o. C. Engineers, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York, 1989.
- [10] Energistyrelsen, "Uncertainty in quantitative risk analysis - Vejledning", EFP96, nr 1313/93-0016, 1996.
- [11] M. Paté-Cornell, "Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment", Reliability Engineering and System Safety, vol. Vol 54, 1996.
- [12] S. F. H. & H. K. Magnusson, "Fire Safety Design Based on Calculations: Uncertainty Analysis and Safety Verification", 1995.
- [13] "Mål för transporter och infrastruktur", 25 September 2014. [Online]. Available: [www.regeringen.se](http://www.regeringen.se). [Använd 24 Mars 2015].
- [14] "Transportpolitiska måloppfyllelse - Nuläge och förväntad utveckling, Trafikverket 2015:209", Trafikverket.

- [15] Lag (2006:418) om säkerhet i vägtunnlar, Sveriges Riksdag, Ändrad: t.o.m. SFS 2014:741.
- [16] Förordning (2006:421) om säkerhet i vägtunnlar, Näringsdepartementet RS T, Ändrad: t.o.m. SFS 2015:430.
- [17] Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar, TSFS 2015:27, Transportstyrelsen, 2015.
- [18] "Europaparlamentets och rådets direktiv 2004/54/EG av den 29 april 2004 om minimikrav för säkerhet i tunnlar som ingår i det transeuropeiska vägnätet", EU.
- [19] "Riskanalytmetoder, Delprojekt 2.2, bilaga till regeringsuppdraget Personssäkerhet i tunnlar", Boverket, 2005.
- [20] "TRVK Tunnel 11, Trafikverkets tekniska krav Tunnel, TRV publ nr 2011:087", Trafikverket, 2011.
- [21] "TRVR Tunnel 11, Trafikverkets tekniska råd Tunnel, TRV publ nr 2011:087", Trafikverket, 2011.
- [22] "Boverkets föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar, BFS 2007:11, BVT1", Boverket, Karlskrona.
- [23] "CSM-RA-förordningen (402/2013/EG) om gemensamma säkerhetsmetoder", EU.
- [24] Arbetsgruppen för samhällsekonomiska analysmetoder inom transportsektorn (ASEK), "Samällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5.2", Trafikverket, 2015.
- [25] "KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) nr 1303/2014 av den 18 november 2014 om teknisk specifikation för driftskompatibilitet (TSD) avseende "säkerhet i järnvägstunnlar" i järnvägssystemet i Europeiska unionen", EU.
- [26] Banverket, Personssäkerhet i järnvägstunnlar, Trafikverket, 2007-01-01.
- [27] P. Strömgren, S. Berg, A.-K. Ekman och K. Bergström, "Tunnlars Framkomlighet och säkerhet," Movea och Ramböll, Stockholm, 2015.
- [28] Statens vegvesen, "Studies on Norwegian Road Tunnels II, An analysis on traffic accidents in road tunnels 2001-2006, Rapport nr: TS4-2009", Statens vegvesen, Roads and Traffic Depart, 2009.

- [29] PIARC, "Fire and Smoke Control in Road Tunnels", 1999.
- [30] Trafikverket, "Effektsamband för transportsystemet, Fyrstegsprincipen, Steg 3 och 4, Bygg om eller bygg nytt, Kapitel 6 Trafiksäkerhet," Trafikverket 2014-04-01, 2014.
- [31] "Vägtrafikskador 2013, Statistik 2014:8", Trafikanalys, 2014.
- [32] Trafikanalys, "Bantrafikskador 2014", Trafikanalys.
- [33] Patrik Hult, "Riskanalys Ringen och Yttre tvärleden FAS 6 - huvudrapport", Södra länken konsulterna, Stockholm, 1995.
- [34] Länsstyrelsen, Stockholms Brandförsvär, Polismyndigheten i Stockholm, Stockholms Gat- och Fastighetskontor samt Vägverket Region Stockholm, "Avsiktsförklaring avseende transporter med farligt gods genom Stockholm", Vägverket Region Stockholm, Stockholm, 1998.
- [35] J. Malmtorp, J. Lundin, P. Lundman och P. Vedin, "Safety in road tunnels - Safety Target Proposal", i *ISTSS 2016*, 2016.
- [36] SCC- Södra länken Konsulterna mfl, "Riskanalys, Explosionsrisker i Ringens tunnlar, Bakgrund till val av dimensionerande explosionslast, RAP0073", Vägverket, 1996.
- [37] "Farligt gods transporter på Ringen, Utredning alternativa sprinklerlösningar som kan ersätta eskortverksamhet, RAP 0155", Vägverket, 1996-04-15.
- [38] "Farligt gods transporter på Ringen, En jämförelse mellan eskortverksamhet och sprinklerinstallation, RAP 0156", Vägverket, 1996-04-15.
- [39] A. Brodin, A. B. Eriksson, M. Engdahl och J. Greisz, "Typlösningar för Ringen, Funktionsanalys, Slutrapport RAP0057", Vägverket, 1994.
- [40] L. Antonsson, "Sprinklerutredning, fördelar och nackdelar, dok nr OS140005", Vägverket, Norra Länken gemensamt, 2004.
- [41] L. Antonsson, "Sprinklerutredning etapp 2 - kostnad och nytta", Vägverket Norra länken Gemensamt, Stockholm, 2006.
- [42] B. Mattsson, "Bör Norra länken sprinklas?", 2009-04-06.
- [43] G. Nygren, "Besluts PM Säkerhetskoncept, dok nr OS148202", Trafikverket Förbifart Stockholm, 2011.

- [44] "Säkerhetspolicy, Mål och Kriterier för Botniabanan, 2000:002", Banverket, 2000.
- [45] "PM Västlänkens mål och ambitionsnivå - personsäkerhet. Tillhör systemhandling 2014-12-01", Trafikverket.
- [46] Det Norske Veritas, "Farligt Gods på Botniabanan, Etapp 2. Värdering av säkerhetshöjande åtgärder, Umeå och Örnsköldsvik. 2000.007", Botniabanan, 2000.
- [47] Relcon, "Appendix 11, Kostnadsnyttoanalys av säkerhetsåtgärder i Botniabanans tunnlar", Botniabanan AB, 2000.
- [48] "Utredningsrapport helautomatisk drift på röda linjen, SL 2014-2374", Trafikförvaltningen, Stockholms Läns Landsting, Stockholm, 2016.
- [49] L. Antonsson, "Riskanalys för driftskedet, Bränder i fordon och farligt gods", Trafikverket, Förbifart Stockholm, 2010-04-15.
- [50] E. Hällstorp, "Riskanalys, Trafik, Brand och Farligt gods, dok nr OS080501", Trafikverket, Norra länken, Stockholm, 2015.
- [51] N.-P. Høj och M. Schubert, "Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels, Rapportnummer 156", Statens Vegvesen, 2012.
- [52] Trafikverket, "Dimensionerande brandeffektkurvor i persontåg. Rapport 2014:057", Trafikverket.
- [53] "Säkerhetsvärdering Strängnästunneln projekt Strängnäs-Härad", Trafikverket, 2014-07-14.
- [54] Det Norske Veritas AB, "Personsäkerhet i tunnlar, slutrapport preliminär version", Vägverket, 1999.
- [55] Räddningsverket, Handbok för riskanalys, 2003.
- [56] "Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg", Väg- och transportforskningsinstitutet (VTI), 1994.
- [57] N.-P. Høj, R. Brandt, K. Appel och M. Martens, "Evakuering i Vegtuneler", NordFoU, 2014.

## Övriga referenser

- [58] A. Engebretsen och F. H. Amundsen, "Trafikkulykker i Vegtunneler 2, En analyse av trafikkulykker i vegtunneler på riksvegnettet for perioden 2001 – 2006", Statens Vegvesen, 2008.
- [59] FOI, "Bedömning av konsekvenser ved vådautsläpp av farliga ämnen i biltunnlar", FOI, 2009.
- [60] A. Land, Interviewee, Vägverkets informationssystem för trafiksäkerhet (VITS) - Statens Väg- och Transportforskningsinstitut. [Intervju]. 27 05 2003.
- [61] H. Ingason, A. Bergqvist, A. Lönnermark, H. Frantzich och B. Hasselrot, "Räddningsinsatser i vägtunnlar", Statens Räddningsverk SRV, 2005.
- [62] Länsstyrelsen, "Riskområden för skred, ras, erosion och översvämning i Stockholms län - för dagens och framtidens klimat", Länsstyrelsen i Stockholms län, 2011.
- [63] S. & G. B. Kaplan, "On the Quantitative Definition of Risk", Risk Analysis, vol. Vol. 1, nr No. 1, 1981.
- [64] MSB, "ADR-S, Föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng MSBFS 2012:6", Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Karlstad, 2012.
- [65] "Farligt gods, riskbedömning vid transport", Statens Räddningsverk, 1996.
- [66] "Kategorisering av Norra Länkens tunnelsystem för kommande väg E20 mellan Norrtull och Värtan i Stockholms län", Länsstyrelsen i Stockholms län, Stockholm, 2013.
- [67] Krav för Vägars och gators utformning, version 2, Publikation 2015:086, Trafikverket, 2015.
- [68] Krav och råd för överdäckning och säkerhet vid användning, Trafikverket, 2014.
- [69] Risk Analysis for road tunnels, report 2008R2, PIARC Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operation, 2008.
- [70] "Sikkerhetskonsept for vegtunneler, Rapport nr 3:2004, Utvalg 32: Broer og tunneler, undergruppe tunneler", Nordisk Vegteknisk Forbund, 2004.

- [71] Tunnel 2004, VV publikation 2004:124, Borlänge: Vägverket, 2004.
- [72] Vägars och gators utformning, version 2, Begrepp och grundvärden, Publikation 2015:090, Trafikverket, 2015.
- [73] "Yttrande till Arbetsplan enligt Väglagen för E4/E20 Tomtebodå - Haga Södra", Länsstyrelsen i Stockholms län, 2010.
- [74] L. Antonsson, "Branskyddsbeskrivning, Handling 8.1, Rev D", Vägverket Norra länken K6 Gemensamt, Stockholm, 2008.
- [75] A. Brodin och U. Lundström, "Säkerhetshöjande åtgärder vid tät trafik i Norra länken", Vägverket, 2010.
- [76] J. Gehandler, H. Ingason, A. Lönnermark, H. Frantzich och M. Strömgren, "Funktionsbaserade krav och rekommendationer för brandsäkerhet i vägtunnlar (FKR-BV12)", SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 2012.
- [77] E. Hällstorp, "Explosionsskyddsdocument, Tunnelavlopp och Eugeniåmagasinet, Uppsåmling av brännbar vätska, dok. nr. 3S140001", Trafikverket, E4/E20 Tomtebodå-Haga Södra, , Stockholm, 2012.
- [78] E. Hällstorp, "Riskutredning och Klassning, Explosionsfarliga områden i VA-anläggning", Trafikverket, Norra länken Gemensamt, Stockholm, 2013.

## **Bilaga - Jämförande analys nya tunnelbanan**





## Innehåll

<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>METODBESKRIVNING .....</b>	<b>2</b>
2.1	Allmänt .....	2
2.2	Systemdefinition.....	3
2.3	Identifiering och klassificering av riskkällor.....	3
2.4	Risikanalys och värdering.....	4
2.4.1	Inledning .....	4
2.4.2	Val av referenssystem.....	4
2.4.3	Risikfaktorer/förutsättningar .....	4
2.4.4	Jämförelse med referenstunnel.....	5
2.5	Risikvärdering .....	11
2.5.1	Resultatsammanställning och slutsatser.....	11

## 1 Inledning

Jämförelse mot referenssystem är en av tre principer som anges i CSM-RA<sup>1</sup> för att värdera om riskerna med ett system kan accepteras. I detta kapitel presenteras en metod för en sådan jämförelse, där riskerna i en ny tunnel jämförs med en befintlig.

Metoden innebär att en jämförelse av riskfaktorer och förutsättningar utförs mellan de olika systemen för att avgöra om riskerna i det nya systemet kan bedömas vara acceptabla och om referenssystemets säkerhetsvärdering och säkerhetskoncept därmed kan användas för det nya systemet som projekteras.

Referenssystemet skall ha en dokumenterad godtagbar säkerhetsnivå. Risker som accepterats i referenssystemet är därmed också acceptabla i det nya systemet som riskvärderas.

## 2 Metodbeskrivning

### 2.1 Allmänt

Samtliga aktiviteter i CSM RA innefattas när en jämförelse med ett referenssystem genomförs för att utvärdera om riskerna kan accepteras d.v.s.:

1. Preliminär systemdefinition
2. Bedömning om det är en väsentlig ändring (varje ny tunnel innebär en väsentlig förändring)
3. Systemdefinition
4. Identifiering och klassificering av riskkällor
  - Vid riskidentifieringen tas en olyckskatalog fram som visar vilka risker som finns i systemet
  - Utifrån olyckskatalogen genomförs en grovriskanalys för att avgöra om riskkällan är kritisk och om den är allmän accepterad.
5. Riskanalys och värdering:

---

<sup>1</sup> EU förordningen (352/2009/EG) som ersätts av förordningen (EU) 402/2013 benämns CSM-RA (Gemensamma säkerhetsmetoder för riskvärdering och riskbedömning).

- Här bestäms vilken av de tre metoderna (se nedan) som kommer att användas för att värdera och hantera risker som är kritiska och ej allmänt acceptabla.
- Tre principer finns att välja på:
  - Vedertagen praxis. Risker anses kontrollerade och acceptabla genom att systemets utformning följer praxis. Exempel på vedertagen praxis är TSD, ISO-, EN-standard och anmälda nationella regler.
  - Jämförelse med referenssystem (beskrivs närmare i detta kapitel)
  - Uttrycklig riskuppskattning.
- Riskvärdering
  - Jämförelse med kriterier och kontroll om risken är acceptabel

6. Säkerhetskrav (d.v.s. de säkerhetsåtgärder som ska införas)

7. Påvisande av att säkerhetskraven är uppfyllda

Utöver ovanstående aktiviteter så finns det två tillkommande aktiviteter som ska hanteras parallellt med aktivitet 1-7.

- Hantering av riskkällor(listor över riskkällor)
- Oberoende bedömning

## 2.2 Systemdefinition

Jämförd sträcka utgår från typsträcka för nya tunnelbanan som är en ca 2 kilometer lång sträcka med dubbelspårstunnel och servicetunnel, sträckan innehåller också en växel. Tunneln avslutas i båda ändar av en station som antas utgöra säker plats.

## 2.3 Identifiering och klassificering av riskkällor

Utifrån riskkällorna ska en olyckskatalog tas fram. Därefter klassificeras olyckshändelserna. De som bedöms relevanta, med stöd av grovriskanalys, ska hanteras vidare i nästa steg.

## 2.4 Riskanalys och värdering

### 2.4.1 Inledning

### 2.4.2 Val av referenssystem

Referenssystem utgör av sträckan på Citybanan mellan Station City och Station Odenplan. Sträckan är ca 2 kilometer dubbelspårstunnel med servicetunnel.

### 2.4.3 Riskfaktorer/förutsättningar

Riskfaktorer/förutsättningar som har betydelse för risknivån för resande och tågpersonal identifieras för de olika systemen. Utgångspunkten för tunnel som värderas är systembeskrivningen d.v.s. hur anläggningarna kommer att byggas och drifas.

För referenstunneln används lämpligen genomförd säkerhetsvärdering som underlag.

Riskfaktorer och förutsättningar har grupperats i följande huvudgrupper:

- Tunnel
- Omgivning
- Banan
- Trafik och resande
- Rullande materiel
- Organisation
- Räddningstjänstinsats
- Övrigt

Riskfaktorerna/förutsättningarna som gäller för referenstunneln och värderad tunnel anges.

Kravet är att den värderade tunnelns riskfaktorer ska vara ”lika bra eller bättre” jämfört med referenstunneln. Utfallet av jämförelsen ska redovisas i en rapport.
---

#### 2.4.4 Jämförelse med referenstunnel

En kvalitativ jämförelse sker därefter mellan systemen. Skillnader mellan system graderas enligt följande:

<b>Risikfaktor (skala)</b>	<b>Kommentar</b>
Lägre riskfaktor +	Värderad tunnel har en lägre riskfaktor än referenstunneln
Ingen märkbar skillnad	Ingen skillnad mellan värderad tunneln som jämförs och referenstunneln
Högre riskfaktor –	Värderad tunnel har en högre riskfaktor än referenstunneln
Väsentligt högre riskfaktor --	Värderad tunnel har ännu högre riskfaktor än referenstunneln

Upplägg av jämförelsen, se tabell nedan, där skillnader anges mot referenstunneln.

	Risikfaktorer/ förutsättningar	Hjälpstext	Referenstunnel	Värderad tunnel	Skillnad	Kommentar
A	<b>Tunnel</b>					
	Tunnellängd	Korta tunnlar är säkrare än långa tunnlar. Det beror på att tunnel-mynningar är en säkrare utrymningsväg samt att längre tunnlar innebär större sannolikhet att olyckan sker inne i tunneln jämfört om tunneln var kortare.	Sträckan mellan Station Odenplan och Station City är ca 2 kilometer lång och slutar med station som säker plats	En typsträcka inom nya tunnelbanan är ca 2 kilometer mellan två stationer där stationen utgör säker plats i båda ändar.	Sammantaget likvärdigt.	
	Utrymning	Brandsäkerheten bedöms högre i dubbelspårstunnlar jämfört med enkelspårstunnlar i och med att utrymnet i tunneln är större. I enkelspårstunnlar har utrymmande mindre utrymme i bredd (exklusive gångbanor) att röra sig mot nöd-utgångarna, samtidigt får brandgas-spridningen ett snabbare förlopp eftersom tunnelns tvärsnittsvolym är mindre. Olycksrisken för att två fordon ska kollidera är mindre i enkelspårstunnlar jämfört med dubbelspårstunnlar. Sammantaget bedöms säkerheten i dubbelspårstunnlar vara högre än i enkelspårstunnlar. Med kortare avstånd mellan utrymningsvägarna i en enkelspårstunnel så kan brand-säkerheten komma upp i samma nivå som i en dubbelspårstunnel.	Dubbelspårstunnel. Utrymningsanalys har gjorts utrymning klaras i >95% av fallen.	Dubbelspårstunnel. Utrymningsanalys har gjorts och utrymning klaras i >95 av fallen	Sammantaget likvärdigt, citybanan visar något bättre resultat pga större normalsektion.	
	Servicetunnlar/ serviceschakt/ parallell spårstunnel	Koncepten avseende utrymning via servicetunnel och serviceschakt skiljer sig åt men bedöms vara likvärdiga. Både servicetunnel och serviceschakt utgör säker plats. I serviceschakt kan det krävas en	servicetunnel	servicetunnel	I stort sett liknande koncept. Längre avstånd mellan infarter i	

	Risikfaktorer/ förutsättningar	Hjälptext	Referenstunnel	Värderad tunnel	Skillnad	Kommentar
		något större fysisk ansträngning för att komma vidare ut till det fria eftersom utrymning sker via trappschakt (hissar installeras för svaga och funktionshindrade). I servicetunneln finns inga trappor men det kan antas att vidare utrymning till det fria kommer att ta längre tid eftersom servicetunnlar ofta omfattar långa sträckor av tunnlar eller kortare sträckor med stor lutning.			tunnelbanan.	
	Krökning, lutning i spårtunnel	I järnvägtunnel för enbart persontåg tillåts max 3% och i tunnelbanan max 4,5 %. Tågens prestanda, bromsar etc anpassas till kraven.	Systemet går nästan på max gällande lutningar/kurvor mm.	Systemet går nästan på max gällande lutningar/kurvor mm.	Brandspridningsmässigt är en skillnad på 1,5% nästan försumbart i förhållande till andra faktorer.	
<b>C</b>	<b>Banan</b>					
	Hastigheter, persontåg och godståg	Tågens hastighet är en faktor som påverkar hur stora konsekvenserna blir av en urspårning och kollision i tunneln.	80 km/h	90 km/h	Tunnelbanan har något högre maxhastighet skillnaden bedöms marginell.	
	Spårkapacitet i tunneln	Hög spårkapacitet med liten trafik-mängd är mest gynnsamt.	hög	Nyttjar mindre än hälften av kapaciteten pga att linjerna delar sig	Citybanan nyttjar i princip maxkapacitet medan tunnelbanan på en typsträcka av nya linjen endast nyttjar hälften då linjen delar sig	Använd kvoten av max tågpar/h och antal fordon per dygn som jämförelsetal.

	Risikfaktorer/ förutsättningar	Hjälptext	Referenstunnel	Värderad tunnel	Skillnad	Kommentar
	Växlar och stoppsignaler		finns	finns	likvärdigt	.
	Signalsystem (ATC/ERTMS)				Tunnelbanans blå linje använder ett äldre signalsystem medan järnvägen använder ett nyare signalsystem med ATC. I stort sett är systemen likvärdiga säkerhetsmässigt och båda uppfyller SIL-klass 4. Vissa skillnader finns dock som att på blå linjen är det möjligt att passera stoppsignal i låg hastighet.	
D	Trafik och resande					Trafikjämförelsen sker vid samma årtal eller när utvärderad tunneln har en fullt utvecklad trafik.
	Antal resande och persontåg				Citybanan har högre snitt baserat	



	Risikfaktorer/ förutsättningar	Hjälp text	Referenstunnel	Värderad tunnel	Skillnad	Kommentar
	per dygn				på att det är ett centralt snitt. Osäkerheter finns dock i hur Stockholm byggs ut vilket gör det svårt att värdera.	
	Maximalt antal personer i tunneln	Ett lågt värde på maxantal personer som kan förväntas i tunneln är gynnsamt.			Citybanan har 1836 personer som maximalt antal per tåg, tunnelbanans maxkapacitet är 1200 per tåg.	Kan vara ett överfullt fordon eller fullt fordon, men kan även vara ett överfullt fordon och ett halvfullt fordon.
E	<b>Rullande materiel</b>					
	Fordonstyper, persontåg	Motorvagnståg är gynnsammare än lokdragna persontåg. Nya fordon är gynnsammare än äldre fordon.	Helt moderna motorvagnståg	Helt moderna motorvagnståg	I princip bedöms fordonen vara likvärdiga med tänkt trafikering.	
F	<b>Organisation</b>					
	Driftlednings-central	Uppbyggnad av driftlednings-centralen, Två driftlednings-centraler är sämre än en. Sämre om driften är uppdelat mellan tunnel/station. Mindre skillnader om det endast tar 30 sekunder längre tid att erhålla högtalarutrop med två stycken			Citybanan är uppdelad på fler ledningscentraler med delat ansvar mellan TRV och	

	<b>Risikfaktorer/ förutsättningar</b>	<b>Hjälptext</b>	<b>Referenstunnel</b>	<b>Värderad tunnel</b>	<b>Skillnad</b>	<b>Kommentar</b>
		driftlednings-centraler.			TF. Inom tunnelbanan ansvarar TF för driftledningscentraler	

## 2.5 Riskvärdering

### 2.5.1 Resultatsammanställning och slutsatser

Jämförelsen sammanfattas i nedanstående tabell där skillnaderna mellan värderad tunnel och referenstunneln anges.

Tabell 1 Sammanställning av jämförande analys Nya tunnelbanan – Citybanan.

Risikfaktorer/förutsättningar	Lägre riskfaktor +	Ingen märkbar skillnad	Högre riskfaktor -	Ännu högre riskfaktor --
Tunnel [A]				
Omgivningen [B]	Bedöms ej			
Banan [C]				
Trafik och resande [D]				
Rullande materiel [E]				
Organisation [F]				
Räddningstjänstinsatsen [G]	Bedöms ej			
Övrigt [H]	Bedöms ej			

Resultatet från jämförelsen är att risknivåer och förutsättningar kan antas vara liknande med den ovan beskrivna utformningen av tunnelbanan.

Största skillnaderna mellan systemen är Citybanan utgör en central sträcka med tät trafik medan utbyggnaden utgör en del i systemets ytterkanter. Stockholmsregionens utveckling gör också att förutsättningar avseende antal resenärer mm är en stor osäkerhet i för ett sådant centralt kollektivtrafiksystem.

Vidare så är tunnelbanan ett isolerat system, till skillnad från Citybanan som är en del av hela järnvägssystemet, vilket gör att trafikledning och trafikstyrning kan antas vara enklare. Sammantaget bedöms dessa skillnader mellan systemen dock ha en relativt liten påverkan på den totala risknivån.

Anläggningens utformning tillsammans med sannolikheten för olyckor är relativt lika vilket ger störst resultatpåverkan. Sammantaget bedöms det troligt att tunnelbanan, med dess nuvarande säkerhetskoncept, kan anses uppfylla en liknande säkerhetsnivå som Citybanan gör.

©Transportstyrelsen

Väg- och järnvägsavdelningen  
Enhet teknik och trafik

Rapporten finns tillgänglig på Transportstyrelsens webbplats  
[www.transportstyrelsen.se](http://www.transportstyrelsen.se)

Dnr/Beteckning	TSG 2016-1621
Författare	Johan Häggström, WSP Sverige AB Bo Wahlström, Brandskyddslaget AB Oskar Jansson, RiskTec Projektledning AB Patrik Hult, HPH Projekt AB Johan Lundin, WSP Sverige AB Erik Hällstorp, WSP Sverige AB
Månad År	Maj 2016

Eftertryck tillåts med angivande av källa.