

Säkerhetstänkande vid projektering av komplexa infrastruktursystem

Fallstudier av tre svenska järnvägstunnelprojekt

Björn Sundin
Mattias Svanström

Department of Fire Safety Engineering and
Systems Safety
Lund University, Sweden

Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5233, Lund 2007

Säkerhetstänkande vid projektering av komplexa infrastruktursystem

– fallstudier av tre svenska järnvägstunnelprojekt –

**Björn Sundin
Mattias Svanström**

Lund 2007

Titel/title:

Säkerhetstänkande vid projektering av komplexa infrastruktursystem – *fallstudier av tre svenska järnvägstunnelprojekt.*

Safety philosophy in the layout design of complex infrastructures – *case studies of three Swedish railway tunnel projects.*

Författare/authors:

Björn Sundin

Mattias Svanström

Report: 5233

ISSN: 1492-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5233--SE

Number of pages: 117

Keywords

Complexity, interdependencies, infrastructure, system, railway tunnel, risk analysis, resilience, anticipation, normal accidents, layout design of railway systems, vulnerability, robustness.

Sökord

Komplexitet, beroenden, infrastruktur, system, järnvägstunnel, riskanalys, resiliens, antecipation, normala olyckor, järnvägsprojektering, sårbarhet, robusthet.

Abstract

The aim of this master thesis is both to investigate how risk analyses in the layout design phase of railway tunnel projects today are done and to advise how the safety thinking of complex infrastructures could be improved in the future. The thesis is based on case studies of three Swedish railway tunnel projects in Göteborg, Malmö and Stockholm. The thesis is limited to examine sudden risk scenarios and particularly risk management in the operational phase. Economic aspects are only discussed qualitatively. Input to the case study has been collected throughout studies of literature, documents and interviews. One major conclusion is that risk scenarios that have been analyzed in the layout design of railway tunnels are generally concerning direct and local strains on the system. There is a reason to believe that system boundaries are specified too narrow, hence failing to identify important risk scenarios.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2007.

Avdelningen för Brandteknik och
Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60

Department of Fire Safety Engineering
and Systems Safety
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60

SAMMANFATTNING

Järnvägen står idag inför nya utmaningar eftersom det börjar bli ont om mark i många städer och järnvägens kapacitet behöver ökas. Resultatet är ett flertal stora och mycket avancerade järnvägstunnelprojekt. Dessa projekt är till sin natur mycket komplexa på så sätt att det finns många beroenden mellan systemens olika element och mellan system och omgivning. Detta kan delvis öka robustheten i systemet men samtidigt innebära en extra känslighet för oförutsägbara påfrestningar. Komplexiteten bidrar till att de *traditionella* riskhanteringsmetoderna inte nödvändigtvis är tillräckliga för att kunna identifiera de relevanta riskscenarierna. Detta examensarbete syftar till att kartlägga hur man arbetar med riskanalyser i järnvägstunnelprojektering idag samt att ge förslag på hur säkerhetstänkandet vid komplexa infrastruktursystem kan förbättras och utvecklas i framtiden.

Av speciellt intresse i studien är analys av vilken hänsyn som idag tas till transportsystemets totala sårbarhet i samband med större påfrestningar vid projektering av järnvägstunnelsystem. När det gäller transportsystemets totala sårbarhet vid större påfrestningar är det nämligen inte säkert att det är systemens *lokala* egenskaper som är av störst betydelse, utan snarare dess *globala* egenskaper. Det lokala systemet kan då ses som en mindre del av ett större system, samtidigt som säkerheten i en järnvägstunnel är beroende av systemelement som inte behöver vara direkt tunnelspecifika. Detta, tillsammans med den höga komplexiteten, ställer således nya krav på riskhanteringsarbetet vid projektering av järnvägstunnelsystemen.

Huvuddelen av examensarbetet består av fallstudier av tre pågående järnvägstunnelprojekt i Sverige: Västlänken i Göteborg, Citytunneln i Malmö och Citybanan i Stockholm. Genom fallstudierna har författarna försökt beskriva hur man arbetar med denna typ av frågor idag. Kartläggningen utgår från frågorna *när, varför* och *hur* riskanalyser utförs i praktiken vid projektering av järnvägstunnlar. Förslaget på förbättringar och utveckling för framtida projektering av komplexa infrastruktursystem baseras till stor del på teorier kring komplexa system.

Studien avgränsas till att endast behandla *plötsliga* riskscenarier, inte över tid spridda risker, såsom miljöförstöring eller liknande. Analysen avgränsas också till att huvudsakligen behandla riskhantering i driftskedet och inte i byggskedet. Resonemang kring ekonomiska aspekter förs endast kvalitativt.

Som vetenskaplig teknik har litteraturstudier, dokumentstudier och intervjuer använts. Litteraturstudien har spånt över relativt stora ämnesområden, såsom teorier för komplexa system och kritisk infrastruktur. En genomgång av den relevanta lagstiftningen inom järnvägstunnelområdet har också gjorts. Dokumentstudien bygger på riskanalyser och andra dokument som rör säkerhet i fallstudieobjekten. Intervjuerna har gjorts med personer ansvariga för riskfrågor inom fallstudieobjekten.

Resultatet från kartläggningen av dagens riskhanteringsarbete för driftskedet vid projektering av järnvägstunnlar har författarna försökt lyfta upp och generalisera. Detta formuleras enligt följande slutsatser:

- *De krav som finns på att utföra riskanalyser i samband med järnvägstunnelprojektering är i huvudsak interna – antingen inom Banverket eller inom projektet.*
- *Det finns ett allmänt risk- och säkerhetstänkande i samtliga skeden vid projektering av järnvägstunnlar. Detta utmynnar dock inte alltid i riskanalyser.*

- *Identifiering av riskscenarier genomförs vid järnvägstunnelprojektering genom brainstorming; användningen av tidigare gjorda riskanalyser från andra järnvägstunnelprojekt utgör ett väsentligt underlag.*
- *De analyserade riskscenarierna vid projektering av järnvägstunnelsystem rör i första hand direkta och lokala påfrestningar på systemet. Det finns skäl att tro att avgränsningar görs för snävt så att betydelsefulla riskscenarier inte identifieras.*
- *Det har på senare tid skett en viss breddning av perspektivet på vad riskhantering av tunnelsystem kan innebära: fokus är i de fallen inte endast riktat mot direkta hot mot tunnel-säkerheten, man analyserar även andra faktorer som genom beroenden kan påverka robustheten i systemet.*

Resultat från fallstudier och litteraturstudie har utmynnat i följande förslag till hur säkerhetstänkandet vid projektering av komplexa infrastruktursystem kan förbättras och utvecklas:

- *Det krävs tydlighet och noggrannhet när systemavgränsningar definieras och det analyserade systemet beskrivs vid projektering av komplexa infrastruktursystem. Det är viktigt med explicita resonemang och motiveringar kring hur systemavgränsningar sätts och varför vid utförandet av riskanalyser. Man bör exempelvis resonera om systemavgränsningen gör att vissa riskscenarier inte identifieras.*
- *Det är av stor vikt att kartlägga beroenden mellan systemelement inom systemet och mellan system och omgivning, dvs. att analysera hur systemelementen kan påverka varandra eller omgivningen och vice versa. Detta kan bidra till förhindrandet av spridning av påfrestningar på ett oförutsägbart och okontrollerbart sätt som dessa beroenden annars kan leda till.*
- *Vid projektering av komplexa infrastruktursystem är det viktigt att systemet inte optimeras för hårt: genom att tillåta spelrum mellan olika beroenden skapar man en högre robusthet i systemet och minskar sannolikheten för stora olyckor. Saknas spelrum mellan systemelement kan nämligen påfrestningar snabbt och okontrollerat sprida sig genom systemet. Ett exempel på ett sådant spelrum kan vara tidsintervallet mellan två tåg.*
- *I komplexa system är det av stor vikt att tidigt i projekteringen se till att en inneboende säkerhet i systemet byggs in, snarare än att i efterhand lägga till redundanser och/eller riskreducerande åtgärder.*

En ökad medvetenhet om de särskilda förutsättningar som föreligger i samband med komplexa infrastruktursystem kan bidra till att den höga säkerhet som järnvägen idag står för kan bibehållas, även med dessa nya avancerade tunnelsystem – som i sig medför fantastiska möjligheter för städernas fortsatta utveckling.

SUMMARY

The railway industry today is facing new problems, due to less unoccupied space around cities, and the capacity of the railway traffic needs to increase. A couple of major and advanced railway tunnels are therefore being built. These types of projects are, due to its nature, very complex with several relations between the system and different elements, but also between the system and its surroundings. This could partially increase the robustness of the system, but also cause additional sensitivity towards unpredictable strains. The complexity implies that *traditional* risk management methods are not necessarily sufficient to identify all relevant risk scenarios. This thesis aims to provide an understanding of risk analyses in railway tunnel projects today, moreover to suggest how the safety thinking of complex infrastructure could be improved in the future.

Of special interest in this thesis is the exploration of how the safety management in railway tunnel projects is operated today; considering vulnerability of the entire transportation system due to major stresses.

Regarding the overall vulnerability of a transportation system and its major stresses, it is not always the *local* attributes of a system that are the most interesting, but rather the *global* attributes. A local system can be seen as a small part of a larger system and the safety in the railway tunnel is at the same time dependent on system elements which do not have to be specific for the tunnel itself. This, together with major complexity, results in new demands in the risk management when designing railway tunnels.

The main part of this thesis consists of a case study of three on-going railway tunnel projects in Sweden: Västlänken in Göteborg, Citytunneln in Malmö and Citybanan in Stockholm. The case study has shown how this type of questions is handled today. The main questions are *when*, *why*, and *how* risk analyses are done when designing railway tunnels. Suggestions of further improvements of the complex infrastructures are predominantly based on theory of complex systems.

The thesis is limited to examine sudden risks scenarios, i.e. not scenarios spread over a long period of time such as environmental pollutions. The focus is upon the operational phase of a tunnel project and not the building phase. Economic aspects are only discussed qualitatively.

The scientific technique in this thesis has been studies of literature, documents and interviews. The study of the literature has covered a considerable amount of subject areas, such as complex systems theory and critical infrastructure. Furthermore, a compilation of the most important legislation considering railway tunnel design has been completed. These studies include risk analyses and other documents concerning safety thinking in the three cases. The interviews have been done with persons responsible for risk management in the case studies.

The results from investigating the risk management procedures of the operational phase in the layout design of railway tunnels has been raised to a higher level and generalized to the following conclusions:

- *The demands for risk analyses related to the layout design of railway tunnels are predominantly internal – either within Banverket (the Swedish authority of railways) or within the specific project.*
- *There is generally an awareness of risk and safety throughout all phases of the design of railway tunnels. This awareness does not always generate risk analyses.*
- *Risk scenarios are frequently identified by brainstorming methods in the layout design of railway tunnels, using previously done risk analyses as an essential groundwork.*
- *The risk scenarios that are analyzed in the early phases of railway tunnel projects are mostly concerning direct and local strains to the system. There is substantial evidence to believe that systems are specified too narrow, hence failing to identify important risk scenarios.*
- *The perspective of what risk management of railway tunnel systems can imply has lately, to some extent, grown wider. The focus is in these cases not only on threats against the safety in tunnels; other factors that can affect the robustness of the system through interdependencies are also included.*

Results from the case studies, in conjunction with the literature study, has led to the following suggestions of future improvements to the safety thinking in the layout design of complex infrastructure systems:

- *Clarity and carefulness is required when system boundaries are set and when describing the layout design of complex infrastructure systems. It is important to explicitly state the reasoning that is based on rational and thorough arguments, to verify how and why a system is specified in a certain manner. For example, it is important to discuss how the system boundaries affect what risk scenarios that can be identified.*
- *It is of great importance to map interdependencies between elements in a system and also between a system and its surroundings. This would contribute to the prevention of strains propagating in an unpredictable and uncontrollable manner that would otherwise be the result of those interdependencies.*
- *It is significant not to optimize a system too much in one direction. By allowing a slack between different interdependencies, a higher level of robustness is created in the system and the possibility of large accidents thereby decreases. If there is not enough slack between systems elements, strains can propagate fast and in an uncontrollable manner throughout the system, this could be exemplified by the decreasing time intervals between train departures that could inflict accidents.*
- *It is essential to incorporate inherent safety in the early layout design phase of a complex infrastructure system, rather than to include additional redundancies and safety measures afterwards.*

An increased awareness of the particular pre-requisites that emerge from complex infrastructure systems can contribute to maintain the high level of safety today associated with the railway even in new, advanced tunnel systems – that per se brings fantastic opportunities for the ongoing expansion of the cities.

FÖRORD

Föreliggande examensarbete utgör uppstarten till ett forskningsprojekt där Banverket är uppdragsgivare. Projektet som helhet syftar till att öka kunskapen om hur riskhanteringsprocessen inom järnvägstunnelprojektering ser ut idag. Eftersom transportsystem och övriga infrastruktursystem länkas samman i allt högre grad, kommer denna kunskap att vara värdefull. Kunskapen kan nämligen ge oss möjlighet att behålla en fungerande och robust infrastruktur och därmed i förlängningen också ett fungerande och robust samhälle.

Vi skulle nedan vilja tacka de personer som vi varit i kontakt med under arbetets gång och som gjort detta examensarbete möjligt.

Ett stort tack riktas till våra handledare Henrik Johansson och Kurt Petersen, vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, LTH, för att ha bidragit med vägledning, värdefulla kommentarer och behövlig hjälp.

Vi vill också passa på att tacka Erik Lindberg på Banverket (Borlänge) som svarat på frågor som vi haft och bistått med behövligt material.

Dessutom vill vi rikta ett tack till våra kontaktpersoner från respektive projekt: Carina Wänglund (Citybanan), Arne Brodin (Citybanan och Citytunneln), Per Åkesson (Citytunneln), Per Rosquist (Banverket, Göteborg) och Bo W Lindgren (Västlänken) för att de ställt upp på intervju samt försett oss med underlag för respektive fallstudie.

Till sist vill vi tacka Mattias Strömgren (Räddningsverket, Karlstad) som svarat på frågor via e-post.

Björn Sundin

Mattias Svanström

Lund, september 2007.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	3
1.3	Frågeställningar.....	3
1.4	Målgrupp.....	3
1.5	Avgränsningar.....	3
1.6	Begreppsbeskrivningar.....	3
1.6.1	Begrepp.....	4
1.6.2	Förkortningar.....	5
1.7	Rapportens disposition.....	6
2	Metod.....	7
2.1	Vetenskapligt perspektiv.....	7
2.2	Vetenskaplig metod.....	7
2.3	Vetenskaplig teknik.....	8
2.3.1	Litteraturstudier.....	8
2.3.2	Dokumentstudier.....	8
2.3.3	Intervjuer.....	8
2.3.4	Reliabilitet och validitet.....	8
2.4	Praktiskt tillvägagångssätt.....	9
3	System, komplexitet och infrastruktur.....	10
3.1	Systemsyn.....	10
3.2	Komplexitet.....	12
3.2.1	Människan och komplexitet.....	13
3.2.2	Normala olyckor.....	15
3.2.3	Självorganiserande system.....	16
3.2.4	Feedback.....	17
3.2.5	På gränsen mot kaos.....	18
3.3	Ett exempel från verkligheten.....	19
3.4	Kritisk infrastruktur och beroenden.....	21
3.4.1	Interdependens.....	21
3.4.2	Analys av beroenden.....	22
3.4.3	Feltyper inom interdependent infrastruktur.....	23

3.4.4	Hot mot infrastrukturen	23
4	Systemsyn och riskhantering.....	25
4.1	Riskscenarier	25
4.2	Konsekvensrymden.....	28
4.3	Sårbarhet.....	28
4.4	Resiliens och Antecipation.....	29
5	Järnvägsprojektering	33
5.1	Planeringsprocessen.....	33
5.1.1	Idéskede.....	34
5.1.2	Förstudie	34
5.1.3	Järnvägsutredning	35
5.1.4	Järnvägsplan.....	35
5.1.5	Tillåtenhetsprövning.....	35
5.2	Lagstiftning och Regelverk.....	35
5.2.1	Lag (1995:1649) om byggande av järnväg med förordning	36
5.2.2	Järnvägslagen (2004:519) med förordning	37
5.2.3	Förordning (1998:1392) med instruktion för Banverket.....	37
5.2.4	Plan- och bygglagen, PBL (1987:10).....	37
5.2.5	Lag (1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m., BVL, med förordning, BVF.....	38
5.2.6	Boverkets Konstruktionsregler, BKR.....	38
5.2.7	Boverkets Byggregler, BBR.....	38
5.2.8	Lag (2003:778) om skydd mot olyckor, LSO med förordning.....	38
5.2.9	Lag (2006:263) om transport av farligt gods med förordning.....	38
5.2.10	Förordning (1988:1040) med instruktion för Statens räddningsverk	39
5.2.11	Miljöbalken (1998:808).....	39
5.2.12	Verksförordning (1995:1322)	39
5.2.13	Förordning (2002:472) om åtgärder för fredstida krishantering och höjd beredskap	39
5.3	Banverkets interna krav	40
5.3.1	BV Tunnel (BVS 585.40).....	40
5.3.2	Säkerhet i Järnvägstunnlar – Handbok för analys och värdering av personsäkerhet i järnvägstunnlar (BVH 585.30)	40
5.3.3	Robusthets- och säkerhetsaspekter i järnvägsplanering (BVH 806.7) ...	40
5.4	Myndigheternas olika roller.....	40

6	Fallstudier	43
6.1	Fallstudiefrågor	43
6.1.1	Orienterade frågor	43
6.1.2	Systemrelaterade frågor	44
6.2	Beskrivning av fallstudieobjekten.....	44
6.2.1	Göteborg.....	44
6.2.2	Malmö.....	45
6.2.3	Stockholm	46
6.3	Riskarbetets roll i projekten	47
6.3.1	Riskanalysens roll i delprojekt Göteborg.....	48
6.3.2	Riskanalysens roll i delprojekt Malmö	48
6.3.3	Riskanalysens roll i delprojekt Stockholm.....	49
6.4	Referensram för systemrelaterade frågor i fallstudie.....	51
6.4.1	Beskrivning av system	51
6.4.2	Beskrivning av påfrestningar på system.....	53
6.5	Från referensram avvikande resultat för delfallstudie Göteborg.....	55
6.5.1	Beskrivning av system	56
6.5.2	Beskrivning av påfrestningar på system.....	56
6.6	Från referensram avvikande resultat för delfallstudie Malmö	58
6.6.1	Beskrivning av system	58
6.6.2	Beskrivning av påfrestningar på system.....	60
6.7	Från referensram avvikande resultat för delfallstudie Stockholm.....	63
6.7.1	Beskrivning av system	63
6.7.2	Beskrivning av påfrestningar på system.....	65
7	Sammanställning av fallstudie.....	68
7.1	När och varför riskanalyser utförs vid projektering av järnvägstunnlar.....	68
7.2	Hur riskanalyser utförs vid projektering av järnvägstunnlar	69
7.2.1	Systembeskrivning	69
7.2.2	Påfrestningar på systemet	70
8	Diskussion	73
8.1	Studiens reliabilitet och validitet.....	73
8.2	Synpunkter på systemtänkande och riskhantering i fallstudierna.....	73
8.2.1	Systemsyn.....	73
8.2.2	Beroenden	74

8.2.3	Risکانالیزر و ریسکسناناریومدن	75
8.2.4	Risکریڈوسرینگ.....	77
8.2.5	Övriga noteringar.....	78
9	Slutsatser	79
9.1	Projektering av järnvägstunnelsystem idag	79
9.2	Förslag på utveckling av säkerhetstänkandet vid projektering av komplexa infrastruktursystem.....	80
10	Referenser.....	82
10.1	Litteratur	82
10.2	Intervjuer	84
10.3	Fallstudiedokument.....	84
10.3.1	Göteborg	84
10.3.2	Malmö	85
10.3.3	Stockholm.....	86
Bilaga A – Resultat, Fallstudie		89
Systemelement i fallstudier		89
Göteborg.....		89
Malmö		90
10.3.4 Stockholm.....		91
Tillståndsvariabler		92
Göteborg.....		92
Malmö		92
Stockholm.....		93
Beroenden		94
Göteborg.....		94
Malmö		94
Stockholm.....		95
Initierande händelser		96
Göteborg.....		96
Malmö		98
Stockholm.....		100
Feltyper.....		103
Göteborg.....		103
Malmö		103
Stockholm.....		103

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Antalet beroenden inom och mellan olika infrastruktursystem ökar ständigt vilket har lett till att även små störningar inom exempelvis transportsystemen även kan komma att påverka andra samhällsviktiga system (Little, 2002). Transportsystemen har kommit att få mycket stor betydelse för samhällets välbefinnande och utveckling. Utvecklingen av den elektroniska kommunikationen har inte, som man från början trodde, lett till ett minskat antal personliga möten utan snarare tvärt om: resandet ökar, både nationellt och internationellt (Thedéen, 2003), varför även riskhanteringens betydelse inom transportsystemen torde öka.

I detta examensarbete kommer fokus att ligga på hur risker hanteras vid järnvägsprojektering. Järnväg är och har länge varit ett mycket säkert transportsystem, trots att konsekvenserna av en olycka ofta kan bli mycket allvarliga. Riskanalyser i samband med järnvägsprojektering har utförts – mer eller mindre omfattande och mer eller mindre explicit – ända sedan järnvägens begynnelse, dvs. för ungefär 150 år sedan. Då var det inte ovanligt med allvarliga järnvägsolyckor, framförallt i form av kollisioner mellan tåg (Thedéen, 2003).

För att minska olyckorna började man därför att försöka minska sannolikheten för olyckor: dels genom att separera spåren så att tågen endast gick åt ett håll på en sträcka, dels genom att införa signalsystem. Men detta löste inte alla problem. Det hände fortfarande både att lokförarna begick misstag och att andra oförutsedda händelser inträffade varför man dessutom började arbeta för att minska konsekvenserna efter en olycka, t.ex. genom byggandet av passagerarvagnar av stål istället för trä för att skydda passagerarna vid en eventuell olycka (Elms, 2001).

Genom åren har säkerhetsarbetet kontinuerligt fortsatt vilket fått riskbilden för tågresenärer att generellt minska. Den största innovationen de senaste åren är förmodligen att det på många linjer införts automatiskt tågstopp och hastighetskontroll, ATC (Automatic Train Control). Dessutom har säkerhetsrutinerna kring tågtrafikstyrningen i stort skärpts (Andersson, 2003). Sammantaget är säkerheten kring järnvägen idag därför mycket hög. Att färdas i ett modernt tåg i 200 km/h är faktiskt säkrare än det var att färdas i endast 40 km/h under järnvägens barndom (Banverket, 2004).

Vissa problemområden inom järnvägssäkerheten kvarstår dock, främst i form av framförhoppningar (dvs. då människor medvetet kastar sig framför tåget), påkörning av personer som obehörigt befinner sig inom spårområdet samt olyckor i plankorsningar mellan väg och järnväg. Banverket jobbar långsiktigt för att minska dessa olyckstyper (Banverket, 2004).

Tack vare ett kontinuerligt säkerhetsarbete är järnvägssäkerheten idag mycket hög i förhållande till övriga transportsystem. Andersson (2003) menar att säkerheten för tågresenärer idag är så hög att det, åtminstone statistiskt sett, faktiskt är svårt att göra ytterligare stora förbättringar av järnvägssäkerheten; det är dessutom poänglöst att i nuläget öka säkerheten i det redan säkra järnvägssystemet eftersom det förmodligen skulle bli så dyrt och restriktivt att ingen skulle vilja utnyttja det.

Järnvägen står emellertid för nya utmaningar. Eftersom det börjar bli ont om mark i många städer och då järnvägens kapacitet behöver ökas är ett flertal stora och mycket

avancerade tunnelprojekt i antågande. Dessa tunnlar kan starkt bidra till järnvägens fortsatta konkurrenskraft gentemot vägtrafiken eftersom järnvägstransporterna med tunnarnas hjälp förväntas bli snabbare, pålitligare och enklare. Tunnlarna kan öka järnvägens tillgänglighet och få fler människor att välja tåget i stället för bilen eller flyget. Detta ligger dessutom helt i linje med den pågående miljödebatten som bland annat höjt kraven på att det miljövänliga resandet måste öka, något som en mer tillgänglig och punktlig tågtrafik definitivt kan bidra till.

Järnvägens nya utmaningar innebär att saker och ting förändras. De nya långa och avancerade järnvägstunnlarna med tillhörande undermarksstationer är en förändring för järnvägssystemet som innebär en ny riskbild: både under byggandet och under driften. Riskhanteringsrollen och betydelse blir därför mycket uppenbar i dessa fall. Samtidigt kan man inte vara säker på att de ”traditionella” riskhanteringsmetoderna som används vid järnvägsprojektering är tillräckliga. De avancerade tunnelprojekten är nämligen mycket komplexa, dvs. det finns många beroenden mellan systemens olika element och mellan system och omgivning, vilket delvis kan öka robustheten men samtidigt innebära en extra känslighet för oförutsägbara påfrestningar (Carlson & Doyle, 2002; Koubatis & Schönberger, 2005). Ökad komplexitet kan innebära att det inte längre räcker med att låta riskanalysen behandla det lokala systemets egenskaper. Det lokala systemet kan nämligen alltid ses som en mindre del av ett större system. En påfrestning – såväl liten som stor – på det lokala systemet kan därför sprida sig till det större systemet och i värsta fall eskalera och få hela systemet att kollapsa (Ellis, 1998; Rasmussen & Svedung, 2000).

När det gäller transportsystemens sårbarhet vid kriser och svåra påfrestningar är det därför inte säkert att det är systemens *lokala* egenskaper som är av störst betydelse, utan snarare systemets *globala* egenskaper. Säkerheten i en järnvägstunnel är beroende av systemelement som inte behöver vara tunnelspecifika, exempelvis trafikstyrningssystem, enkel- eller dubbelspår, fordon m.m. Detta gäller även systemelement som är placerade på långt avstånd från tunneln: varmgångsdetektorer (se kapitel 1.6.1) kan exempelvis ha stor betydelse för säkerheten inne i tunneln (Boverket, 2005).

Det krävs således en helhetssyn för att kunna åstadkomma en riskanalys som speglar verklighetens riskbild i dagens och framtidens sammanlänkade komplexa transportsystem. Av den anledningen är det relevant att utreda vilka systemavgränsningar som idag används i riskanalyser av järnvägstunnlar, samt vilka typer av riskscenarier som beaktas i analyserna. En annan viktig aspekt i frågan gäller optimering av säkerheten vid projektering av transportsystem: det är viktigt att ha en helhetssyn vid projektering av transportsystemen för att undvika att resurserna läggs på fel ställen. Denna helhetssyn bör därför även Banverket förmedla till övriga aktörer, exempelvis räddningstjänsten och Räddningsverket, för att ge förståelse varför ett visst säkerhetskoncept valts.

Myndigheternas olika roller skiljer sig åt genom att de har olika ansvarsområden mellan varandra och mellan andra aktörer i samhället vilket lett till att problem i vissa fall har uppstått. Boverket (2005) framhäver att myndigheter, på grund av skillnad i ansvar, rollfördelning och kompetensfördelning men också kultur- och kommunikationsproblem, ibland inte har kunnat enas om en gemensam syn på riskvärderingen och riskhanteringen vid projektering av järnvägstunnlar.

Problem orsakade av de skilda rollerna har uppstått framförallt mellan Banverket och Räddningstjänsten. Problemen har ofta handlat om skillnad i synen på vilket avstånd

till utrymningsvägar som är rimligt i tunneln. Skillnaden grundar sig i att de olika myndigheterna har olika ansvar- och intressenivåer vilket bidrar till skillnader i respektive myndighets systemsyn.

1.2 Syfte

Examensarbetet har två övergripande syften: dels att, utifrån fallstudier av tre pågående järnvägstunnelprojekt i Sverige: Västlänken i Göteborg, Citytunneln i Malmö och Citybanan i Stockholm, göra en kartläggning av hur riskanalyser och beslutsfattandet i riskfrågor idag genomförs vid projekteringen, dels att, utifrån resultatet av fallstudier och litteraturstudier, ge förslag på hur risktänkandet vid projektering av komplexa infrastruktursystem kan förbättras och utvecklas i framtiden.

Av speciellt intresse i studien är analys av vilken hänsyn som vid projekteringar av järnvägstunnelsystem idag tas till transportsystemets totala sårbarhet i samband med större påfrestningar

1.3 Frågeställningar

Med utgångspunkt i ovanstående beskrivning av problematiken kring den ökade komplexiteten inom järnvägstrafiken har tre övergripande frågeställningar tagits fram vilka kommer att utgöra kärnan i detta examensarbete. Frågeställningarna formuleras som *när*, *varför* och *hur* riskanalyser utförs vid projektering av järnvägstunnlar.

Den första frågan om *när* riskanalyser utförs förväntas främst ge svar på i vilka skeden i projekteringen som riskanalyser utförs samt vilka kriterier som avgör om en riskanalys ska utföras. Den andra frågan om *varför* riskanalyser utförs förväntas främst ge svar på vilket syfte riskanalyserna har och hur riskanalyserna används i praktiken.

Den sista frågan om *hur* riskanalyser utförs är givetvis den mest omfattande och utgör en av de största bitarna i examensarbetet. Frågan förväntas ge svar på hur detaljerad systemmodellen av verkligheten är i riskanalyserna – vilket även ger svar på vilka systemavgränsningar som brukar sättas samt vilka riskscenarier som normalt beaktas i riskanalyserna. Dessutom utreds på vilket sätt riskscenarierna beaktas.

1.4 Målgrupp

Målgrupp för detta examensarbete är först och främst Banverket tillsammans med övriga aktörer som är involverade i järnvägstunnelprojektering. Studenter och övriga personer som är intresserade av ämnet manas också att ta del av rapporten.

1.5 Avgränsningar

Fallstudierna avgränsas till att omfatta tre svenska järnvägstunnelprojekt. Det är i första hand ”plötsliga” risker som analyseras, inte över tid spridda risker, såsom miljöförstöring eller liknande. Analysen avgränsas också till att huvudsakligen behandla riskhanteringen i driftskedet och inte i byggskedet. Resonemang kring ekonomiska aspekter förs endast kvalitativt.

1.6 Begreppsbeskrivningar

Nedan presenteras begrepp och förkortningar som förekommer i rapporten vilka kräver mer ingående förklaring.

1.6.1 Begrepp

<i>Fjärrblockering</i>	Ett effektivt sätt att styra järnvägstrafiken på. Signalsystem och växlar styrs av fjärrblockeringscentraler. Ersätter lokaltågklarare, dvs. person som styr tågtrafiken.
<i>Kryssväxel</i>	Utformning av järnvägsräls som möjliggör för tåget att skifta spår.
<i>Kvalitativ riskanalys</i>	En analysmodell som utgår mer utifrån kvalitativa resonemang om riskerna och konsekvenserna av händelser.
<i>Kvantitativ riskanalys</i>	En utförlig riskanalysmodell där sannolikheter för att en händelse ska inträffa vävs in och jämförs mot acceptanskriterier.
<i>Redundans</i>	Egenskap att motstå påfrestningar. Kan utgöras av olika parallella system eller reservkraft: dvs. extra komponenter utöver de som finns för att upprätthålla normal funktion.
<i>Resiliens</i>	Förmågan för någonting att återta sin naturliga och normala form, efter att varit utsatt för någon slags påfrestning. I ett samhällsperspektiv betyder således resiliens förmågan att återuppta och hämta sig efter en händelse eller katastrof.
<i>Risk</i>	Med risk menas i denna rapport en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens för en oönskad händelse.
<i>Riskhanteringsprocessen</i>	Omfattar alla delar av riskhantering; riskanalys, riskvärdering och riskreduktion/kontroll (IEC, 1995).
<i>Riskscenariorymden</i>	Samtliga riskscenarier i ett visst system skapar en riskscenariorymd för systemet.
<i>Robusthet</i>	En parameter som har en viss fördelning som mäter hur motståndskraftig ett system är för påfrestningar av olika slag.
<i>Semikvantitativ riskanalys</i>	En kombination av kvantitativa och kvalitativa riskanalysmetoder.
<i>Tjuvbroms</i>	Utmed rälsen placerade detektorer som ska larma om eventuell broms ligger an. Larm avges till tågklarare om så är fallet.
<i>Tågklarare</i>	Tjänsteman vars uppgift är att leda tågtrafiken och övervaka tågrörelser.
<i>Urspårningsräler</i>	Utformning av järnvägsräls som förhindrar urspårning.

Varmgångsdetektorer

Utmed rälsen placerade detektorer som indikerar om tågets lagertemperatur är för hög. Larm avges till tågklarerare om så är fallet.

1.6.2 Förkortningar

ALARP

As Low As Reasonably Possible. Anger området mellan acceptabel och oacceptabel risk. Risker ska minskas så långt det är försvarbart.

ATC

Automatic Train Control. Detta är ett system som griper in om tåget håller för hög hastighet eller passerar signal vid stopp. Ansvaret för underhåll och drift för ATC ligger för banan hos Banverket och för fordon hos respektive trafikföretag.

BBR

Boverkets Byggregler.

BKR

Boverkets konstruktionsregler.

BVF

Byggnadsverksförordningen.

BVH

Banverks-handbok.

BVS

Banverksstandard.

DLC

Driftledningscentral. Innefattar trafikledning, bandriftledning och SÖK (Styr Övervakning Kontroll), vilket är en funktion för säkerhet.

FAGO

Farligt gods.

FMEA

Failure Mode and Effect Analysis. Metod för att identifiera fel, orsaker och effekt.

HOT

Highly Optimized Tolerance

ITV

InternTV. Detta är ett system med kameror på stationer och i tunnlar och med central bevakning av monitorer.

LSO

Lag om skydd mot olyckor.

MIR

Modul för Identifiering av Risker.

MKB

Miljökonsekvensbeskrivning.

MTR

Mass Transit Railway. Företaget som driver Hong Kong's tunnelbana.

PBL

Plan- och Bygglagen.

SCADA

Supervision Control And Data Acquisition. Är ett övergripande system för övervakning, kontroll och styrning av olika säkerhetssystem och tekniska system.

SITS

Säkerhet i Tekniska System och Funktioner.

SRVFS

Statens räddningsverks författarsamling.

TSD Transeuropeiska järnvägsnätet.

TSI Technical Specification for Interoperability.

1.7 Rapportens disposition

Rapporten inleds med en beskrivning av den metod och tillvägagångssätt som använts vid upprättandet av detta examensarbete. Därefter ges en beskrivning av den bakomliggande teorin som finns och som utgör grunden till examensarbetet.

Sedan följer en beskrivning av järnvägsprojekterings olika faser, de lagar och interna krav som finns, samt en beskrivning av de medverkande myndigheternas olika roller vid järnvägsprojektering.

Därefter redovisas fallstudien som utgör rapportens huvuddel. Fallstudiens upplägg är att utifrån en referensram beskriva vad som är gemensamt för samtliga delfallstudier. Därefter redovisas, för varje delprojekt, avvikande resultat utifrån fallstudiens frågeställningar. Resultatet av fallstudierna presenteras till stor del i tabellform.

I det följande kapitlet redovisas en sammanställning av fallstudien med syftet att göra resultatet tydligare.

Slutligen presenteras ett diskussionsavsnitt följt av ett slutsatskapitel.

2 METOD

En stor del av detta examensarbete har ett deskriptivt syfte; tanken är att genom fallstudier beskriva när, varför och hur riskanalyser idag utförs vid järnvägstunnelprojektering. Eftersom de avancerade järnvägstunnelprojekten som nu är aktuella i storstadsregionerna kan anses vara särskilt intressanta ur risksynpunkt kommer fallstudierna göras på sådana projekt.

Fallstudierna bygger huvudsakligen på dokumentstudier samt intervjuer. Med detta som grund – tillsammans med litteraturstudier inom systemteori, kritisk infrastruktur, lagstiftning och annan relevant litteratur – är förhoppningen att kunna bidra till förståelse för hur riskanalyser inom järnvägsprojektering idag används i praktiken.

2.1 Vetenskapligt perspektiv

Verkligheten kan betraktas utifrån olika perspektiv vilka kan vara mer eller mindre lämpade för olika typer av studier. Backman (2006) nämner två olika vetenskapliga perspektiv: det traditionella och det kvalitativa. I det traditionella perspektivet betraktas verkligheten som objektiv, i större eller mindre omfattning. För forskaren handlar det således om att som utomstående observera och mäta en verklighet såsom den ser ut. Med det kvalitativa perspektivet betraktas verkligheten istället som en individuell, social och kulturell konstruktion snarare än att vara en objektiv företeelse: intresset riktas mot att undersöka hur individen tolkar och formar den omgivande verkligheten tillskillnad mot att försöka göra en ren objektiv beskrivning av den.

Vilket vetenskapligt perspektiv som föreliggande studie tar i anspråk är dock inte entydigt. Å ena sidan kan man säga att examensarbetet har ett kvalitativt förhållnings-sätt. Det huvudsakliga syftet med studien är att studera när, varför och hur riskanalyser utförs vid projektering av järnvägstunnlar – vilket emellertid oundvikligen blir påverkat av Banverkets perspektiv på saken, även om objektivitet eftersträvas. Å andra sidan kan man säga att studien utförs genom att på ett rent objektivt sätt betrakta Banverkets syn på riskhanteringsprocessen inom järnvägstunnelprojektering.

Det viktiga i sammanhanget torde emellertid inte vara att strikt precisera vilket perspektiv som utnyttjas utan snarare att under arbetets gång reflektera över vilket perspektiv som föreligger i den aktuella situationen. I examensarbetet kommer nämligen en kombination av det traditionella och det kvalitativa förhållningssättet att brukas. Att vara medveten om perspektivet för en viss situation torde öka studiens trovärdighet.

2.2 Vetenskaplig metod

Fallstudier kommer att utgöra den grundläggande vetenskapliga metoden i detta examensarbete. Fallstudier, rätt genomförda, innebär att genom noggrant studerande av ett mindre antal verkliga fall av en större helhet, kan slutsatser om helheten dras (Ejvegård, 2003).

I examensarbetet görs tre olika fallstudier, samtliga med en deskriptiv ansats. Det huvudsakliga syftet med fallstudierna är att för varje fall beskriva när, varför och hur riskanalyser görs i järnvägsprojektering.

2.3 Vetenskaplig teknik

Det sätt på vilket material till en studie samlas in brukar benämnas vetenskaplig teknik (Ejvegård, 2003). I detta examensarbete har den vetenskapliga tekniken utgjorts av litteraturstudier, dokumentstudier samt intervjuer från de olika projekten. För att resultatet av en vetenskaplig studie, såsom detta examensarbete, ska kunna anses besitta ett vetenskapligt värde måste dessutom reliabilitets- och validitetsprövning göras.

2.3.1 Litteraturstudier

Examensarbetet bygger till stor del på litteraturstudier. Litteraturen spänner över relativt stora områden. En del av litteraturen behandlar vetenskaplig metod, en annan del behandlar systemteori och riskhantering och ytterligare en annan del behandlar tunnel- och järnvägssäkerhet samt kritisk infrastruktur. Dessutom studeras regelverk och lagstiftning.

2.3.2 Dokumentstudier

Fallstudierna utförs väsentligen genom dokumentstudier av riskanalyser och relaterade dokument rörande järnvägstunnelprojektering.

2.3.3 Intervjuer

För att komplettera dokumentstudien och dessutom få ytterligare en infallsvinkel på frågeställningarna kommer semistrukturerade intervjuer att utföras med ett antal nyckelpersoner. Dessa respondenter kommer att vara personer som ansvarar för riskfrågor inom respektive projekt i den mån sådana finns.

Semistrukturerade intervjuer innebär att formen för intervjun kommer att vara mer diskussionsartad jämfört med formen för traditionella intervjuer. Intervjuerna ska dock behandla vissa förutbestämda ämnesområden, vilket uppnås genom upprättandet av en checklista med ämnesområden som ska beröras under intervjun.

En stor fördel med semistrukturerade intervjuer är att intervjufrågornas ordning kan anpassas under intervjun samt att djupgående följdfrågor kan ställas, vilket förväntas skapa en dialog med respondenten. Intervjuformen anses dessutom lämplig då syftet med intervjuerna inte är att undersöka enskilda personers åsikter, utan snarare att erhålla en helhetsbild samt bättre förståelse för risk- och systemtänkandet i planeringsprocessen i järnvägstunnelbyggandet såsom den uppfattas av respondenterna.

2.3.4 Reliabilitet och validitet

Begreppen reliabilitet och validitet är mycket betydelsefulla i vetenskapliga sammanhang. Med begreppet reliabilitet menas hur tillförlitligt och användbart ett mätinstrument är. Validitet innebär att man verkligen mäter det man avser mäta (Ejvegård, 2003). När det gäller fallstudier menar dock Yin (2003) att man bör skilja på olika typer av validitet: konstruktionsvaliditet, intern validitet samt extern validitet. Nedan redogörs för hur reliabiliteten och validiteten ska beaktas i denna studie.

Reliabilitet innebär att en annan utredare som följer samma metod ska kunna få samma svar och slutsatser om han gör en likadan fallstudie. Därför, menar Yin (2003), är det mycket viktigt att all data kring fallstudierna dokumenteras och sparas, vilket således blir angreppssättet för att höja reliabiliteten i detta examensarbete.

Konstruktionsvaliditet innebär enligt Yin (2003) i stort sett samma sak som begreppet ”validitet” generellt brukar göra, nämligen att man verkligen mäter det man avser mäta. Detta kan åstadkommas genom fastställandet av korrekta operationella mått för de koncept som studeras. I detta examensarbete kommer konstruktionsvaliditeten i fallstudierna att höjas med hjälp av triangulering, dvs. genom att angripa problemet utifrån två olika infallsvinklar: dels genom dokumentstudier, dels genom semistrukturerade intervjuer. Konstruktionsvaliditeten inom intervjuerna kan förhoppningsvis ökas genom att låta respondenterna läsa igenom och kommentera intervjumaterialet.

Konstruktionsvaliditeten inom litteraturstudien kan ökas genom användandet av flera, i möjligaste mån välciterade referenser, för att belysa samma sak.

Intern validitet handlar enligt Yin (2003) om att orsakssamband ska vara korrekta. Av detta följer dock att den interna validiteten endast behöver tas hänsyn till i explanativa- eller kausala studier och inte i deskriptiva eller explorativa studier. Den interna validiteten kommer därför inte vidare att beröras i detta examensarbete.

Extern validitet handlar om till vilken grad studiens resultat kan generaliseras utanför den direkta fallstudien (Yin, 2003). Att erhålla en god extern validitet är enligt Yin (2003) ofta det största problemet med fallstudier. Yin menar att fallstudier inte ska jämföras med stickprov av vilka man kan dra statistiska slutsatser ifrån. Det är bättre att jämföra fallstudier med att såsom inom exempelvis fysiken först utveckla en teori som sedan testas med experiment. Det kan då i vissa fall räcka med ett lyckat experiment för att styrka teorin. Det är därför viktigt att i förväg bestämma vad man vill få ut av fallstudien.

Fallstudier ska således inte blandas ihop med att samla in en stor mängd data som grund för en statistisk generalisering. Oftast handlar det snarare om analytisk generalisering, vilket innebär att utredaren strävar efter att generalisera ett visst resultat till en bredare teori: empirin jämförs med teorin. I detta examensarbete kommer den externa validiteten beaktas genom att sträva efter att kunna dra så generella slutsatser som möjligt om när, varför och hur riskanalyser i järnvägsprojektering utförs. Resultaten från fallstudierna jämförs sedan med tidigare antaganden. Samtidigt är syftet med fallstudierna främst deskriptivt och de kommer att användas som exempel på hur systemtänkandet i riskanalyser kring järnvägsprojekteringen utförts vid tre olika projekt i Sverige och inte att generalisera en bestämd teori.

2.4 Praktiskt tillvägagångssätt

Efter att inledande litteraturstudier utförts genomförs fallstudierna. Fallstudierna är uppbyggda kring ett antal frågor som ska besvaras övergripande för varje fallstudieobjekt och som i slutändan ska ge svar på studiens övergripande frågeställningar. En mer detaljerad beskrivning av fallstudiefrågorna görs i avsnitt 6.1.

3 SYSTEM, KOMPLEXITET OCH INFRASTRUKTUR

I detta kapitel beskrivs teorier rörande system, komplexitet och infrastruktur. Dessa begrepp är mycket viktiga för förståelsen av rapportens följande kapitel.

3.1 Systemsyn

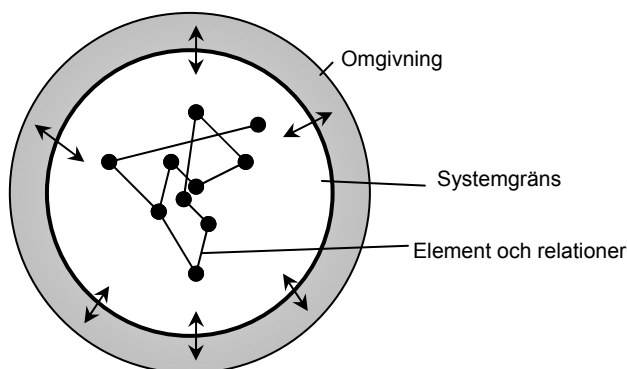
För varje form av analys av en verklig företeelse krävs att verkligheten kan beskrivas tillräckligt noga för att kunna fånga upp samtliga betydelsefulla element som påverkar företeelsen. Ett lämpligt sätt att beskriva verkligheten är att definiera samtliga betydelsefulla element vilka tros ha inbördes samband. Tillsammans bildar elementen en helhet – ett system – med vissa specifika egenskaper, se Figur 1. Denna helhet har i regel en större förmåga att uträtta saker än vad summan av de individuella elementen skulle ha: systemet har ett slags mervärde. Annorlunda uttryckt, systemet som helhet kan utföra saker som de individuella elementen inte klarar av om det inte skulle finnas några relationer eller interaktioner mellan dem (Koubatis & Schönberger, 2005).

En grov uppdelning av olika typer av element kan göras i agenter, artefakter och naturföremål. Med agenter menas i detta sammanhang element som på ett eller annat sätt kan interagera med sin omgivning med målmedvetenhet. Tre egenskaper som kan tillskrivas agenter är en geografisk position, en uppsättning förmågor samt ett minne (Johansson & Jönsson, 2007). Med elementtypen artefakter menas här saker som är tillverkade av människan och som agenter kan använda sig av i olika ändamål. Naturelement slutligen, är precis vad det låter som: element som inte är tillverkade av människan.

Alla typer av element inom ett system kan normalt förändras och sålunda befinna sig i olika tillstånd. Detta beskrivs ofta med tillståndsvariabler: t_1, t_2, \dots, t_n . En sådan tillståndsvariabel kan anta såväl numeriska värden som enklare ”ett eller noll”-värden, beroende på omständigheterna. Vid ett givet tillfälle kan nu ett systemtillstånd T beskrivas som en vektor på formen $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$, dvs. systemets samtliga tillståndsvariablers värden vid en viss tidpunkt.

System kan vara deterministiska eller icke-deterministiska. I ett fullt deterministiskt system är det möjligt att förutsäga framtida systemtillstånd med god noggrannhet med hjälp av kända tillståndsvariabler, vilket således inte är fallet med det icke-deterministiska systemet där framtida systemtillstånd är svåröversedda.

Varje system kan generellt ses som en sammansättning av flera mindre delsystem. På motsvarande sätt kan delsystemen bestå av andra, ännu mindre delsystem. De större sammansatta systemen kommer därmed alltid att verka som omgivning för de mindre delsystemen (Ingelstam, 2002).



Figur 1: Principiell uppbyggnad av ett system.

Fördelen med att bilda ett system är att omgivningen i viss mån kan bortses ifrån vilket möjliggör noggrant studerande av systemens inre egenskaper och dynamik, dvs. hur systemet egentligen fungerar. Ingelstam (2002) menar dock att det finns risk för att system felaktigt betraktas som slutna, dvs. helt oberoende av omvärlden, eftersom det oftast är enklast. Denna felaktiga syn kan enligt Ingelstam uppkomma om exempelvis omgivningsberoendenas betydelse underskattas eller om omgivningens egenskaper felaktigt betraktas som enkla och givna. Om så är fallet kan det vara lämpligt att ändra systemavgränsningen eller att arbeta med flera systemanalyser parallellt. Denna aspekt anses mycket viktig i detta examensarbete och kommer att analyseras vidare senare i rapporten.

Systemavgränsningen är i själva verket fundamental för att överhuvudtaget kunna få ett praktiskt hanterbart system, eftersom:

"...every material object contains no less than an infinity of variables and therefore of possible systems."

(Ashby, 1956, s. 39)

Att upprätta ett system för att beskriva en verklighet innebär alltså att förenklingar måste göras. Vilka förenklingar som ska göras bör styras av analysens syfte och värderingar (Johansson & Jönsson, 2007).

System kan följaktligen, per definition, göras alltifrån mycket enkla till oerhört komplicerade. Ändå är vissa system till sin natur betydligt enklare än andra, varför en grov kategorisering kan göras. Koubatis & Schönberger (2005) kategoriserade system i tre olika typer: enkla, komplicerade och komplexa, enligt Tabell 1 nedan.

Tabell 1: Grov kategorisering av systemtyper efter Koubatis & Schönberger (2005).

Enkla system	Komplicerade system	Komplexa system
<ul style="list-style-type: none"> * Litet antal element * Lätt att förstå * Enkelt att modellera * Förutsägbart resultat * Linjärt * Identifierbar risk, väldigt låg osäkerhet * Exempel: hammare 	<ul style="list-style-type: none"> * Större antal element * Svårt att förstå, men interaktioner är kontrollerade * Förutsägbart resultat * Begränsat antal verksamma parametrar * Linjärt * Identifierbar risk, låg osäkerhet * Exempel: armbandsur 	<ul style="list-style-type: none"> * Stort antal delar * Interaktioner är okontrollerade * Dynamisk struktur * Icke-begränsat antal parametrar * Okunskap om samtliga möjliga utfall * Icke-linjärt * Risker är svåra att identifiera, hög osäkerhet * Exempel: DNA

Att ge en exakt definition av vad som är ett enkelt, komplicerat eller komplext system är inte trivialt: gränserna blir i många fall otydliga. Vissa typfall finns dock, av vilka

några exempel kan utläsas ur Tabell 1. En hammare och spik är exempelvis otvivelaktigt ett enkelt system jämfört med DNA som kan anses vara mycket komplext. Det är uppenbart att vilken av ovanstående kategori som ett visst system tillhör beror på vilken systemavgränsning som sätts. I viss mån kan även kunskap om systemet i fråga tyckas ha betydelse.

För att fortsätta resonemanget är det emellertid lämpligt att göra en mer noggrann beskrivning av begreppet komplexitet.

3.2 Komplexitet

Det talas idag i många olika sammanhang om att ”samhället blir mer komplext”. Ett bra exempel på detta är vad Stephen Hawking, en av vår tids mest framstående forskare inom relativitetsteori och kosmologi, uttryckte beträffande sin framtidssyn i januari 2000:

“I think the next century will be the century of complexity.”

(Stephen Hawking¹)

Det torde vara relevant att fråga sig vad begreppet komplexitet egentligen innebär. Nationalencyklopedin beskriver ordet komplext² som något som ”... består av många delar vilka hänger samman på ett svåröverskådligt sätt”, vilket säkert stämmer väl överens med gemene mans uppfattning om begreppet. Så vad ordet i sig betyder borde sannolikt inte orsaka några missförstånd eller tvetydigheter.

Ett stort antal systemelement bidrar ofta till ökad komplexitet, men det är vanligen inte antalet element i sig som är den avgörande faktorn för vad som är komplext eller inte. En bra liknelse görs av Koubatis & Schönberger (2005), vilka menar att en Boeing 777, trots att den består av uppemot tre miljoner delar från mer än nio hundra olika leverantörer, inte nödvändigtvis behöver vara ett komplext system om man bara ser till antalet delar. Det som talar för att flygplanet skulle kunna anses vara komplext är snarare antalet relationer och omöjligheten att förutse alla möjliga händelser, dvs. alla möjliga systemtillstånd, vilket förvisso hänger ihop med antalet delar. Petersen & Johansson (2007) menar att centralt för att kunna identifiera sårbarheter i ett komplext system är att hitta beroenden mellan systemelementen.

Dessutom spelar, återigen, systemavgränsningarna en stor roll: vill man undersöka riskerna med exempelvis en Boeing 777, är det orimligt att betrakta flygplanet som ett isolerat system. Flygplanet är beroende av en rad andra faktorer såsom kommunikation, navigationsinfrastruktur såsom satelliter och flygtrafikkontroll, för att inte tala om olika väderfenomen (Koubatis & Schönberger, 2005). Dessa parametrar och en rad andra kan inte uteslutas ur analysen om en någorlunda verklighetsförankrad riskbild ska kunna ges. Totalt sett måste nu det beskrivna systemet anses vara komplext.

Carlson & Doyle (2002) för ett viktigt resonemang om sambandet mellan komplexitet och robusthet, dvs. förmågan att hantera störningar. De menar att enklare system generellt sett kan ha samma funktionalitet som mer komplexa system, men på bekostnad av lägre robusthet; det blir alltid en avvägning mellan ”intern enkelhet” och robusthet. Som exempel kan nämnas personbilar. Bilens funktion är idag sett i stort

¹ Källa: <http://www.comdig.com/stephen-hawking.php>, 2007-05-10.

² Källa: Nationalencyklopedins Internettjänst, www.ne.se, sökord: ”komplex”.

sett densamma som för 50 år sedan: man kan färdas från A till B i fordon med samma storlek och effektivitet (hastighet). Men dagens airbags, ABS-bromsar, antisladdsystem, farthållare, satellitnavigering, klimatanläggningar, RDS-radio, backvarnare, automatiska vindrutetorkare och alla andra tänkbara funktioner har gjort att bilarna blivit säkrare, mer robusta och mer underhållsfria, men samtidigt har deras interna komplexitet utan tvivel ökat.

Ökad komplexitet kan alltså leda till ökad robusthet. Men denna robusthet är ändå känslig; i själva verket gäller bara robustheten för det förutsedda. Ökad komplexitet kan också skapa en större känslighet för oförutsedda händelser, missar i designen, tillverkning eller underhåll (Carlson & Doyle, 2002). Detta kommer att behandlas vidare i avsnitt 3.2.5 nedan.

3.2.1 Människan och komplexitet

En mycket viktig aspekt av begreppet komplexitet handlar om hur olika människor tolkar verkligheten. Det är rimligt att tänka sig att vad som uppfattas som komplext kan skilja sig mellan olika individer, eftersom komplexitetsuppfattningen i grund och botten handlar om hur individen percipierar verkligheten. Det blir därför viktigt att skilja på den fysiska verkligheten och den mentala bilden av den. Hermansson & Akersten (1997) menar att komplexitet bör främst kopplas till bilden och beskrivningen av verkligheten snarare än till verkligheten själv: eftersom bilden av verkligheten varierar mellan olika människor varierar också uppfattningen av vad som är komplext och vad som inte är det. Ökad kunskap och förståelse av ett visst system hos en individ kan därmed minska systemets komplexitet sett ur individens perspektiv.

Komplexitet är således ett för olika människor relativt begrepp som i mångt och mycket handlar om överblickbarheten i ett system. Överblickbarheten påverkas av antalet relationer och möjliga systemtillstånd.

Många typer av arbeten, inte minst inom riskhantering, handlar till stor del om att göra en beskrivning av en del av den fysiska verkligheten. Det är, som tidigare nämnts, orealistiskt att försöka göra en exakt beskrivning av verkligheten: förenklingar är oundvikliga. Strävan bör emellertid vara att systemet ska återspegla verkligheten så bra så att det kan förklara de verkliga fenomen som är av intresse. Men i vissa fall har det verkliga fenomenet som avses studeras så många relationer mellan systemelementen och så svårförutsägbara systemtillstånd att man då kan tala om ett oöverblickbart system vilket i Hermansson & Akersten (1997) definieras enligt följande:

”Med ett oöverblickbart system avses ett system sådant att antalet objekt och relationer är så stort att den fullständiga strukturen inte säkert kan uppfattas på en och samma gång.”

(Hermansson & Akersten, 1997, s. 10).

Till detta kan enligt Hermansson & Akersten (1997) följande påståenden tilläggas:

- Människor tenderar att bortse från betydelsen eller existensen av saker de inte kan se eller uppfatta.
- Människor tenderar att underskatta komplexiteten i ett oöverblickbart system, dvs. antalet element och relationerna mellan dessa.

Det är mycket svårt att förutsäga exakt var gränsen för överblickbarhet går, men ibland nämns ”sju plus minus två”-regeln i sammanhanget. Regeln innebär att män-

niskor som mest har fem till nio ”krokar”, som vi mentalt och momentant kan ha informationspaket hängandes på i korttidsminnet. Informationspaketen kan vara enskilda ”saker” eller hela ”begreppsapparater”, beroende på kunskapsnivå (Akselsson, 2006). Om exempelvis novisens informationspaket består av sju enskilda ord kan expertens istället bestå av sju hela meningar.

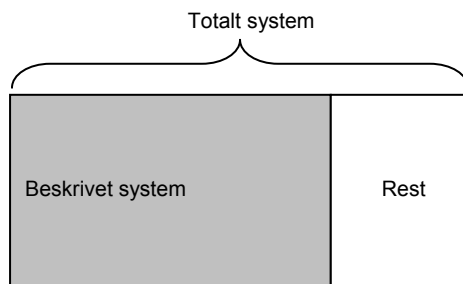
Människan klarar alltså, pga. fysiologiska begränsningar, inte av att ha total och samtidig överblick över ett system med fler än sju plus minus två till varandra relaterade element. Notera dock att elementen kan göras till större informationspaket om systemet är omfattande: enskilda ord kan istället bli hela meningar. För att människor ska kunna erhålla en helhetssyn över ett givet system är det viktigt att vara medveten om denna mänskliga begränsning när systemmodellen tas fram.

Förutom denna begränsning finns det dessutom ett antal olika typer vanliga ”människa fel” som enligt Akselsson (2006) ofta orsakar problem vid verklighetsbeskrivningar av komplexa system:

- Det är vanligt med överdriven fokusering på nuläget och med för lite hänsyn till historik och trender.
- Det verkar ofta vara svårt att förstå och styra system som har olika tidskonstanter och/eller fördröjningar.
- Det är ofta svårt att se konsekvenserna av exponentiella förlopp.
- Människor tenderar att tänka linjärt istället för att se komplexa orsaksnätverk som kan finnas. Detta bidrar till att det blir svårt att beakta eventuella sidoeffekter.
- Vissa människor tenderar att hoppa från uppgift till uppgift utan att slutföra dem medan andra biter sig fast i en viss uppgift trots att även andra uppgifter kan vara relevanta.

Det är viktigt att klarlägga att utbildning, dvs. ökning av kunskapsnivån, i ett visst – tillsynes komplext – systems uppbyggnad bidrar till en minskning av den upplevda komplexiteten varefter systemet istället kan upplevas mer linjärt, dvs. mer begripligt (Perrow, 1999a). Många designade system uppvisar emellertid ofta enkla, förutsägbara och robusta beteenden trots att systemen i själva verket har en hög komplexitet. Komplexiteten är i sådana fall ofta dold vilket gör att systemets känslighet på grund av komplexiteten ofta underskattas av icke-expert (Carlson & Doyle, 1999).

Sammanfattningsvis kan det onekligen anses vara problematiskt att göra en korrekt beskrivning av verkligheten, speciellt i komplexa system. Detta kan beskrivas med Figur 2 nedan, vilkens syfte är att klarlägga att ”resten”, dvs. den del av det överblickbara systemet som man inte lyckats beskriva, kan ha en icke-försumbar betydelse för risk och olycksförlopp. Restens storlek, eller area i figuren, torde delvis vara beroende av hur ”komplext” något är men även på kunskapsnivån hos den analytiker som ska analysera systemet.



Figur 2: En fullständig beskrivning av ett komplext, överblickbart system är inte möjlig; det kommer alltid att finnas en oidentifierad rest (Hermansson & Akersten, 1997).

I ett komplext, överblickbart system kommer det med andra ord alltid att finnas risker som inte identifierats. Detta låter intuitivt rimligt och självklart men är viktigt att påpeka för att inte glömma vikten av konsekvensbegränsande åtgärder; mer om detta senare i rapporten.

Det bör noteras att resonemanget i detta avsnitt har uppenbara likheter med Ingelstams (2002) kommentarer om felaktiga systemavgränsningar i avsnitt 3.1 ovan: att existerande beroenden i många fall felaktigt negligeras.

Den beskrivna problematiken kring komplexitet har hittills i rapporten kretsat kring svårigheten för människor att göra en korrekt beskrivning av komplexa företeelser. När ytterligare en dimension, tiden, läggs till förenklas givetvis inte problemet. Nu är det inte längre endast svårt göra en korrekt beskrivning av den komplexa företeelsen. Dynamisk komplexitet kan nämligen innebära att nya och ibland oväntade egenskaper uppkommer, vilket ökar variationsbredden av systemets möjliga tillståndsrymd och dessutom osäkerheten i vilket tillstånd som uppkommer (Hermansson & Akersten, 1997).

3.2.2 Normala olyckor

Vid studier av risker i komplexa system kan teorin om ”normala olyckor” (eng. ”normal accidents”), som tagits fram av Perrow (1999a), tillföra en del intressanta aspekter. Den grundläggande idén i Perrows teori är att olyckor är oundvikliga – de tillhör det *normala* – i system som uppfyller vissa karaktärsdrag. Det är alltså endast systemets karaktär som avgör om en ”normal olycka” kommer att inträffa, och inte tidigare olycksfrekvenser. Karaktären bestäms av typen av interaktioner mellan systemelement och typen av kopplingar mellan systemelement.

Interaktioner mellan systemelement kan i Perrows teori vara linjära eller komplexa. Linjära interaktioner är sådana som ofta är designade, förväntade och kända i produktions- eller underhållssekvenserna inom ett system. Även om de kan vara oplanerade är de oftast synliga. Komplexa, eller icke-linjära interaktioner är i stort sett motsatsen till de linjära. Dess sekvenser är i regel okända och oväntade; och antingen är de inte synliga eller så är de inte omedelbart begripliga. Naturligtvis är de dessutom oftast oplanerade. Det är de komplexa interaktionerna som skapar komplexa system. Speciellt för sådana system är att feedbackloopar kan uppkomma i större utsträckning än i enklare, linjära system. Feedbackloopar förklaras i avsnitt 3.2.4 nedan.

Kopplingar mellan systemelement kan vara lösa eller tätt sammanlänkade. Lösa kopplingar innebär att systemet kan klara av chockar, fel och förändringar utan att

tappa stabilitet. Tätt sammanlänkade kopplingar gör att störningar snabbt kan sprida sig inom och mellan olika system i värsta fall leda till kollapser av det totala systemet.

Lösa kopplingar innebär att det finns spelrum för fördröjningar inom en process, processen kan vänta i ”standby”. Sekvensordningen i en process kan ändras och alternativa metoder kan vara möjliga. Resurser kan i regel substitueras vid behov. När det gäller täta kopplingar är dessa mer tidsberoende än de lösa kopplingarna varför fördröjningar i en process inte är möjliga, och sekvensordningar inte kan ändras; processens design tillåter i regel bara en väg för att nå produktionsmålet. Det finns oftast bara en metod för att nå målet och om det råder brist på en viss resurs kan den i regel inte bytas ut mot någon annan resurs. I tätt kopplade system måste dessutom buffertar, eller redundanser, vara designade; man måste ha tänkt på dem i förväg. I löst kopplade system finns det en större chans att dessa kan hittas även om man inte planerat för dem.

Komplexa system med täta kopplingar kan bidra till vad Perrow kallar systemolyckor (eng. ”system accidents”), vilka definitionsmässigt involverar icke förutsedda interaktioner mellan ett flertal fel. Övriga olyckor kallar Perrow komponentfelolyckor (eng. ”component failure accidents”). Dessa uppstår genom fel i en eller flera systemkomponenter vilka sinsemellan har redan kända beroenden.

Det är i de komplexa systemen med täta kopplingar som de normala olyckorna uppkommer. Som tidigare nämnts behöver dessa inte vara vanliga, men är omöjliga att undvika. Eller som Perrow själv uttrycker det:

“It is normal for us to die, but we only do it once.”

(Perrow, 1999a, s. 5.)

Även om normala olyckor är oundvikliga så kan dock vissa åtgärder vidtas för att minska komplexiteten och göra kopplingar mindre täta. Perrow (1999b) menar att ett sätt att göra detta är att dela upp ett system i mindre enheter och övervaka kopplingarna mellan enheterna. Detta kan bidra till att spridning av störningar inom systemet begränsas. System bör hellre designas klumpigt och robust än elegant och känsligt.

Perrow (1999b) framhäver också betydelsen av att redan från början designa ett säkert och robust system och inte att, såsom är mycket vanligt idag, designa ett ”eleganter” system som sedan säkerhetsvärderas. Resultatet blir i det senare fallet att man istället i efterhand lägger till riskreducerande åtgärder för att uppfylla de säkerhetskrav som ställs. Detta kan leda till att systemets inneboende robusthet minskas samtidigt som komplexiteten kan öka. Faktum är att den enligt Perrow (1999b) största enskilda källan som ligger bakom stora omfattande fel som orsakar normala olyckor är fel i senare tillagda säkerhetssystem eller redundanser.

3.2.3 Självorganiserande system

En egenskap som ibland uppkommer i samband med dynamiska, komplexa system är självorganisering, dvs. när ett system på egen hand – utan yttre påtryckningar – utvecklas i en viss riktning. Självorganiserade system tenderar att balansera på en punkt där en liten förändring kan leda till storskaliga förändringar i systemet som helhet, något som studeras inom kaosteori. En vanlig exemplifiering av detta kan göras med en sandhög. När sandkorn allteftersom ansamlas i en sandhög har varje individuellt sandkorn ingen kännedom om det globala systemet, dvs. sandhögen. Trots det kommer, vid en viss tidpunkt, ytterligare sandkorn att få hela sandhögen att

rasa varefter ett nytt jämviktsläge kommer att intas (Koubatis & Schönberger, 2005). En liten förändring, här i form av ett extra sandkorn, åstadkommer alltså en storskalig påverkan på hela systemet, dvs. sandhögen, som sedan hamnar i ett nytt jämviktsläge.

Även inom kemi och biologi har självorganiserande system studerats. Självorganiseringen, som inträffar när systemet ligger långt från sitt jämviktsläge, medför även här att systemen antar nya former och beteenden. För att beskriva självorganisering krävs i regel icke-linjär³ matematik (Hermansson & Akersten, 1997).

Det är troligt att teorier kring självorganiserande system kan användas för att beskriva ett stort antal vitt skilda beteenden i naturen, såsom trafikstockningar, vulkaner, jordbävningar, skogsbränder, ekonomiska marknader och mycket annat (Koubatis & Schönberger, 2005).

Även ur riskhanteringssynpunkt kan delar av dessa teorier vara värdefulla. Det verkar som att vissa händelser, som i själva verket kan vara obetydligt små, kan ha en vidsträckt effekt på ett system: man kan tala om en fjärilseffekt⁴ (Hermansson & Akersten, 1997). Denna innebär i slutändan att systemet antingen hittar en ny balans vid ett annat jämviktsstadium, eller bryts ned fullständigt. Det senare kan exemplifieras med dinosauriernas utrotning, vilket orsakade ett helt biosystems fullständiga försvinnande. Det förra kan exemplifieras med internetbubblans kollaps. Då var nämligen aktiemarknadens efterföljande anpassning en händelse som ledde till en ny ekonomisk jämvikt världen över (Koubatis & Schönberger, 2005).

Det kan alltså finnas obetydliga händelser, som i en riskanalys knappast skulle kallas riskkällor, men som i själva verket skulle kunna orsaka fullständiga systemkollaps. I avsnitt 3.3 nedan ges exempel på en sådan systemkollaps som inträffade i Hongkongs tunnelbana.

Man kan nu fråga sig vad som är den bakomliggande mekanismen för de fenomen – självorganiserande system och fjärilseffekter – som diskuterats i detta avsnitt. Ett svar är att feedback verkar ha en väsentlig roll att spela i komplexa system.

3.2.4 Feedback

I de flesta system påverkar återkoppling, eller feedback, ett systems uppträdande i stor utsträckning. Man brukar skilja på två former av feedback: negativ och positiv. Generellt sett är negativ feedback stabiliserande och positiv feedback förstärkande (Ashby, 1957).

Negativ feedback innebär helt enkelt en bromsande effekt på ett system. Ett konkret exempel på negativ feedback kan vara två tåg på samma spår vilka är på väg mot varandra med intet ont anande lokförare. Tack vare avkännare i spåren och signalsystem stoppas dock tågen med god marginal (Ellis, 1998). Den negativa feedbacken stoppade därmed systemet innan en katastrof hann inträffa.

³ Icke-linjär matematik ger flertydiga värden och tillämpas ofta inom kaosforskning. Med hjälp av icke-linjär matematik verkar det som att man bättre kan åskådliggöra dynamik och processer (Hermansson & Akersten, 1997).

⁴ Fjärilseffekten innebär i korthet att en fjärils vingslag kan ändra vädret på andra sidan jorden. Detta eftersom vädrets dynamik styrs av icke-linjära samband vilket medför en oerhörd känslighet för begynnelsevärden. Källa: Nationalencyklopedins Internettjänst, www.ne.se, sökord: fjärilseffekten.

Positiv feedback kan sägas förekomma när en händelse förstärks på ett okontrollerbart sätt. Detta kan illustreras av internetbubblan som inträffade mellan mars år 2000 och oktober 2002. Privatpersoner och företag struntade då i den negativa feedback som bedömare gav, utan trodde på en ”ny ekonomi” där de traditionella måtten på finansiell stabilitet inte längre gällde. Som bekant resulterade detta i att spekulatioerna fortsatte tills kapitalavkastningen helt plötsligt var omöjlig att uppnå varefter bubblan sprack (Koubatis & Schönberger, 2005). Den positiva feedbacken orsakade alltså en kollaps som fick det globala systemet att hamna i ett nytt jämviktsläge.

Förmågan hos positiv feedback att förstora händelser till oförutsägbara utfall innebär en hög känslighet för begynnelsevärden (Ellis, 1998). Positiv feedback är alltså en mekanism bakom fjärilseffekten.

I en positiv feedbackloop finns det ofta en ”kritisk tröskel” efter vilken inget kan stoppa det eskalerande systemet, vilket fortsätter tills det når ett annat jämviktsläge eller kollapsar, som tidigare nämnts. Det finns således all anledning att hindra ett system från att ta sig förbi den kritiska tröskeln (Ellis, 1998).

3.2.5 På gränsen mot kaos

Komplexa system, där systemelementen hänger samman med hjälp av feedbackloopar, karaktäriseras ofta av så kallad punkterad jämvikt; systemet ligger på gränsen mot kaos (Ellis, 1998). Punkterad jämvikt innebär ett inverterat förhållande mellan sannolikhet och magnitud av en händelse, systemet följer en ”power law”-fördelning, där en händelse av storleken N är proportionell mot:

$$\frac{1}{N^b}, \quad \text{Ekvation 1}$$

där b är en konstant. Ekvation 1 innebär att om det i ett komplext system exempelvis inträffar 1 händelse med storleken 1000 (i en viss skala) inom en viss tid, säg ett år, så kommer det årligen att inträffa 1000 händelser med storleken 1 (Phelan, 1995). I dessa typer av system kommer alltså små händelser alltid att vara vanligast, men då och då så kommer oundvikligen en större händelse att inträffa.

I komplexa system där händelser inträffar enligt en ”power law”-fördelning kommer storskaliga händelser vara vanligare än vad som skulle kunna förväntas om systemet följde en ”vanlig” normalfördelning: fördelningens ”svansar” är tjockare i en power law-fördelning än i en normalfördelning (Carlson & Doyle, 2002; Koubatis & Schönberger, 2005).

Dessa power law-fördelningar kan statistiskt observeras i många olika sammanhang: allt från av meteoritstorlekar som träffar månen till frekvensen av citeringar av vetenskapliga artiklar. Fördelningen är därför känd inom en mängd olika vetenskaper i vilka den finns under olika namn (Newman, 2000). Men hur och när uppkommer denna typ av fördelning?

En av de senare teorierna kring power law-fördelningar, vilken dessutom är av extra intresse i detta examensarbete, kallas Highly Optimized Tolerance (HOT). Denna teori anses extra intressant eftersom den förutsäger att power law-fördelningar uppkommer i system som optimerats för ett visst ändamål. I system som karaktäriseras av HOT finns vanligen vissa gemensamma egenskaper. De har ofta hög effektivitet, prestationsförmåga och robusthet för de osäkerheter som de är designade för, men samtidigt är de mycket känsliga för designfel och för oförutsedda störningar (Carlson

& Doyle, 1999). De har ofta mycket hög intern komplexitet, vilket skapar ett tillsynes enkelt och robust beteende. Detta innebär dock risk för katastrofalt eskalerande fel som kan initieras även av mycket små störningar (Carlson & Doyle, 2002).

Power law-fördelningar är i själva verket, enligt Carlson & Doyle (2002), bara ett slags symptom på den ”känsliga” robustheten som finns i HOT-system.

HOT-teorin belyser vikten av att inte designa system ”för optimalt”, eftersom det leder till ökad känslighet för oförutsedda påfrestningar. Det är alltså bättre att i viss mån suboptimera systemet (Newman, 2000), vilket även styrks av Perrow (1999b), som hävdar att ökat slack mellan beroenden minskar sannolikheten för ”normala olyckor”.

3.3 Ett exempel från verkligheten

En exemplifiering av den teori som beskrivits ovan kan belysa att problematiken kring komplexa system utifrån ett verkligt fall. Beskrivningen nedan baseras helt och hållet på Ellis (1998) artikel om händelserna i Hongkongs tunnelbanesystem den 6 maj 1996.

Vad som först bör nämnas är att företaget som drev tunnelbanetrafiken i Hongkong, Hong Kong’s Mass Transit Railway (MTR), generellt ansågs vara mycket välförberedda på olika typer av påfrestningar på trafiksystemet och de var mycket bra på att lära sig av inträffade händelser. De flesta olyckshändelser, sådana som inträffade både före och efter olyckan 1996, hanterades i själva verket helt exemplariskt: som hämtade ur en lärobok. Detta bidrog till att tunnelbanetrafiken i Hongkong generellt sett var mycket punktlig, pålitlig och robust, även sett i ett internationellt perspektiv.

Men den 6 maj inträffade en rad händelser vilka i slutändan orsakade förseningar för 156 000 resenärer och sjukhusvistelser för 44 personer.

Något som gör denna olycka extra intressant är att dess initierande händelse egentligen var bagatellartad: det handlade om en mindre defekt i järnvägssystemets ström-försörjning som ledde till en 2 minuters försening. Men olyckan inträffade en varm och fuktig måndag mitt under den värsta rusningstiden. Dessutom så hade ett häftigt regnoväder just dragit över staden, personantalet var mycket högre än under ”normal” rusningstrafik. Människorna var således mycket tätt packade intill varandra, både på perronger och tåg, och de var dessutom försedda med regnkläder vilket givetvis bidrog till att det blev väldigt varmt och tryckande för flertalet. Dessutom byggde ventilationssystemet i tunnelbanesystemet delvis på att tågen skulle vara i rörelse, varför luften nu i stället snabbt blev dålig.

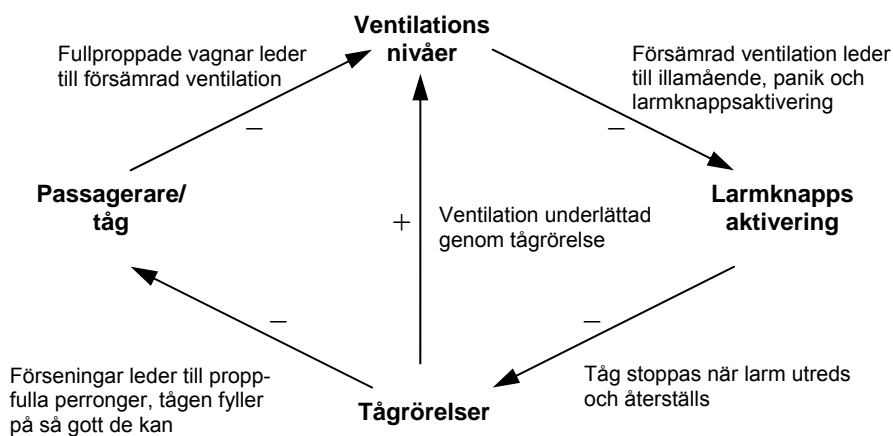
Dessa förhållanden bidrog till att en del människor svimmade, andra började känna paniken komma varför många började aktivera de larmknappar som fanns i tunnelbanevagnarna. Enligt trafikföretagets regelverk betydde en aktiverad larmknapp att händelsen måste utredas innan tåget fick fortsätta, vilket i normala fall tog några minuter.

Det automatiska styrsystemet för tågtrafiken gjorde dessutom så att avståndet mellan tågen aldrig var kortare än 150 m vilket visserligen endast följde rutinerna, men nu resulterade i en dominoeffekt genom hela trafiklinjen varför tågen blev stående här och var. Detta ledde till att ytterligare larmknappar aktiverades varefter problemet eskalerade ytterligare som i en ond spiral.

Det var dessa händelser som orsakade förseningarna och sjukhusbesöken den 6 maj. Trafikföretaget, MTR, hade egentligen rutiner för att hantera samtliga händelser var för sig, men de var naturligtvis inte förberedda på denna oväntade händelsekedja.

Men hur kunde det lilla stoppet på 2 minuter orsaka all denna skada? I medierna och av allmänheten beskylldes MTR efteråt för olyckan. Framförallt sades det att det var undermålig ventilation som var orsaken till olyckan. Men efter oberoende utredningar av förloppet kunde det sedermera konstateras att detta inte var fallet, även om just ventilationen var en bidragande del i händelsekedjan. I utredningen konstaterades att företaget inte kunde ges skulden, eftersom de i själva verket hade, som tidigare nämnts, ett ovanligt bra säkerhets- och robusthetsarbete. Kanske så bra att allmänheten ställde orimliga krav på företaget efter alla tidigare år med i stort sett störningsfri drift.

Det går alltså inte bara att skylla på dålig ventilation som orsak till olyckan. Det är snarare lämpligt att analysera olyckan ur ett systemperspektiv där feedbackloopar länkat olika systemelement och slutligen fått systemet som helhet att kollapsa. De feedbackmekanismer som låg bakom olyckan redovisas i Figur 3 nedan.



Figur 3: Feedbackmekanismer vid olyckan i Hongkongs tunnelbana 1996, från Ellis (1998).

En intressant aspekt är att feedbackloopen i Figur 3 på sätt och vis är en del i den normala driften, men då i andra riktningen. Så länge tågen är i rörelse fungerar ventilationen bra: ökar trafiken så ökar ventilationen. Normalt kontrollerades alltså feedbackloopen av operatörer och passagerare. Men omständigheterna den 6:e maj – den ovanligt stora mängden folk på grund av regnet, de ovanligt varma kläderna (regnjackor), samt den vanliga ”måndagssjukan” – balanserades på ett sådant sätt att den lilla förseningen på 2 minuter vände ventilationens feedbackloop. Loopen accelererade snabbt och hamnade bortom kontroll då den ”kritiska tröskeln” passerades innan copingresurserna⁵ hann sättas in.

⁵ Med copingresurser menas de resurser som gör att hanteringen av uppkomna problem blir effektiv.

Man kan här dra paralleller till den tidigare nämnda fjärilseffekten (avsnitt 3.2.3). På grund av omständigheterna fick en liten händelse hela systemet att kollapsa. Egentligen var det den normala driften av tunnelbanesystemet som spontant frambringade förhållandena som bidrog till systemets egen kollaps.

Andra paralleller kan dras till beskrivningen av punkterad jämvikt och ”power law”-fördelningar som hittas i avsnitt 3.2.5 ovan. Ellis (1998) menar nämligen att händelsen empiriskt stämmer någorlunda överens med teorin om punkterad jämvikt. Detta ger även stöd för Perrows teorier om ”normala olyckor” i 3.2.2. som handlar om komplexa, tätt kopplade system vilka kan ge upphov till oundvikliga olyckor.

Dessutom så visas vikten av att försöka förutse positiva feedbackloopar och se till att hitta åtgärder som kan stoppa en sådan loop innan den kritiska tröskeln överskrids. Samtidigt kan det konstateras att det kan vara mycket svårt att hitta orsakerna till en väl igångsatt feedbackloop. Hade man lyckats med det i tid i Hongkong skulle förmodligen händelserna ha utvecklats annorlunda.

3.4 Kritisk infrastruktur och beroenden

Infrastruktur kan ses som ”... *en kombination av enheter som står i något slags samband med varandra.*” (Thedéen, 2003, s. 224). Med andra ord är infrastruktur ett bra exempel på ett system enligt resonemanget i avsnitt 3.1 ovan. Det är *sambandet* mellan enheter, eller systemelement, som skapar ett infrastrukturensystem. Dessa samband är i regel av socioteknisk natur, dvs. de innefattar både människa, organisation och teknik, och de påverkar infrastrukturens förmåga att adaptera till förändringar (Thedéen, 2003).

Exempelvis är järnvägssystemet uppbyggt av spår och stationer där passagerare och gods transporteras, samtidigt som styrsystem – tekniska eller mänskliga – övervakar och styr dessa. Men likväl som det finns samband och beroenden mellan systemelement *inom* ett infrastrukturensystem så finns det beroenden *mellan* olika infrastrukturensystem. Innebörden av begreppet beroende i denna rapport är att ett systemelements tillstånd, vilket bestäms av uppsättningen tillståndsvariabler, påverkar ett annat systemelements tillstånd. Ett enkelt exempel på beroenden mellan infrastrukturensystem torde vara elkraftförsörjningen som påverkar i stort sett all övrig infrastruktur.

De infrastrukturensystem som är avgörande för upprätthållandet av viktiga samhällsfunktioner, exempelvis elektricitet, järnväg och telekommunikation, benämns ofta kritisk infrastruktur. Att studera beroenden mellan dessa typer av infrastrukturer har av naturliga skäl blivit mycket viktigt.

3.4.1 Interdependens

Samhällets ökade komplexitet, som omtalats tidigare i rapporten, kan tydligt ses i att de kritiska infrastrukturerna kommit att bli alltmer sammanlänkade. Eftersom infrastrukturensystem även är beroende av andra system, har även dessa kommit att utgöra centrala funktioner i samhället. Beroenden som på detta sätt finns mellan olika system medför att ett kritiskt element i något av systemen även kan komma att uppträda som det kritiska elementet i det totala systemet (Rasmussen & Svedung, 2000; Egan, 2007); precis som att en kedja inte är starkare än dess svagaste länk.

Beroenden mellan system kan vara av olika art. Svaga kopplingar mellan systemen ger utrymme till flexibilitet inom systemet medan starkare kopplingar genererar en mindre förmåga i att svara på förändringar i systemet (Perrow, 1999a; Rinaldi m.fl., 2001).

I många fall är beroenden mellan olika infrastruktur direkt linjära men de kan också vara svårare att hitta: störningar kan fortplantas genom systemen på oförutsedda sätt. Man pratar i det senare fallet om interdependenta systemeffekter (Little, 2002). Enkelt uttryckt innebär interdependens att två system är ömsesidigt beroende.

Rinaldi m.fl. (2001) kategoriserar olika typer av interdependens, dvs. beroenden som:

- *Fysiska beroenden*, vilket innebär att systemen är beroende av varandras materiella tjänster som de frambringar.
- *Informationsberoenden* (alt. benämning: *cyberberoenden*), vilket uppkommer då infrastrukturer beror på information som överförs genom informations- och kommunikationsinfrastrukturen.
- *Geografiska beroenden*, vilket innebär att två eller fler infrastrukturer finns inom samma område och kan påverkas av samma lokala händelse.
- *Logiska beroenden*, vilket uppkommer då tillståndet av ett infrastruktursystem är beroende av tillståndet i ett annat på ett sätt som inte faller under ovanstående tre punkter. Ofta kan det röra sig om ekonomiska beroenden.

De interdependenta systemeffekterna kan vara av första graden, dvs. ha en direkt påverkan på något, men de kan även vara av högre grad. Interdependens gör att även en lokal störning inom ett infrastruktursystem kan sprida sig mycket snabbt både internt inom infrastrukturen och externt till andra nätverk (Amin, 2001). Little (2002) menar att avgörande för hur långt en störning kan fortplantas är hur tätt kopplade infrastrukturkomponenterna är, hur kraftig den initierande händelsen är och om det finns några motåtgärder, t.ex. redundans, att tillgå.

3.4.2 Analys av beroenden

Infrastruktursystemens beroenden har de senaste åren blivit mer uppenbara: bland annat i samband med de oväder och extrema vädersituationer som drabbat såväl Sverige som andra länder. I flera sådana fall har elförsörjningen slagits ut vilket medfört att andra viktiga funktioner såsom telefonnät, mobiltelefonnät och järnvägssystem också påverkats. Att ha beredskap inför olika händelser och att förstå hur system är kopplade till varandra har visat sig vara mycket viktigt.

Att identifiera beroenden både mellan olika system och inom system är viktigt för att göra en korrekt riskbedömning, bland annat för att kunna analysera hur en störning kan sprida sig mellan olika systemelement. Little (2002) påpekar att infrastruktursystem historiskt sett oftast har designats för första gradens systemeffekter, dvs. direkt påverkan av en initierande händelse. Men med ökad komplexitet kan det vara relevant att ta hänsyn till systemeffekter av högre grad, genom att identifiera beroenden och möjliga spridningsvägar för en störning. På detta sätt kan hänsyn tas till störningar på infrastrukturen som i slutändan kan orsaka skador på samhälliga, ekonomiska och politiska institutioner (Little, 2002). Samma tankegång har Koubatis & Schönberger (2005) vilka framhäver att identifiering, förståelse och analys av systemberoenden som påverkar det vardagliga livet är en förutsättning för att erhålla ett mer robust samhälle.

Således bör man i en riskanalys, för varje systemelement, försöka identifiera hur detta systemelement kan påverka andra element/agenter/system.

3.4.3 Feltyper inom interdependent infrastruktur

Intedependenta beroenden mellan olika infrastrukturer kan leda till en ökning av sannolikheten för fel eller avbrott som berör flera infrastrukturer på samma gång. Rinaldi m.fl., (2001) kategoriserar möjliga feltyper som kan uppkomma enligt följande:

- *Kaskadfel* (eng. ”cascading failure”), vilket innebär fel inom ett infrastruktursystem som direkt påverkar komponenter i ett annat infrastruktursystem. Denna typ av fel innebär alltså att påfrestningar kan sprida sig mellan flera olika system i många led, likt en dominoeffekt.
- *Eskalerande fel* (eng. ”escalating failure”), vilket innebär att en störning i ett infrastruktursystem kan förvärras av en oberoende störning i ett annat infrastruktursystem. Förvärrningen kan exempelvis bestå av en ökning av störningens omfattning eller tiden för återhämtning/återuppbyggnad.
- *Gemensam orsaksfel* (eng. ”common cause failure”), vilket innebär en samtidig störning av två eller fler infrastruktursystem på grund av ett gemensamt fel, t.ex. en naturkatastrof.

3.4.4 Hot mot infrastrukturen

De hot som kan påverka ett infrastruktursystem kan vara av olika art. Thedéen (2003) delar upp dessa i slumpmässiga (t.ex. väderpåverkan), materialfel (t.ex. rälsbrott), mänskligt felhandlande och sabotage.

Hur ett samhälle ska förbereda sig för sådana händelser är inte helt trivialt. Ofta är det svårt att kunna arbeta utifrån att lära av tidigare händelser då det oftast saknas underlag för detta. I stället gäller det att kunna se effekterna av olika åtgärder ur ett sårbarhetsperspektiv (Thedéen, 2003).

Ett systems sårbarhet kan förstärkas genom att systemet har en inneboende redundans som kan stärka kritiska noder och länkar inom systemet. Att därtill bygga systemen säkrare genom att exempelvis gräva ner elkablar i marken i stället för luftburen el, gör också det att möjligheterna till påverkan bli mindre, liksom utformning av reservplaner för att hantera kriser, där övningar och informationshantering är centrala delar (Thedéen, 2003).

Olika system kan också komplettera varandra: bussar kan exempelvis ersätta tågtrafik. Även behovet av effektiv reparationservice är i detta sammanhang viktigt, för att kunna återgå till normal standard (Thedéen, 2003).

Rasmussen & Svedung (2000) framhäver faran med den aggressiva och tävlingsinriktade miljö som många företag i dag verkar i. Detta resulterar nämligen i att beslutsfattare har en kortsiktig ekonomisk framförhållning och fokuserar på snabb lönsamhet, vilket ofta står i motsats till mer långsiktigt tänkande där säkerhet och välfärd ges större utrymme.

Ökad effektivitet och större resultatfokus har fått ett allt större utrymme inom olika företag och organisationer i samhället. Detta har medfört att egenskapen att motstå olika påfrestningar har minskat, vilket har skett genom att företag tenderat att bryta tidigare vertikala och mer sammanlänkade organisationsstruktur till en uppdelning av fler mindre företag, samt att den teknologiska komplexiteten ökat. Detta har skapat fler interdependenta förhållanden och osäkerheter som tidigare inte fanns (de Bruijne & van Eeten, 2007).

Ett exempel från verkligheten på en olycka som kan kopplas till ökad effektivitet och resultatfokus, är den flygplansolycka som inträffade år 2000 där Alaska Airlines plan 261 störtade ner i havet utanför Kalifornien. Orsaken till olyckan visade sig vara att en mutter, som utgör en del i en funktion som får stjärtrödet på planet att höjas och sänkas, hade brustit. För att, i sin tur, hitta anledningen till att muttern gick sönder, får man dock gå tillbaka flera år i tiden före olycksdagen. Serviceintervallen för underhåll, dvs. smörjning, av denna komponent började då skjutas upp och blev med tiden allt längre och längre. Detta på grund av att allt ”verkade fungera ändå”, men även att man hade okunskap om vad komponenterna klarar av och att man införde nya rutiner för effektivisering av underhållsarbetet, vilket i sin tur medförde minskad tid för varje kontroll (Dekker, 2004).

4 SYSTEMSYN OCH RISKHANTERING

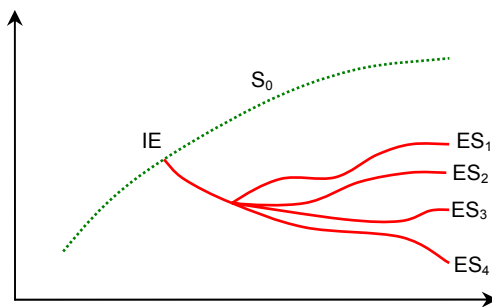
Den systemsyn som beskrivits i kapitel 3 kan vara mycket lämplig att använda vid riskhantering som ett sätt att betrakta verkligheten på. Risker kan nämligen alltid sägas finnas inom ett visst system. För att kunna förstå och i viss mån även identifiera riskerna är det relevant att studera relationerna mellan elementen i systemet och mellan systemet och omgivningen. Att få en överblick över dessa relationer kan, som beskrivits ovan, ibland vara mycket problematiskt. Återigen är det viktigt att poängtera betydelsen av en tydlig och ändamålsenlig systemavgränsning. Det är viktigt att försöka hitta alla beroenden mellan systemelementen och att inte sätta avgränsningen för snävt så att man missar att identifiera relevanta risker. Samtidigt får analysen inte göras så detaljerad så att överblicken förloras: systemavgränsningen måste vara väl balanserad.

Det är dessutom viktigt att i rapporter tydligt redovisa hur systemavgränsningarna satts. Johansson & Jönsson (2007) menar att det i själva verket blir svårt att genomföra en riskanalys och framförallt att kommunicera resultatet med andra personer utan en tydlig systemavgränsning. Systemet bör främst definieras av vad som uppfattas som möjliga negativa konsekvenser för systemet (Johansson & Jönsson, 2007). De relevanta elementen som systemet bör bygga på är alltså i första hand de som på något sätt kan vara skadliga för systemet. Det bör noteras att, såsom Petersen & Johansson (2007) påpekar, element som finns i verkligheten men som inte tas med i systemmodellen inte heller kommer att kunna vara en del av något riskscenario.

4.1 Riskscenarier

Alla system befinner sig vid varje tidpunkt i ett visst systemtillstånd T , vilket diskuteras i avsnitt 3.1. Ett scenario kan ses som en väg genom systemets tillståndsrymd S , dvs. olika systemtillstånd som följer på varandra, t.ex. $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$. I en riskanalys är man generellt intresserad av de olika riskscenarier, S_b , som kan uppkomma.

Varje system har ett ”normalt” uppträdande, dvs. då systemet uppträder som planerat. Detta betecknas vanligen S_0 scenariot. Ofta benämns det i singular men det är underförstått att variationer även av det ”normala” scenariot förekommer. I riskanalyser gäller det att söka efter de initierande händelser som får systemet att avvika från S_0 , vilka brukar benämnas *IE* (eng. initiating event). Denna händelse skapar då ett riskscenario som leder till ett visst sluttillstånd, ES_i (eng. end state).



Figur 4: Ett systems vägar genom tillståndsrymden. Den gröna, prickade vägen motsvarar systemets normala uppträdande, S_0 . De röda vägarna motsvarar riskscenarier som uppkommit pga. den initierande händelsen IE. Riskscenarier leder till olika sluttillstånd ES_i (Kaplan, 1997).

Samtliga avvikelser från S_0 , dvs. alla riskscenarier tillsammans, utgör riskscenariorymden: S_A . Sannolikheten eller frekvensen för att ett visst scenario uppkommer betecknas ofta L_i och konsekvensen som uppkommer vid ES_i brukar symboliseras med X_i . Med dessa beteckningar fastställda kan nu den kvantitativa definitionen av risk, R , enligt Kaplan & Garrick (1981) beskrivas:

$$R_{risk} = \{ \langle S_i, L_i, X_i \rangle \} \quad \text{Ekvation 2}$$

Ekvation 2 innebär att en risk kan beskrivas av en taltriupp som är svaret på frågorna:

- Vad kan gå fel?
- Hur sannolikt är det att det händer?
- Om det händer, vad blir konsekvenserna?

Denna kvantitativa definition av risk innebär det implicita antagandet att antalet riskscenarier S_i är uppräknligt vilket passar bra när riskanalyser ska utföras i praktiken. Ett tiotal år senare lades dock ett c , för "complete", till i Ekvation 2 för att belysa att risken R innefattar *samtliga* relevanta riskscenarierna S_i (Kaplan m.fl., 2001). Uttrycket blev nu:

$$R_{risk} = \{ \langle S_i, L_i, X_i \rangle \}_c \quad \text{Ekvation 3}$$

Skillnaden kan tyckas liten men var ändå ett teoretiskt framsteg eftersom riskbegreppet nu blev något bättre preciserat. 20 år senare efter den första kvantitativa definitionen av risk gjorde dock Kaplan m.fl. (2001) ytterligare en förfining av den kvantitativa definitionen av risk vilket gjorde den mer teoretiskt sett mer exakt.

I likhet med vad Ashby (1957) skrev om system – att verkligheten kan beskrivas med ett oändligt antal variabler och därför med ett oändligt antal system – kan man påstå att antalet möjliga riskscenarier är ouppräknligt. Detta kan betecknas enligt följande (Kaplan m.fl., 2001):

$$R_{risk} = \{ \langle S_\alpha, L_\alpha, X_\alpha \rangle \}, \alpha \in A, \quad \text{Ekvation 4}$$

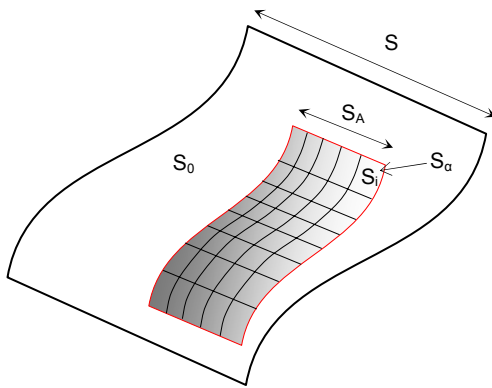
Skillnaden mellan den förfinade definitionen och Ekvation 2 är således att antalet riskscenarier nu beskrivs som ouppräknligt. I Ekvation 4 motsvarar α varje punkt i den ouppräknliga mängden A och risken R är därmed exakt: alla riskscenarier är

inräknade. I ett komplext, överskådligt system skulle detta innebära att det totala systemet i

Figur 2 ovan är fullständigt beskrivet, dvs. att arean av ”resten” i figuren är lika med noll. I praktiken torde detta vara mycket svårt i ett sådant system. Ekvation 4 har därför inget större värde ur praktisk synvinkel vid utförandet av riskanalyser, men är uppenbarligen viktig för det teoretiska resonemanget.

En mer praktiskt användbar ekvation, vilken innebär en approximation av den ”exakta” risken R_{risk} , beskrivs därför av Kaplan m.fl. (2001). Approximationen bygger på att riskscenarier, S_i , alltid kan delas upp i mindre scenarier med högre detaljeringsgrad, varför S_i nu istället betraktas som en delmängd av riskscenariorymden S_A .

Resonemanget visualiseras i Figur 5 nedan där S som tidigare motsvarar systemets fullständiga tillståndsrymd, S_0 motsvarar systemets ”normala” scenarier, och S_A motsvarar systemets riskscenariorymd. S_A är uppdelad i ett antal delmängder, eller uppsättning riskscenarier, S_i , och varje punkt i S_i motsvarar ett individuellt riskscenario S_α .



Figur 5: Totala scenariorymden S som innefattar den ”normala” scenariorymden S_0 och riskscenariorymden S_A . S_A är indelad i ett antal delmängder S_i , varje punkt i S_i representerar ett individuellt riskscenario S_α .

För att approximationen ska gälla måste dock följande krav uppfyllas (Kaplan m.fl., 2001):

- Unionen av S_i måste motsvara S_A , dvs. S_A måste helt och hållet täckas in av samtliga S_i .
- Antalet delmängder S_i måste vara uppräknligt.
- Delmängderna S_i måste vara disjunkta, dvs. de får ej överlappa varandra.

Med dessa krav uppfyllda kan slutligen risken R_{risk} approximeras med $R_{\text{risk}, p}$ (där p står för eng. partition) vilken definieras som:

$$R_{\text{risk}, p} = \{ \langle S_\alpha, L_\alpha, X_\alpha \rangle \}_p \quad \text{Ekvation 5}$$

Beskrivningen av riskbegreppet ovan kan tyckas väl detaljerat, men är intressant ur den synvinkeln att den *verkliga* risken R_{risk} i själva verket är uppbyggt av ett oändligt antal riskscenarier. För att beskriva den verkliga risken exakt skulle man således behöva ett ”oändligt” noga detaljerat system vilket är en praktisk omöjlighet. Hur väl en

risk kan approximeras beror alltså på hur detaljerat systemet görs, dvs. i slutändan på vilka systemavgränsningar som sätts. Detaljeringsgraden i systemet kan ökas genom att ta med fler variabler eller att låta variablerna kunna anta fler värden (Johansson & Jönsson, 2007). I ett komplext, översködligt system kommer approximationen av risken aldrig överensstämma exakt med det ”verkliga” värdet, approximationen kommer alltid att sakna en viss rest.

För att få approximationen av risken så bra som möjligt är det viktigt att välja rätt uppsättningar riskscenarier så att hela riskscenariorymden täcks in. Det är givetvis mycket svårt att veta hur bra approximerad risken är, hur väl man täcker riskscenariorymden.

4.2 Konsekvensrymden

På samma sätt som riskscenariorymden beskrevs ovan är det lämpligt att tänka sig en konsekvensrymd där samtliga tänkbara konsekvenser finns representerade. Varje specifikt riskscenario S_A ger upphov till en specifik konsekvens X_A ; i vissa fall kan ett flertal riskscenarier ge upphov till samma konsekvens. Konsekvensen X_A behöver inte vara endimensionell. Hur konsekvensen beskrivs bör avgöras av beslutfattaren, som ska ange de attribut eller dimensioner som är relevanta, vilket i sin tur bör baseras på beslutfattarens grundläggande värderingar samt riskanalysens syfte. Det är viktigt att konsekvensen är mätbar – varje riskscenario måste kunna relateras till en konsekvens enligt de valda attributen eller dimensionerna (Johansson & Jönsson, 2007).

För att veta om konsekvensen är mätbar eller inte används ofta en liknelse med en synsk person. Om denne person, som kan se in i framtiden och därför observera framtida riskscenarier, entydigt kan säga vad konsekvensen enligt det givna attributet eller dimensionen blir för varje riskscenario, så är konsekvensen mätbar, annars inte (Johansson & Jönsson, 2007).

4.3 Sårbarhet

Begreppet sårbarhet är intimt förknippat med ovanstående resonemang om riskscenarier. En definition av begreppet sårbarhet är:

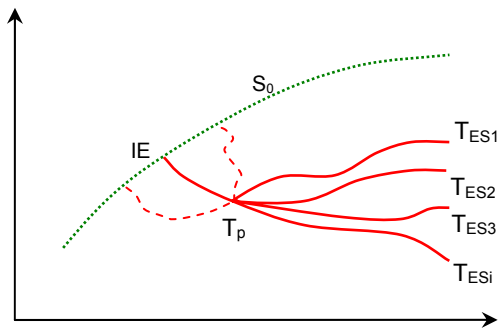
”... det samlade resultatet av risker och ett samhälles, kommuns, företags eller organisations förmåga att hantera och överleva yttre eller inre påfrestningar.”

(Hallin m.fl., 2004, s. 61).

Sårbarhetsanalyser har kommit att bli en viktig del i samhällets krishantering (Buckle, 1998). I sårbarhetsanalyser ligger tyngdpunkten, till skillnad från i riskanalyser, mer på konsekvenserna än på sannolikheten av en redan inträffad händelse. I likhet med riskanalyser innebär sårbarhetsanalyser att definiera och välja ut de riskscenarier som är adekvata utifrån en riskscenariorymd.

För att beskriva sårbarheten i ett visst system är det lämpligt att utgå från någon typ av påfrestning, som grundar sig i något hot eller någon fara. Påfrestningen har egenskapen att den förflyttar systemet från grundtillståndet S_0 till ett annat tillstånd i tillståndsrymden. Systemets sårbarhet är beroende av konsekvensen som uppkommer från det mellanliggande tillståndet, vilket i sin tur uppkommer efter påfrestningen T_p , fram till systemets sluttillstånd T_{ES} (Johansson & Jönsson, 2007). Det finns en mängd olika riskscenarier som kan inträffa efter T_p vilka genererar olika sluttillstånd

för systemet; men även vägen fram till T_p påverkas av olika händelser, se Figur 6 nedan (Johansson & Jönsson, 2007).



Figur 6: Illustration av scenariorymden där T_p utgör påfrestningen med efterföljande sluttillstånd $TE_{s1} - TE_{si}$, från Johansson & Jönsson (2007).

Enligt Johansson & Jönsson (2007) kan ett systems sårbarhet definieras olika beroende på om systemet antas vara deterministiskt eller inte.

I ett deterministiskt system ger händelsen T_p upphov till endast ett sluttillstånd, där sårbarheten då definieras genom att undersöka skillnaden i konsekvens mellan grundtillståndet S_0 och det tillstånd som sluthändelsen för störningen ger upphov till (Johansson & Jönsson, 2007).

Men då ett system inte kan anses vara deterministiskt kan störningen generera flera olika sluttillstånd genom tillståndsrymden. I praktiken är detta mer sannolikt eftersom det sällan går att förutspå hur en störning kommer att utvecklas. Definitionen av sårbarhet kommer i detta fall således vara mer komplicerad (Johansson & Jönsson, 2007).

En kvantitativ definition av sårbarhet kan göras genom att dra paralleller till den kvantitativa definitionen av risk. Tillskillnad från den kvantitativa definitionen av risk utgår definitionen av sårbarhet ifrån en given, betingad händelse som genererar ett tillstånd T_p , och som utgör en avvikelse från grundtillståndet S_0 . Definitionen av sårbarheten beskrivs enligt Ekvation 6 nedan (Johansson & Jönsson, 2007):

$$V_p = \{ \langle S_\alpha, L_\alpha, X_\alpha \rangle : \alpha \in A, S_{\alpha,1} \in T_p \}, \quad \text{Ekvation 6}$$

där S_α är scenariot i punkten α , A är en oändlig mängd, L_α är sannolikheten för scenariot, X_α är konsekvensen av påfrestningen genererar T_p . $S_{\alpha,1} \in T_p$ innebär att det första systemtillståndet för samtliga riskscenarier tillhör T_p .

Enklare uttryckt kan sårbarheten beskrivas genom att man svarar på följande frågor (Johansson & Jönsson, 2007):

- Vad kan hända, givet en specifik påfrestning?
- Hur sannolikt är det, givet påfrestningen?
- Vad blir konsekvenserna?

4.4 Resiliens och Anticipation

Stora naturkatastrofer som den senaste tiden har drabbat världen har visat sig kunna ge stora skador på den kritiska infrastrukturen i samhället. Kunskapen om hur kritis-

ka infrastruktursystem fungerar och samverkar med andra system under påfrestningar är idag inte särskilt stor. Det finns dock flera exempel på händelser som slagit ut system och som påverkar flertalet andra system och som har bidragit till omfattande geografisk spridning av störningen (Bion & McConnel, 2007).

Bruijne & van Eeten (2007) hävdar att det är det moderna samhällets resultatfokusering, besparingar och uppdelning i fler företag som skapat känsligare och teknologiskt sett mer komplexa system, vilket i sin tur medfört större oförutsägbarhet i systemen. Denna miljö, i vilken företag idag verkar, har lett till att den informella och varierade kommunikation mellan olika aktörer som tidigare varit vanlig har hämmats. Denna typ av kommunikation har i själva verket visat sig vara en av de viktigaste komponenterna för tillförlitlighet inom olika nätverk när en stor påfrestning uppstår (Bruijne & van Eeten, 2007).

Det finns två olika processer som verkar för att minska konsekvenserna av en händelse: *antecipation*, vilket innebär ”traditionell riskhantering” där man försöker att förutse risken innan händelsen inträffar och på så sätt förebygga den, samt *resiliens*, vilket innebär att förbereda samhället på att kunna hantera händelsen när den väl inträffar genom att systemet är anpassningsbart (Bruijne & van Eeten, 2007).

Hittills har riskförebyggandet i samhället främst skett genom *antecipation*, men den senaste tiden har betydelsen av *resiliens* mer och mer påtalats. Bruneau, m.fl. (2003) anger fyra kvalitéer, eller grundstenar, som ett infrastruktursystem bör ha för att uppnå god *resiliens*:

- *Robusthet*: styrkan i ett system att motstå en påfrestning.
- *Redundans*: ett systems förmåga att bistå med en annan lösning för att motstå stress.
- *Resurskapacitet*: kapaciteten att kunna bistå med förnödenheter.
- *Snabbhet*: den hastighet med vilken förmågan för ett system att återta stabilitet.

Faktorer som bidrar till ett resiliert samhälle kan sammanfattas i Tabell 2 nedan. För varje del av de olika kvaliteterna ges exempel på aktiviteter inom de olika områdena – de tekniska, organisatoriska, sociala och ekonomiska – vilka är nödvändiga för att uppnå en högre grad av *resiliens* i samhället.

Tabell 2: Exempel på aktiviteter som bidrar till *resiliens* i samhället (O’Rourke, 2007).

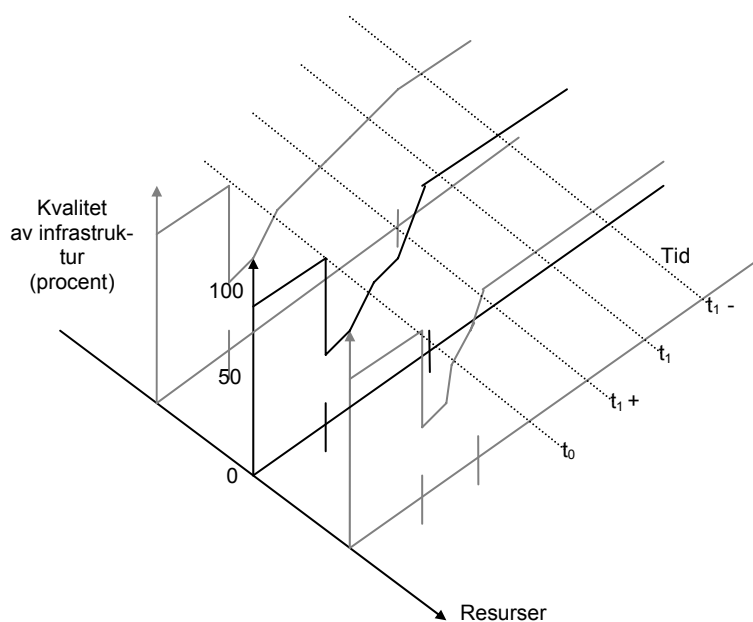
<i>Kvaliteter/dimensioner</i>	Tekniska	Organisatoriska	Sociala	Ekonomiska
<i>Robusthet</i>	Bygg- och konstruktions standards	Krisplanering	Social känslighet och nivå av samhällsmässig förberedelse	Omfattning av regional ekonomisk differentiering
<i>Redundans</i>	Möjlighet för andra tekniska lösningar	Alternativa platser för att sköta krisverksamhet	Möjlighet till alternativt boende för drabbade	Förmågan att byta ut och bevara nödvändig input
<i>Resurskapacitet</i>	Tillgänglighet till reservdelar mm för reparation	Kapacitet till att improvisera	Kapacitet med försörjning av förnödenheter	Affärs/industrikapacitet att improvisera
<i>Snabbhet</i>	Reparationstid	Reaktionstid för återuppbyggande	Tid till att bygga upp social service	Tid att återfå kapacitet och förlorade intäkter

Resiliens, med beteckningen $R_{resiliens}$, kan beskrivas matematiskt som den förlorande kvaliteten hos ett infrastruktursystem över en viss tid ($t_0 - t_1$) där t_0 anger tidpunkten för en störning och t_1 tiden fram tills dessa att systemet har återställt sig till det normala, enligt Ekvation 7 nedan (Bruneau, et al, 2003).

$$R_{resiliens} = \int_{t_0}^{t_1} [100 - Q(t)] dt \quad \text{Ekvation 7}$$

Q motsvarar systemets ”kvalitet”, mätt i procent. Om ett system är ”fullt resilient” så har Q värdet 100, men om systemet helt har tappat sin funktion så är värdet i stället 0.

I Figur 7 nedan illustreras resiliens utifrån tre dimensioner: systemets kvalitet Q (%), tiden t , och resurshandlingen. Den sistnämnda anger hur snabbt systemet återtar sin förmåga att uppnå normal funktion igen: ju snabbare desto bättre. I figuren kan man utläsa att ju mer resurser som finns att tillgå, desto snabbare kan kvalitén på infrastrukturen återgå till 100 %.



Figur 7: Illustration av ett systems resiliens utifrån tre dimensioner, kvalitet, tid och resurser (Bruneau & Reinhorn, 2007).

Boin & McConnel (2007) föreslår att centrala myndigheter bör fokusera långsiktigt på systemets resiliens och anpassningsbarhet. Det är viktigt att först och främst försöka förstå nuvarande svagheter i krishanteringssystemet och att därefter ta fram en strategi för hanterandet av stora händelser. Träning i att simulera och öva tillsammans med andra myndigheter och organisationer för att upprätta kontaktnät, god kommunikation och att kunna arbeta över organisationsgränser blir mycket betydelsefullt.

Det bör noteras att denna typ av träning är billigare än vad det är att investera i specifika säkerhetsuppdateringar för att undvika händelser, som i sig kanske aldrig inträffar. Avvägningar måste givetvis göras då det är tack vare dessa investeringar som

transportsystemen idag har en relativt hög säkerhet (Bruijne & van Eeten, 2007). En sammansättning av både resiliens och anticipation är viktig för att kunna göra ett system mer robust (Waldawsky, 1988).

För att bli bättre på detta bör organisationer och myndigheter gemensamt tänka på vad de skulle kunna bidra med i en krissituation och hur de skulle agera. De bör även planera för att kunna förebygga påverkan av de egna organisationerna, genom att exempelvis skapa säkerhetskopior på viktig information och att förvara denna på geografiskt skild plats (Boin & McConnel, 2007).

Ledare inom olika organisationer och inom politiken bör förbereda sig på krisartade händelser genom att:

- upprätta kontaktnät med experter,
- upprätta flexibilitet för systemet, identifiering av andra potentiella medarbetare som kan komplettera eller ersätta huvudaktörer,
- träna och
- förbättra mediekontakter.

Förberedelserna kräver emellertid en hel del pengar, varför det kan vara svårt att motivera ledarna till att satsa på dessa frågor, eftersom de flesta organisationer idag rationaliserar. Frågan är bara om samhället har råd att vänta för länge (Boin & McConnel, 2007).

I riskanalyser bör man ta hänsyn till hur den organisatoriska faktorn kan påverka riskscenarierna. Perrow (1999b) menar att det vid framtagandet av "worst-case"-scenarier är vanligt förekommande att anta att organisationer fungerar som de ska; man glömmer att en icke fungerande organisation kan förvärra en påfrestning ytterligare och skapa katastrofala följder.

5 JÄRNVÄGSPROJEKTERING

Projekteringen av ny infrastruktur i Sverige styrs i grund och botten av politiska beslut fastställda av riksdagen. Huvudmålet är ”... att säkerställa en samhällsekonomisk effektiv och långsiktig hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet” (Boverket, 2005c, s. 28). Dessa politiska mål kan sammanfattas i sex delmål:

- Ett tillgängligt transportsystem.
- En hög transportkvalitet.
- En säker trafik.
- En god miljö.
- En positiv regional utveckling.
- Ett jämställt transportsystem.

Inom målen fastställs ekonomiska ramar, planeringsförutsättningar och ansvarsfördelning. Järnvägssystemet, tillsammans med övriga transportinfrastrukturer i landet ska bilda en helhet vilken är ett medel att för nå högre välfärds mål för samhället i stort (Boverket, 2005c).

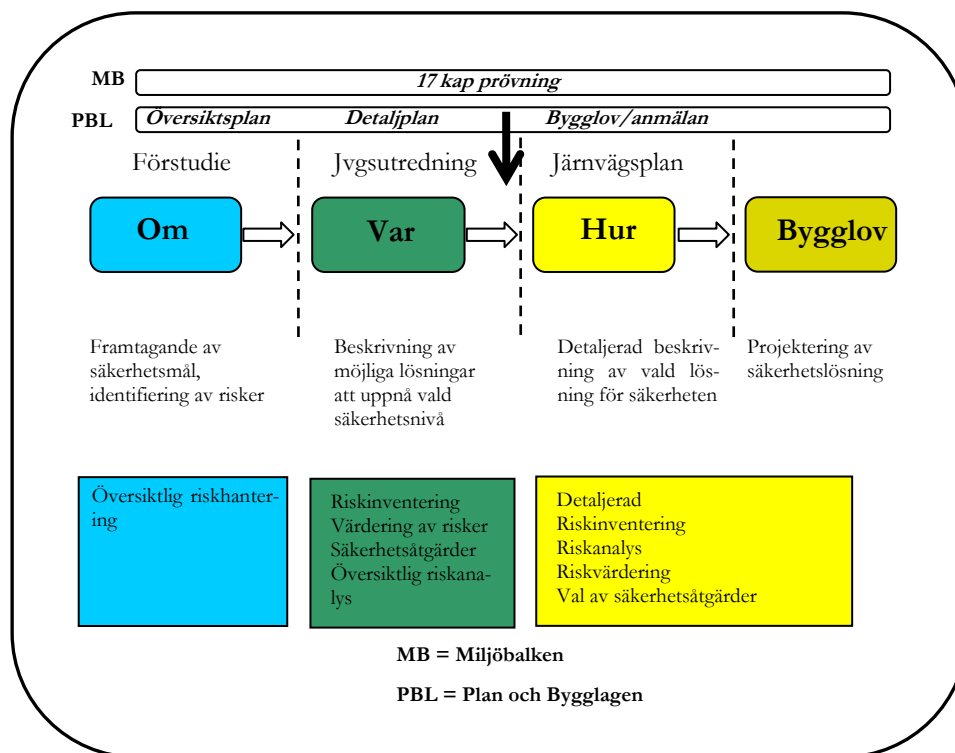
I Sverige är Banverket den myndighet som har det övergripande planeringsansvaret för det statliga järnvägsnätet. Det åligger därför även Banverket, såsom sektorsansvarig myndighet inom ramen för ordinarie verksamhet, att säkerställa att järnvägssystemet har en viss grundberedskap mot påfrestningar. Järnvägssystemen har en relativt lång livslängd, jämfört med övriga infrastruktursystem, vilket medför att vid projektering måste hänsyn tas till många typer av möjliga påfrestningar på systemet. Generellt sett är järnväg ett väldigt säkert transportsätt, men samtidigt samlar järnvägen även stora laster till en och samma plats vilket kan orsaka allvarliga konsekvenser med svåra påfrestningar på samhället om en olycka skulle inträffa (Banverket, 2006).

Banverket (2006) menar att betydelsen av en effektiv riskhantering och ett kontinuerligt säkerhetstänkande i alla delar av planeringsprocessen är viktigt för att järnvägssystemet ska bli mer motståndskraftigt mot störningar av olika slag. Vidare påpekar Banverket (2006) att det är viktigt att risk- och sårbarhetsaspekter finns med i projekteringen av järnväg från ett så tidigt skede som möjligt. I en planeringsprocess är nämligen förändringsmöjligheten störst och kostnaden minst i början. Vidare framhävs betydelsen av att ha en helhetssyn av det system som järnvägen bildar. När järnvägssystemet analyseras ska således systemavgränsningarna inte skära av systemet redan vid banvallen och dess omedelbara omgivning, utan även andra funktioner såsom el, tele och informationsteknik, är vitala för att systemet som helhet ska kunna fungera (Banverket, 2006).

5.1 Planeringsprocessen

I planeringsprocessen för ny järnväg är både Banverket och samhället i övrigt medverkande. Byggandet av järnväg ska genom metodiken i planeringsprocessen ha en god anknytning till övrig samhällsplanering samt miljölagstiftning (Banverket, 2006). Planeringsprocessen är en lång och tidskrävande process, mycket på grund av att både allmänna och enskilda intressen ska beaktas.

Projekteringen av järnväg omfattar ett antal olika skeden: idéskede, förstudie, järnvägsutredning, järnvägsplan och bygghandling. Samtliga skeden förutom idéskedet regleras i Lag (1995:1649) om byggande av järnväg. En förenklad sammanfattning av planeringsprocessen för järnvägsystem, med fokus på säkerhetsaspekten, illustreras i Figur 8 nedan varefter kapitlet fortsätter med mer detaljerad beskrivning av varje skede i processen.



Figur 8: Schematisk bild över planeringsprocessen i järnvägsprojektering (Banverket, 2007).

5.1.1 Idéskede

Om det finns ett behov, en efterfrågan eller en idé om att utföra ny järnväg inleds arbetet i regel med det informella idéskedet. I idéskedet studeras och analyseras tänkbara lösningar/alternativ/korridorer översiktligt. De idéer som inte anses realiserbara förkastas.

Eftersom detta skede inte är lagreglerat finns det heller inga krav på utförande av säkerhetsanalys i idéskedet. Banverket manar dock till att en grov riskidentifiering bör utföras även i detta skede (Banverket, 2006).

5.1.2 Förstudie

I förstudien prövas vilka av de olika lösningarna som inte bara är tänkbara utan också genomförbara. Tekniskt svåra och olämpliga lösningar, exempelvis med avseende på miljöpåverkan, avskrivs. Samråd ska hållas med berörda länsstyrelser, kommuner, allmänhet samt övriga intressenter (Boverket, 2005c).

Riskhanteringsarbetet är i förstudien främst inriktat på riskidentifiering. Frågor som framförallt bör besvaras är vilka *riskobjekt* (såsom tunnlar, svåra geotekniska/hydrologiska förhållanden m.m.), *riskslag* (vad som i detta examensarbete i övrigt

kallas riskscenarier) och *skadeobjekt* (dvs. det som kan drabbas) som är relevanta för varje alternativ (Banverket, 2006).

5.1.3 Järnvägsutredning

I järnvägsutredningen utreds och utvärderas de genomförbara lösningar som analyserats fram i förstudien. En viktig och omfattande del i järnvägsutredningen är det lagstadgade utförandet av en miljökonsekvensbeskrivning, MKB, vilken även ska godkännas av länsstyrelsen (Boverket, 2005c).

Identifierade risker kvantifieras och värderas i detta skede. Frågor som bör besvaras är vilka *riskefaktorer* (avser t.ex. problem med svåra grundläggningsförhållanden m.m.) som är aktuella, vilka *skadefrekvenser* som är troliga, varefter bestämning av tänkbara *konsekvenstyper* ska göras. Även kostnader för eventuella riskreduceringar utreds (Banverket, 2006).

Den färdiga järnvägsutredningen med tillhörande MKB ska slutligen ställas ut varefter Banverket fattar ett slutgiltigt beslut om lämpligast lokalisering och utformning av järnvägen (Boverket, 2005c).

5.1.4 Järnvägsplan

I järnvägsplanen detaljutformas den valda lösningen så att den uppnår de olika krav som ställts på systemet. Samråd ska hållas med berörda länsstyrelser och om delade uppfattningar råder ska regeringen pröva frågan. När en järnvägsplan väl är fastställd har den en giltighetstid på fem år (Boverket, 2005c).

Vad gäller säkerhetsaspekten i detta skede är riskbehandling det centrala.

5.1.5 Tillåtenhetsprövning

Efter järnvägsutredningen ska, i de fall då järnvägen är avsedd för fjärrtrafik samt anläggande av nytt spår på en sträcka av minst fem kilometer för befintliga järnvägar för fjärrtrafik, enligt 17 kapitlet i miljöbalken, tillåtenhetsprövning göras hos regeringen efter beredningsremiss.

5.2 Lagstiftning och Regelverk

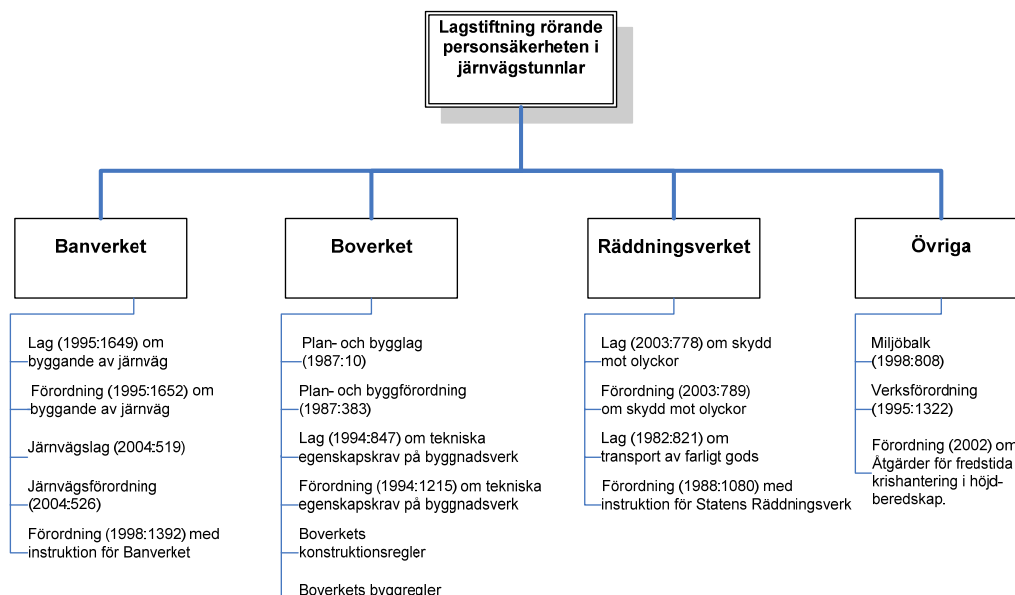
Banverkets planeringsprocess, vilken beskrivs i avsnitt 5.1 ovan, styrs av ett antal lagar. Urvalet av lagarna i detta avsnitt görs huvudsakligen utifrån Boverkets regeringsuppdrag (Boverket, 2005a) vilket är en kartläggning av det legala ramverket rörande personsäkerhet i järnvägstunnlar, men även ifrån Banverket (2006) där några lagar och förordningar rörande robusthet och samhällets sårbarhet tas upp. Anmärkningsvärt i detta sammanhang är att det inte tidigare funnits några tydliga krav på riskanalyser för järnvägstunnelprojekt⁶.

De lagar som tas upp har var för sig sin enskilda betydelse och hänsyn måste därför tas till var och en av lagarna. Detta innebär att ingen lagstiftning går före någon annan (Boverket, 2005a). Vilka lagar och föreskrifter som gäller beror naturligtvis i stor utsträckning på vad som projekteringen omfattar.

Förutom lagar, förordningar och föreskrifter har Banverket dessutom interna krav på järnvägsprojekteringen, bland annat rörande säkerhet, som måste efterlevas. Interna-

⁶ Källa: E-postkorrespondens med Mattias Strömgren, 2007-07-30.

tionellt sett finns även EU-direktiv vilka inom kort kommer att implementeras i den svenska lagstiftningen. Dessa syftar till att skapa en högre säkerhet och gemensamma riktlinjer inom järnvägssystemen i EU, se vidare i avsnitt 5.2.2 nedan. Anmärkningsvärt är att detta regelverk endast omfattar järnväg och tunnlar men inte stationer under mark; inte heller skydd mot terrorism kommer att ingå. För stationer under mark gäller i Sverige främst Boverkets byggregler, BBR, vilka främst reglerar att tillfredställande utrymning ska föreligga.



Figur 9: Översikt över de lagar och förordningar som berör säkerhet och risk vid projektering och drift av järnväg och järnvägstunnlar samt vilken myndighet som är ansvarig för respektive område. För Miljöbalken ansvarar Miljödepartementet, för Verksförordningen ansvarar Finansdepartementet och för Förordning om åtgärder för fredstida krishantering och höjd beredskap ansvarar Försvarsdepartementet.

I avsnitt 5.2.1 – 5.2.13 nedan görs översiktliga beskrivningar över lagar och förordningar rörande personsäkerheten i järnvägstunnlar.

5.2.1 Lag (1995:1649) om byggande av järnväg med förordning

Planeringsprocessen och lokaliseringen av ny järnväg regleras i Lag (1995:1639) om byggande av järnväg samt dess förordning. Här anges att en MKB ska genomföras i järnvägsutredningen och i järnvägsplanen med utredning av olika alternativa sträckningar och djupare riskanalyser av dessa (Boverket, 2005).

I MKB ska de åtgärder som krävs för att personsäkerheten ska hamna på en acceptabel nivå redovisas. Här är miljöbalkens försiktighetsprincip applicerbar för säkerhetsfrågorna. Försiktighetsprincipen innebär att både tänkbara och möjliga olägenheter för människors hälsa eller miljön ska förebyggas av den som bedriver miljöfarlig verksamhet. Verksamhet får inte bedrivas på ett sådant sätt att skada eller olägenhet kan uppstå. I en MKB blir därför utförandet av riskanalyser och riskinventeringar en naturlig del som bör vävas in så tidigt som möjligt i processen. Boverket (2005c) framhäver dock att fokus i en MKB är riktat mot ett mellanstort olycksscenario vilket medför att både mindre samt större olycksscenarier tenderar att förbises, på grund av att sannolikheterna tros vara små.

I en MKB bör speciell hänsyn tas till säkerhetsfrågor och konsekvenser av olyckor som kan inträffa om en tunnel trafikeras av farligtgodstransporter. Delar av MKB bör också ta upp de effekter som påverkar samhället i övrigt, vilket i praktiken ofta glöms bort av järnvägsprojektörerna Boverket (2005c).

5.2.2 Järnvägslagen (2004:519) med förordning

Järnvägslagen med förordning trädde i kraft i samband med att den nya tillsynsmyndigheten för järnväg, Järnvägsstyrelsen, startade sin verksamhet. Järnvägsstyrelsen ansvarar bland annat för övervakning av järnvägssystemets säkerhet och de utreder dessutom olyckor och tillbud. Därtill har de befogenhet att meddela föreskrifter om säkerhet (Boverket, 2005a).

I lagens andra kapitel framgår de krav som ställs på järnvägssystemet, bland annat vad gäller skadeförebyggande arbete kring materiel inom järnvägssystemet: däribland även trafikerande fordon. Dessutom skrivs att verksamheten ska vara organiserad på så vis att skador kan förebyggas (Boverket, 2005a). Därutöver specificeras säkerhets-, tillförlitlighets-, tillgänglighets-, hälso-, miljöskydds- och tekniska kompatibilitetskrav på delsystem och dess ingående komponenter i järnvägssystemet.

Varje delsystem ska dessutom överensstämja med föreskrivna tekniska specifikationer för driftskompatibilitet: TSD (skrivs ibland på engelska: Technical Specifications for Interoperability, TSI). En viktig TSD i sammanhanget avser utformningskrav rörande säkerheten i tunnlar med tillhörande delsystem. Denna är under bearbetning och kommer att bli bindande för Sverige inom kort. Ett viktigt resultat ur arbetet med TSD är att den kommer att säkerställa en harmonisering av regler och egenskapskrav inom EU. Utifrån de krav som kommer att finnas i standarderna kommer det dessutom att vara möjligt att analysera fram vilken säkerhetsnivå som EU finner erforderlig och nödvändig (Boverket, 2005a).

Järnvägsstyrelsen besitter tolkningsrätten för den svenska lagstiftningen och de EU-direktiv som berör järnvägstunnlar. Således är Banverkets uppfattning att så länge som de uppfyller Järnvägsstyrelsens krav på säkerheten är verksamheten godkänd i enlighet med denna lag (Boverket, 2005a).

5.2.3 Förordning (1998:1392) med instruktion för Banverket

Viktigast i Förordning (1998:1392) med instruktion för Banverket är att myndigheten tillskrivs ett sektorsansvar för hela järnvägstransportsystemet. I förordningen föreskrifts ett antal paragrafer med anknytning till risk- och säkerhetsarbete, såsom i 2 § där det skrivs att Banverket ska verka för att ”... järnvägstransportsystemet är tillgängligt, trafiksäkert, framkomligt, effektivt och miljöanpassat”, samt att ”trafiksäkerhetsarbetet inom de svenska järnvägssystemen samordnas”.

5.2.4 Plan- och bygglagen, PBL (1987:10)

I Plan- och bygglagen, PBL, finns ett antal paragrafer som omfattar risk- och säkerhetsaspekter kring järnvägssystem. I andra kapitlet skrivs bland annat att skydd mot uppkomst av olika typer av olyckor ska finnas. Säkerhetstänkandet kommer också in i både detaljplan och översiktsplan. Tunnlar (som inte är tunnelbana eller hör till gruvdrift) är dessutom bygglovspliktiga enligt PBL. Bygglovet behandlar dock inte de tekniska egenskapskraven som är kopplade till personsäkerhet, utan reglerar snarare tunnelns placering och hur den kan påverka omgivningen (Boverket, 2005a).

5.2.5 Lag (1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m., BVL, med förordning, BVF.

I Lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m. ställs utformningskrav på byggnadsverk utifrån nio punkter: bland annat rörande bärförmåga och brandspridning. Dessa krav gäller då byggnadsverk ändras eller uppförs. I förordningen till lagen, dvs. i BVF, finns mer preciserade krav gällande bärförmåga och brandkrav. Bland annat ska utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket begränsas, det ska finnas möjligheter att evakuera tunneln och räddningsmanskapets säkerhet vid brand ska beaktas. Även faktorer som utsläpp av giftiga gaser och farlig strålning regleras i BVF (Boverket, 2005a).

5.2.6 Boverkets Konstruktionsregler, BKR

Boverkets Konstruktionsregler, BKR, omfattar i viss mån tunnlar: närmare bestämt tunnlar med inklädnad i betong men inte bergtunnlar eller bergrum. I BKR regleras bärförmåga, stadga och beständighet vilket naturligtvis har betydelse för människors säkerhet (Boverket, 2005a).

5.2.7 Boverkets Byggregler, BBR

Boverkets Byggregler, BBR, gäller enbart uppförande av byggnader, vilket tunnlar inte klassas som, varför reglerna inte direkt kan tillämpas på sådana (Boverket, 2005a).

Däremot så kan BBR sägas vara relevant för undermarksstationer. Detta eftersom stationerna kan, med utgångspunkt från Lagen om skydd mot olyckor, klassas som "byggnader eller andra anläggningar" då de avser att omfatta många människor som kommer att vistas där tillfälligt⁷.

5.2.8 Lag (2003:778) om skydd mot olyckor, LSO med förordning.

I Lagen om skydd mot olyckor, LSO, skrivs i dess andra kapitel, andra paragrafen att "ägare eller nyttjanderättsinnehavare till byggnader eller andra anläggningar skall i skäligen omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olycka och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand". Dessa åtaganden som nyttjanderättsinnehavaren har kan både innefatta ett tekniskt perspektiv, som utrustning rörande brandsläckning, men också ett organisatoriskt perspektiv, såsom utbildning och information. Viktigt att betona är att skälighetsprincipen gäller, dvs. åtgärder som är orimligt dyra kan anses oskäliga (Boverket, 2005a).

Även Räddningsverkets allmänna råd (SRVFS 2004:3) om systematiskt brandskyddsarbete bör ingå i nyttjanderättsinnehavarens ansvar. Skriftlig redogörelse för brandskyddet enligt 2 kapitlet tredje paragrafen, är aktuellt om tunneln är längre än 500 m och avsedd för allmän väg eller allmänna kommunikationsmedel (Boverket, 2005a).

5.2.9 Lag (2006:263) om transport av farligt gods med förordning

Lagen om transport av farligt gods med tillhörande förordning är relevant för personsäkerheten i tunnlar men reglerar främst själva fortskaffningsmedlet och inte tunnelns konstruktion som sådan. Tillsyn görs av Järnvägsstyrelsen (Boverket, 2005a).

⁷ Källa: Intervju med Arne Brodin, 2007-06-12.

5.2.10 Förordning (1988:1040) med instruktion för Statens räddningsverk

I Förordning (1988:1040) med instruktion för Statens räddningsverk framgår att Räddningsverket ska arbeta med förebyggande åtgärder för att minska skador och olyckor. De ska dessutom bevaka riskutvecklingen inom verksamhetsområdet.

5.2.11 Miljöbalken (1998:808)

Miljöbalken omfattar all verksamhet som kan påverka människors hälsa samt miljön genom de allmänna hänsynsreglerna i lagens andra kapitel. Miljöbalkens krav omsluts dock av rimlighetsprincipen, dvs. åtgärder ska inte vara orimliga och kostnad/nytta ska vägas mot varandra vid avvägning (Boverket, 2005a).

I vissa fall omfattas järnvägsprojektering av regeringens tillåtlighetsprövning som regleras i miljöbalkens 17:e kapitel (Boverket, 2005a), se avsnitt 5.1.5. Miljöbalken omfattar också genomförandet av MKB, vilken ska anpassas efter respektive projekt.

5.2.12 Verksförordning (1995:1322)

I Verksförordningen stadgas att myndighetens chef, vilket i detta fall blir Banverkets styrelse, ska ”... beakta de krav som ställs på verksamheten när det gäller totalförsvaret...”. Dessa krav kommer i sin tur från det gällande försvarsbeslut som fattats av riksdagen. Kraven gäller även i fredstid (Banverket, 2006).

5.2.13 Förordning (2002:472) om åtgärder för fredstida krishantering och höjd beredskap

I Förordningen om åtgärder för fredstida krishantering och höjd beredskap preciseras Banverkets medverkan i Totalförsvaret.

Totalförsvaret består av både det militära och civila försvaret. Banverket ingår i samverkansområdet Transporter vilket innebär att myndigheten har ett särskilt ansvar för samverkan och beredskapsfrågor. Det civila försvarets mål är att (Banverket, 2006, s. 10):

- ”... värna civilbefolkningen, trygga en livsnödvändig försörjning, säkerställa de viktigaste samhällsfunktionerna och bidra till Försvarsmaktens förmåga vid ett väpnat angrepp och vid krig i vår omvärld,
- bidra till fred och säkerhet i vår omvärld,
- stärka samhällets förmåga att förebygga och hantera svåra påfrestningar på samhället i fred.”

Ansvar för uppgifterna styrs av ansvarsprincipen, dvs. den som ansvarig för en verksamhet har samma ansvar över hela hotskalan. Hotskalan brukar definieras från mindre störningar till krig. Det är dock främst ”vanliga olyckor” och svårare påfrestningar som Banverket såsom sektorsansvarig myndighet förväntas klara av på egen hand, genom att ha en s.k. basförmåga. Denna basförmåga innebär att det bör finnas en inbyggd robusthet i järnvägssystemet och en flexibilitet. För att klara hotskalans värsta scenarier krävs kompletterande beredskapsåtgärder vilket innebär resurser ”ovanifrån” genom särskilda anslag vid behov (Banverket, 2006).

5.3 Banverkets interna krav

Banverket har ett antal interna krav på projektering och utförande av järnvägstunnlar. De tre viktigaste, med hänsyn till säkerhets- och riskfrågor torde vara BV Tunnel – BVS 585.40 (Banverket, 2005) och Säkerhet i Järnvägstunnlar – Handbok för analys och värdering av personsäkerhet i järnvägstunnlar – BVH 585.30 (Banverket, 2007), samt Robusthets- och säkerhetsaspekter i järnvägsplanering – BVH 806.7 (Banverket, 2006).

5.3.1 BV Tunnel (BVS 585.40)

I BV Tunnel anges projekterings-, konstruktions- och nybyggnadskrav för järnvägstunnlar. I denna standard behandlas bland annat brand- och riskfrågor relativt ingående, med fokus på vad konstruktionen ska tåla samt påverkan på omgivningen. Personsäkerhetsfrågor hänvisas till BVH 585.30 (se nästa avsnitt).

5.3.2 Säkerhet i Järnvägstunnlar – Handbok för analys och värdering av personsäkerhet i järnvägstunnlar (BVH 585.30)

I Säkerhet i Järnvägstunnlar – Handbok för analys och värdering av personsäkerhet i järnvägstunnlar beskrivs hur riskhanteringsarbetet, med fokus på personsäkerhet, ska gå till. Bland annat definieras Banverkets ambitionsnivå när det gäller säkerheten i tunnlar som: ”Järnvägstrafiken per kilometer i tunnlar skall vara lika säker som järnvägstrafik per kilometer på markspår, exklusive plankorsningar.” (Banverket, 2007, s. 7).

Handboken beskriver relativt ingående hur denna ambitionsnivå kan uppnås och lämplig metodik i genomförandet av säkerhetsanalyser – dvs. riskanalyser – för personsäkerheten.

5.3.3 Robusthets- och säkerhetsaspekter i järnvägsplanering (BVH 806.7)

Handboken Robusthets- och säkerhetsaspekter i järnvägsplanering beskriver, som namnet antyder, hur robusthets- och säkerhetsaspekter bör vägas in i järnvägens planeringsprocess. Rapporten gäller således inte endast tunnlar utan järnvägssystemet generellt.

5.4 Myndigheternas olika roller

De fyra myndigheterna Banverket, Boverket, Räddningsverket och Vägverket verkar nationellt under regeringen och har alla olika roller och uppgifter vid projektering av järnvägstunnlar. Nedan ges en beskrivning av respektive myndighets ansvarsområde.

Banverket har ett övergripande ansvar för järnväg i Sverige. Banverket samordnar all trafik på järnvägar från lokalt till internationell nivå och har ett ansvar mot staten för drift och underhåll samt forskning och utveckling inom området av statens anläggningar (Boverket, 2005b).

Boverket är en nationell myndighet som har i uppdrag av riksdag och regering att verka i samhället för att uppnå en bra vardagsmiljö samt att bidra till ett hållbart samhälle. Boverkets huvudområde är ett uppsiktsansvar inom plan- och byggsektorn. Boverket har således inget tillsynsansvar gällande säkerheten och kan därför endast uttala sig i säkerhetsfrågor på begäran (Boverket, 2005b).

Räddningsverket är en statlig myndighet som verkar för att uppnå ett säkrare samhälle. Myndigheten arbetar främst med skydd mot olyckor inom Sverige där de bidrar med kunskap, rådgivning, utbildning och föreskrifter. Räddningsverket arbetar också internationellt med hjälpinsatser (Boverket, 2005b).

Vägverket är den myndighet som ansvarar för Sveriges vägtransportsystem. Målet är att det ska vara tillgängligt och hålla hög standard för alla människor (Boverket, 2005b).

Myndigheternas olika roller skiljer sig som synes åt genom att de har olika ansvarsområden, dels mellan varandra, dels i förhållande till andra aktörer i samhället. Problemet har uppstått, som Boverket (2005b) framhäver, i form av att myndigheterna på grund av skillnader i ansvar, rollfördelning och kompetensfördelning men också beroende på kultur- och kommunikationsproblem, ibland inte har kunnat enas om en gemensam syn på riskhanteringen och riskvärderingen vid projektering av järnvägstunnlar. Vid värdering av risk finns en mängd olika aspekter som kan vägas in: bland annat miljö, trafik och ekonomiska aspekter. Då olika roller och värderingsgrunder finns hos de olika myndigheterna får också dessa parametrar olika stor betydelse.

Skillnaderna har framförallt funnits mellan Banverket och Räddningstjänsten i berörda kommuner. Ett problem som framkommit är att Banverket ibland har likställt Räddningsverket med de kommunala räddningstjänsterna vilket har lett till missförstånd, då de har olika syn och intresse på säkerhetsfrågor i järnvägstunnelprojekt⁸. Skillnader i tolkning av säkerhetsfrågorna har också förekommit mellan räddningstjänster i olika kommuner, vilket inte underlättat situationen mellan parterna⁸.

De skillnader som problemen handlat om har i första hand rört utrymning, där uppfattningen om lämpligt avstånd mellan utrymningsvägar i järnvägstunnlar varit skilda. Detta grundar sig i att de olika myndigheterna har olika ansvar- och intresseområden, vilket bidragit till skillnader i systemsynen hos respektive myndighet. Banverket har en relativt vid systemsyn som omfattar hela järnvägstransportsystemet, medan det för räddningstjänstens del mer koncentrerat handlar om tunneln avgränsat som ett eget system.

Räddningsverket och Boverket har inget systemansvar för väg- eller transportsystemen. Fokus hos dessa myndigheter ligger av den anledningen mer isolerat på tunneln som sådan. Fördelen med detta synsätt kan sägas vara att systemavgränsningen blir tydligare; nackdelen är å andra sidan att det blir svårare att avgöra vad begreppet optimal personsäkerhet ska innefatta. En optimering av säkerheten i en enskild tunnel förutsätter någon form av allmänt accepterat mål för godtagbar risk, vilket idag inte finns. Strömgren⁸ menar att detta är ett problem som kommer att bestå och att det i grunden är en politisk fråga. Utan dessa riskkriterier är det svårt att säga om funktionskraven i lagstiftningen verkligen är uppfylld i ”skälig omfattning” eller inte. En gemensam syn på riskvärderingen kan dessutom ge en större förståelse för hur riskanalyser bör vara utformade och hur de kan användas (Boverket, 2005b).

Svårigheterna för myndigheterna att få en gemensam systemsyn grundar sig bland annat i det legala ramverk som finns, eftersom val av säkerhetsnivå i förstahand är politiska beslut. Banverket menar att det blir svårt att få en gemensam syn på riskvär-

⁸ Källa: E-postkorrespondens med Mattias Strömgren, 2007-07-30.

deringen om inte det legala ramverket ändras och myndighetsrollerna specificeras (Boverket, 2005b).

6 FALLSTUDIER

I detta kapitel redovisas metodiken och utfallet av fallstudien. För att förenkla språkbruket kommer begreppet *fallstudie* härmed att syfta till den övergripande fallstudien, som besvarar nedanstående fallstudiefrågor på ett övergripande sätt. Varje fallstudieobjekt kommer att kallas *delfallstudie*. I dessa kommer fallstudiefrågorna besvaras för respektive fallstudieobjektet.

Speciellt för detta kapitel är tillämpandet av ett särskilt refereringssystem för hänvisning till fallstudiedokumentet. Hänvisningarna görs inom ”hakparentes” med en bokstav och siffra. Bokstaven anger vilken delfallstudie dokumentet hör till: A = Göteborg, B = Malmö och C = Stockholm; siffran anger vilket dokument som avses inom delfallstudien, se avsnitt 10.3.

6.1 Fallstudiefrågor

Fallstudiefrågorna, vilka redovisas i avsnitt 6.1.1 – 6.1.2 nedan, kommer att besvaras med främst dokumentstudier som underlag men även information från intervjuer bidrar till analysen. Eftersom det i samtliga fallstudieobjekt gjorts ett stort, ibland till och med mycket stort, antal riskanalyser och andra säkerhetsrelaterade dokument, och att många av riskanalyserna är gjorda av olika personer och företag – och därmed också är utförda på olika sätt – är det problematiskt att ge en sammanfattande bild av verkligheten som stämmer exakt överens med samtliga analyser.

Ett annat problemområde är att det är mycket svårt att veta om alla relevanta dokument erhållits och kunnat studeras. Givetvis skulle ett saknat dokument kunna innehålla avgörande information med betydelse för slutsatserna. Största möjliga ansträngning har dock gjorts för att få tag på samtliga relevanta dokument och dessutom utgör intervjuerna ytterligare en informationskälla som förhoppningsvis täcker eventuella kunskapsluckor.

Förhoppningen är att svaret på frågorna nedan kommer att kunna ge en *övergripande* bild av riskanalysens roll och uppbyggnad i varje analyserat järnvägstunnelprojekt. Ordet övergripande betonas eftersom svaret på frågorna blir en samlad helhetsbild av ett ibland heterogent underlag.

6.1.1 Orienterade frågor

De orienterande frågorna i detta avsnitt syftar till att få svar på hur riskanalysens roll ses av de inblandade aktörerna i planeringsprocessen för de olika fallstudieobjekten, dvs. det som i de övergripande frågeställningarna formuleras som *när* och *varför* riskanalyser utförs i samband med järnvägstunnelprojektering.

- I vilket skede är riskanalyserna utförda?
- Vad är syftet med riskanalyserna?
- På vilket sätt används riskanalyserna i praktiken?

Dessa frågor besvaras i avsnitt 6.3 nedan.

6.1.2 Systemrelaterade frågor

De systemorienterade frågorna förväntas ge svar på *hur* riskanalyserna utförs i praktiken, med fokus på vilken systemsyn man använder sig av. Med systemsyn menas här det sätt på vilket man gör en modell av verkligheten, utifrån vilken riskerna ska analyseras. Av särskilt intresse är att utreda i vilken detaljeringsgrad modellen är utförd, hur hänsyn tas till beroenden mellan systemelement samt hur man väljer ut vad som kan betraktas som omgivning, dvs. hur systemavgränsningarna sätts.

- Hur görs systembeskrivningarna i riskanalyserna?
 - Vilka element är systemet uppbyggt av?
 - Vilka typer av beroenden mellan systemelement beskrivs?
- Hur beskrivs avvikelser från systemets normaltillstånd?
 - Vilka typer av initierande händelser beskrivs och hur behandlas riskerna?
 - Vilka tillståndsvariabler kan elementen anta i beskrivningarna?
 - Vilka typer av fel beskrivs?
 - Vilka sluttillstånd beskrivs?
- Hur diskuteras frågan om riskscenariorymden är täckt?

Dessa frågor besvaras i avsnitten 6.4 – 6.7 nedan.

6.2 Beskrivning av fallstudieobjekten

I fallstudien ingår tre olika järnvägstunnelprojekt: Västlänken i Göteborg, Citytunneln i Malmö och Citybanan i Stockholm. Dessa projekt har blivit utvalda för analys eftersom de alla är mycket avancerade och komplexa och att de dessutom ligger bra i tiden. Förutom dessa projekt har även mindre tunnelprojekt studerats för att få en uppfattning om hur riskhanteringsarbetet går till även i mindre projekt. Dessa ingår dock inte i fallstudien eftersom det i regel inte gjorts riskanalyser i samma utsträckning som i de större projekten, varför fallstudiemetoden inte går att applicera på dessa. Dock har tankegångar från de mindre projekten funnits med när slutsatser av kartläggningen dragits vilket bidrar till en högre extern validitet i studien.

6.2.1 Göteborg

Västlänken är en tågtunnel som sedan 2001 planeras under centrala Göteborg. Västlänken kommer binda samman pendeltågstrafiken i Västsverige och därigenom bidra till en mer effektiv och genomgående trafikering i och omkring staden. Detta ska i slutändan förkorta restiderna, minska antalet byten och minska mängden fordon på vägarna. Västlänken kommer också att innefatta nya undermarksstationer. Nya alternativa sträckningar med olika förslag på stationer är tre till antalet. Utöver det finns även ett förstärkningsalternativ som avser utbyggnad av de befintliga nätet. I dagsläget är frågan om vilket av dessa alternativ som ska byggas inte beslutad (detta beräknas göras under hösten 2007) och tillåtlighetsprövningen från regeringen är ännu inte godkänd. Byggnationen beräknas starta 2011 och vara klar 2017. Nedan ges en bild över de dragningsalternativ som planerats [A8].



Figur 10: De tre olika utredningsalternativen som planerats för Västlänken⁹.

6.2.2 Malmö

Projekteringen av Citytunneln i Malmö påbörjades 1991. Byggnationen av tunneln startade 2005 och beräknas vara klar 2011. Tunneln kommer att sammanbinda järnvägen norr om Malmö med Öresundsbron och Köpenhamn samt med järnvägen mot Trelleborg och Ystad. Citytunneln omfattar totalt 17 kilometer järnväg, varav sex kilometer kommer att utgöras av järnväg i två parallella, enkelspåriga tunnelrör under centrala Malmö. I anknnytning till denna sträcka kommer undermarksstationer att byggas vid Malmö C och Triangeln. De övriga elva kilometrarna av järnvägen som ingår i citytunnelprojektet kommer att bestå av enkelspårig järnvägsförbindelse ovan mark vilken dessutom förses med en ny station ovan mark i Hyllie¹⁰.

Nedan visas Citytunneln dragning:

⁹ Källa: www.banverket.se/templates/NyheterTH_11267.asp, hämtad 2007-08-16.

¹⁰ Källa: www.citytunneln.se, hämtad 2007-08-16.



Figur 11: Citytunnelns dragning¹¹.

6.2.3 Stockholm

I Stockholm projekteras Citybanan: en omkring sex kilometer lång dubbelspårig tåg-tunnel under mark. Tunneln kommer att sträcka sig från Tomtebodan till station Stockholm Södra. Citybanan kommer att leda bort pendeltågtrafiken från nuvarande spår vilket kommer att medföra bättre punktlighet och högre effektivitet i det befintliga järnvägsnätet. En utbyggnad av järnvägstrafiken är nödvändig då den södra infarten till Stockholmscentral utgör en stor flaskhals¹². Alla transporter, såsom godståg, pendeltåg, regionaltåg och fjärrtåg, delar i dagsläget på två spår. Antalet spår har varit detsamma ända sedan byggnationen 1871, men tillskillnad från då trafikeras spåren idag av betydligt fler tåg: ungefär 550 tåg per dygn¹².

Tunneln kommer att inrymma två nya undermarksstationer: en vid City och en vid Odenplan. Citybanans kapacitet beräknas till 48 tåg per timme och byggnationen uppskattas kunna komma igång under år 2008 för att sedan slutföras någon gång mellan åren 2013 – 2016. Kostnaden beräknas idag till 16 miljarder kronor¹².

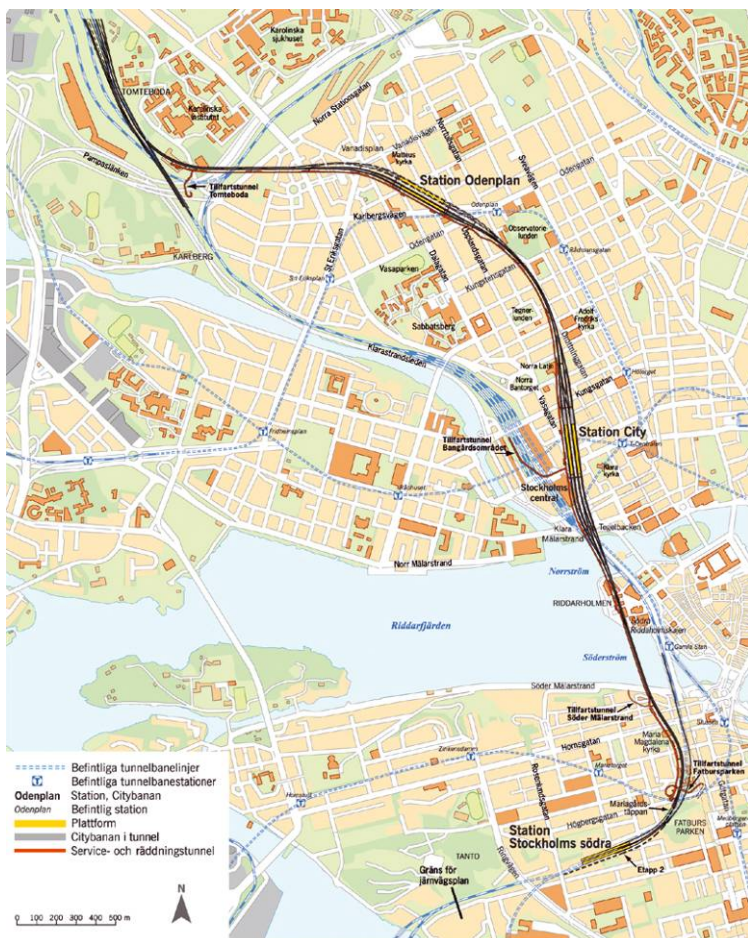
En skillnad hos Citybanan jämfört med andra järnvägstunnlar i Sverige är den höga trafikkapaciteten samt att det inne i tunneln kommer att finnas spårväxlar och övergångsspår¹³.

I Figur 12 åskådliggörs Citybanans dragning.

¹¹ Källa: www.citytunneln.com/templates/CT_Page_2398.aspx?epslanguage=SV, hämtad 2007-08-16.

¹² Källa: www.banverket.se/sv/Amnen/Aktuella-projekt/Projekt/1867/Citybanan-i-Stockholm/Omprojektet.aspx, hämtad 2007-08-16.

¹³ Källa: Intervju med Arne Brodin och Carina Wänglund, Stockholm 2007-06-12.



Figur 12: Citybanans dragning¹⁴.

6.3 Riskarbetets roll i projektet

Gemensamt för alla delfallstudier är att riskanalyser utförs för att i huvudsak uppnå Banverkets interna krav på säkerheten, men även för att uppnå lagstiftning och myndighetskrav från exempelvis räddningstjänster, länsstyrelser och Räddningsverket¹⁵.

När det gäller granskning för godkännandet av att rätt säkerhetsnivå är uppfylld, så är det idag upp till Banverket själva att avgöra om säkerheten är uppfylld eller inte. För om Banverket själva anser att säkerheten är acceptabel så godtar även tillsynsmyndigheten, dvs. Järnvägsstyrelsen detta¹⁶.

De riskanalyser och övriga säkerhetsrelaterade dokument som hör till de olika delfallstudierna används inom projektet huvudsakligen som projekteringsförutsättningar, vilka således anger krav för projekteringen, dels också som underlagsrapporter till framförallt järnvägsutredning och MKB, men även till säkerhetskonceptet.

I samtliga delfallstudier har Banverket haft som säkerhetsfilosofi att två oberoende händelser inte inträffar samtidigt. De risknivåer och ambitionsnivåer som ska efterle-

¹⁴ Källa: www.banverket.se/pages/8019/CB_stor_hela.jpg, hämtad 2007-08-16.

¹⁵ Källa: E-postkorrespondens med Mattias Strömgren, 2007-07-30.

¹⁶ Källa: Intervju med Arne Brodin och Carina Wänglund, Stockholm, 2007-06-12.

vas gällande personsäkerheten i tunnlar är de som anges i Banverkets handbok (BVH 585.30), se avsnitt 5.3.2.

Ett stort arbete har lagts på projektrisker och risker i byggskedet vilka emellertid faller bortom avgränsningarna i detta examensarbete; det är riskanalyser och andra säkerhetsrelaterade dokument rörande *driftskedet* som här är av intresse.

För säkerheten i driftskedet spelar det en avgörande roll om tunneln kommer att trafikeras av farligtgods eller inte. För samtliga delfallstudier finns en säkerhetspolicy som anger att endast eldrivna persontåg får trafikera tunnlar; därmed får tunneln inte trafikeras av farligtgods. Dock får tillsynsmyndigheten ge dispens för enstaka transporter men bara om säkerhetskraven uppfylls¹⁶, vilket kräver särskilda åtgärder.

6.3.1 Riskanalysens roll i delprojekt Göteborg

I Västlänken har riskarbetet funnits med under hela planeringsprocessen. Inga riskanalyser har emellertid genomförts i förstudien för Västlänken; däremot resoneras kvalitativt kring risker och säkerhet i denna rapport. Riskanalyser, i form av grovanalyser, har däremot utförts i det efterföljande skedet – järnvägsutredningen [A7].

De uppsatta målen för Västlänken som rör säkerheten handlar i stora drag om att omgivningen inte ska påverkas, att resandet ska vara ”tekniskt tillförlitligt” och att eventuella avbrott i trafiken ska vara hanterbara [A1].

Tillskillnad från i övriga delfallstudier diskuteras i delfallstudie Göteborg frågan om robusthet i mycket stor utsträckning. Dessa frågor har belysts utifrån tre perspektiv: studerandet av hur Västlänken fungerar som transportlänk i regionen som helhet, hur Västlänken påverkar sin omgivning och hur omgivningen påverkar densamma [A1]. Här har robusthetsanalyser gjorts för olika alternativa dragningar (fyra till antalet) av Västlänken vilket jämförs med dagens transportsystem. Fokus har legat på identifiering av hur ett avbrott i kollektivtrafiken påverkar resandet i systemet [A1].

Riskidentifieringen har utförts av en samlad konsultgrupp som letts av Banverket. Eftersom risk- och säkerhet är ett mycket mångfacetterat område har konsultgruppen bestått av många olika kompetenser från diverse olika företag [A1]. En metod som delvis använts i detta sammanhang kallas MIR (Modul för Identifiering av Risker), där man använder checklistor och en tydlig arbetsgång för att skapa tidseffektivitet och ge ett bra resultat samt dessutom få ett reproducerbart resultat. Syftet med denna metodik har varit att identifiera och bedöma risker vid bygg- respektive driftskede. I metoden vägs inte sannolikheten samman med konsekvensen; fokus är i stället riktat på den relevans som en oönskad händelse för med sig, kopplat till en viss konsekvens.

För värdering av risknivån har för tunneln kvalitativa bedömningar gjorts för sannolikheter och konsekvenser. För stationerna har jämförelser gjorts med station Arlanda Norra i Stockholm och station Liseberg i Göteborg för att se hur Västlänkens säkerhetsnivå förhåller sig till dessa [A1].

6.3.2 Riskanalysens roll i delprojekt Malmö

I Citytunnelprojektet är tanken att riskanalyser ska vara integrerade i ”vardagsarbetet”. Riskanalyser har därför gjorts kontinuerligt i alla delar av planeringsprocessen [B2].

Säkerhetspolicyn för Citytunneln bygger på att tunneln ska hålla samma nivå på säkerheten som övriga moderna järnvägsanläggningar i Sverige¹⁷.

För riskhanteringsarbetet inom Citytunnelprojektet anges tre övergripande principer [B2, s. 1]:

- *”Ansvaret för en risk ska placeras hos den part som har störst möjlighet att påverka den.”*
- *”Utformning och arbetsmetoder ska väljas för att minimera risker.”*
- *”Risker ska begränsas enligt ALARP-principen.”*

Behovet av en fungerande organisation för att uppnå en tillfredställande säkerhet har också belysts. Denna fråga har genom projektets gång diskuterats fortlöpande och i samråd med olika myndigheter [B4]. För att förankra säkerhetskonceptet hos myndigheterna har en särskild referensgrupp satts upp [B5].

I Citytunnelprojektet har också olika scenariospel gjorts. Detta i syfte att testa berörda organisationers och intressenters agerande vid en eventuell olycka i tunneln, baserat på de strategier, anläggningsutformning och tekniska system (bland annat SCADA-systemet) som finns, för att på så sätt komma fram till lösningar för att förbättra dessa. Dessutom bidrar scenariospelen till att personer i de inblandade organisationerna får direkta kunskaper om vilka som gör vad i olika situationer; således förbättras och kartläggs kommunikationsvägar mellan berörda organisationer. Även riskanalyser har vävt in i scenariospelen för att verifiera bland annat simuleringstider, bland annat i form av utrymningstider [B12]. För redovisning av medverkande personer se Tabell 32 i Bilaga A:

De scenariospel som hittills utförts behandlar följande scenarier:

- Hantering av utrymning.
- Brinnande tåg.
- Intrång i tunnel.
- Ursparning av arbetsfordonet som resulterat spill av diesel.
- Olycka i tunnel i samband med underhållsarbete.
- Personpåkörningar.

6.3.3 Riskanalysens roll i delprojekt Stockholm

Liksom i fallet med övriga två delfallstudier har även för Citybanans del riskanalyser och övriga säkerhetsdokument kontinuerligt gjorts under alla delar av planeringsprocessen.

De allmänna målen för säkerheten hos Citybanan har varit att uppfylla kraven på skydd mot olyckor som kan skada människor, miljö, egendom eller infrastruktur, och detta både för bygg respektive driftskede [C1].

Den säkerhetspolicy som Citybananprojektet satt upp omfattar krav på säkerhetsarbete i planering och projektering, tillförlitlig drift, ett robust transportsystem med låg känslighet mot yttre störningar, att de lagar och förordningar som finns ska följas och

¹⁷ Källa: www.citytunneln.se, 2007-08-27.

att samråd med berörda myndigheter och andra intressenter ska bedrivas under hela projektets gång [C11].

Citybanan ska, som tidigare nämnts, vanligtvis inte trafikeras av farligt gods. Farligt godstransporter sker på annat spår som dock kommer att kunna påverka Citybanan på en plats: vid station Stockholm Södra, där spåren kommer att gå bredvid varandra. Riskanalyser som behandlar farligt gods har därmed gjorts för station Stockholm Södra.

I förstudien för Citybanan har liksom vid Västlänken analysmetodikens MIR använts för att inventera och analysera risker. Syftet med analyserna har varit att inventera, analysera och värdera riskerna. Vid inventeringen av riskscenarierna har man utgått från tidigare utförda riskanalyser från andra tunnelprojekt samt projekteringsföresättningsföresättningar för Citybanan. De identifierade riskerna redovisas i en så kallad olycks katalog [C7] där de risker som bedömts ge betydande påverkan på den uppsatta ambitionsnivån analyserats vidare, oftast kvantitativt. Underlag för riskvärderingen har varit brand- och utrymningsanalyser, scenariospel och hantering av olyckor [C10].

Sårbarheten för systemet har analyserats genom MIR-övningarna för olika alternativa dragningar för Citybanan. Här har jämförelser gjorts mellan sju olika alternativ, där man kvalitativt uppskattat konsekvenser med avseende på olika riskscenarier för olika tänkbara dragningar av Citybanan. En jämförelse och diskussion om hur de olika alternativen påverkar de identifierade och valda riskerna sammanställs i tabellform [C1]. Därefter har bästa alternativ fastställts och vidare riskanalyser gjorts för det valda alternativet i senare skeden.

Det säkerhetsarbete som pågår i projekteringen av Citybanan rapporteras till en säkerhetsgrupp vars uppgift är att hantera säkerhetsarbetet och att analysera samt komma fram till riskreducerande åtgärder. Denna grupp har bestått av representanter från Länsstyrelsen i Stockholm, Stockholms brandförsvaret, Stockholms Stad, Polismyndigheten i Stockholm, SL, Arbetsmiljöverket, Räddningsverket, Banverket och Boverket [C10].

Scenariospelens syfte har varit att, liksom i delfallstudie Malmö, kartlägga hur tekniska system används, hur rutiner fungerar mellan och inom olika organisationer, hur ansvar och organisation för beslut fungerar, att ge underlag för åtgärdsplaner och beredskapsplaner samt att verifiera att framtagna dimensionerande värden överensstämmer med verkligheten [C17].

Tanken är att genomföra tre till fem stycken scenariospel varje halvår under det kommande året. Under våren 2007 genomfördes fem stycken scenarier för driftskedet. Resultatet från scenariospelen ska sedan användas i den fortsatta projekteringen som data i riskanalyser samt för utformning av en driftsorganisation¹⁸. De aktörer som medverkat i spelen redovisas i Bilaga A.

De fem scenarier som genomfördes under våren 2007 var [C17]:

- Personpåkörning på station City.
- Tekniskt fel på tåg, stopp i tunnel mellan station City och Odenplan.
- Strömbortfall i hela Stockholms stad.

¹⁸ Källa: Intervju med Arne Brodin och Carina Wänglund, Stockholm, 2007-06-12.

- Brand i servicetunnel, fordonsbrand mellan station Odenplan och City.
- Brand i tunnelbanetåg, station Odenplan.

I [C1] tas också frågan om i framtiden ökade trafikvolymerna upp, vilket kommer att medföra en förändring av riskbilden. Kvalitativt resonemang förs angående detta och prövning med några alternativa trender och spårdragningar har gjorts. Här framhävs att sårbarheten hos transportsystemet kommer att minska i och med Citybanan och att konsekvenserna vid ett eventuellt avbrott kommer att minska då omfördelningen av trafik blir större [C1].

6.4 Referensram för systemrelaterade frågor i fallstudie

I detta avsnitt beskrivs resultatet från fallstudien översiktligt: all data som är gemensam – dvs. frågor som har samma svar – för samtliga tre delfallstudier redovisas nedan. Denna information bildar en referensram vilken i avsnitt 6.5 – 6.7 används för att jämföra vilka data som finns eller som inte finns för varje fallstudieobjekt. Exempelvis kommer systemelementet *tåg* rimligtvis att finnas i samtliga fallstudieobjekt varför detta element kommer att redovisas i tabellen för systemelement i detta avsnitt. Däremot kanske det bara är i en unik delfallstudie som systemelementet *varmgångsdetektorer* på något sätt analyseras eller tas upp, varför detta element endast redovisas i det avsnittet.

I vissa fall beror skillnaderna, dvs. avvikelser från referensramen som beskrivs i detta avsnitt, på skillnader i projektspecifika förutsättningar för de olika tunnelarna, såsom geografiska eller geologiska faktorer, vilka givetvis varierar; i andra fall kan en anledning vara att olika personer utfört riskanalyserna eller, inte minst, att projekteringen är olika långt gången.

Förhoppningen är att denna indelning, med en referensram samt beskrivning av avvikelser från den, kommer att göra resultatet från fallstudien mer överskådlig. I Bilaga A redovisas samtliga data från alla delfallstudier mer detaljerat.

6.4.1 Beskrivning av system

I detta avsnitt redovisas den data som insamlats i fallstudien som relaterar till systembeskrivning – främst i systemets normaltillstånd – och som förekommer på ett eller annat sätt i *var och en* av de tre delfallstudierna.

Systemelement

I Tabell 3 nedan beskrivs de systemelement som explicit eller implicit finns nämnda i samtliga delfallstudier. De agenter, artefakter eller naturföremål som tolkas som systemelement är sådana som på något sätt tillhör det normala systemets drift. Undantaget är de ”skadereducerande” elementen, t.ex. räddningstjänst, vilka inte krävs för själva driften men ändå är nödvändiga för att kunna hålla den risknivå som tunneln är dimensionerad för.

Placeringen av elementen i en viss kategori görs efter elementets huvudsakliga funktion, även om somliga element har flera möjliga placeringar i tabellen. Som exempel kan nämnas ”drift- och underhållspersonal” vilka kan höra till både ”infrastruktur” och ”skadereducerande”. I systemets normaltillstånd kan dock sägas att personalen tillhör ”infrastruktur”, eftersom de krävs för att den ska fungera och placeringen i tabellen har således gjorts därefter.

Tabell 3: Systemelement som finns beskrivna i samtliga delfallstudier.

Typ av element Kategori	Agenter	Artefakter	Naturföremål
Infrastruktur	Personal (drift- och underhåll)	Angreppsvägar ^a	
	Trafikstyrning	Bana i tunnel	
		Belysning ^a	
		Brandgasventilation ^a	
		Brandlarmssystem ^a	
		Elkraftförsörjning ^a	
		Fjärrblockering ^a	
		Hissar, rulltrappor och rullramper ^a	
		Högtalare på undermarkstationerna ^a	
		Inbrottslarm ^a	
		Informationssystem ^a	
		Infrastruktur i tunneln (dvs. sådant som kablar och elsystem)	
		ITV ^a	
		Kommunikationssystem (radio, tele) ^a	
		Kontaktledningar ^a	
		SCADA ^a	
		Signaler	
		Tunnelkonstruktion	
		Tåg i tunnlar (Endast eldrivna och inte godståg)	
		Undermarksstationer	
	Utrymningsvägar		
	Varmgång- och tjuvbromsdetektorer		
	Växlar		
Infrastrukturmyttjare	Passagerare på tåg	Farligt gods	
	Personer på station el. i närhet till spår		
	Övrig tågtrafik		
Omgivning	Tredje man	Hus nära spår	Miljö (skador i omgivning)
		Tredje mans egendom	
Skadereducerande	Polis		
	Räddningstjänst		
	SOS		

^a Finns ej analyserat i riskanalys, endast angivet dimensioneringsförutsättningar.

Beroenden

I Tabell 4 nedan görs en sammanställning av de beroenden mellan systemelement som tas upp i fallstudiedokumentet. De typer av beroenden som beskrivs är sådana som beskrivs i avsnitt 3.4.1 ovan. Det är endast beroenden som har med säkerheten i tunnarnas drift att göra som är av relevans i denna studie. Viktigt att notera är att många av beroendena som redovisas är ömsesidiga; exempelvis påverkar ”trafik i tunneln” antalet ”resenärer” som kan färdas i tunneln, samtidigt som motsatsen gäller.

Tabell 4: Beroenden som finns beskrivna i samtliga delfallstudier.

Typ av beroende	Påverkande element	Påverkat element
Fysiska beroenden	Brandgasventilation	Personer på station
	Trafik i tunneln	Resenärer
	Räddningstjänst	Resenärer vid insats
Informationsberoenden	Signalsystem	Trafik i tunnel

6.4.2 Beskrivning av påfrestningar på system

I detta avsnitt redovisas den data som samlats in i fallstudien som relaterar till beskrivningar av påfrestningar på systemet och som förekommer på ett eller annat sätt i *var och en* av de tre delfallstudierna.

Typer av initierande händelser

Med initierande händelse menas den skadehändelse som orsakar en påfrestning på systemet. Denna skadehändelse kan i sin tur ha ett antal olika orsaker. De initierande händelserna vilka alltså är grunden för samtliga riskscenarier som beskrivs i fallstudiedokumentet, redovisas i Tabell 5 nedan.

De initierande händelser som finns beskrivna i samtliga delfallstudier beskrivs i kolumnen ”Typ av initierande händelse”, indelade efter händelsekategori. Därefter beskrivs de typer av analys och behandling av risk som förekommer, vilka sker på flera olika sätt i de olika delfallstudierna. I de två sista kolumnerna förekommer alltså data som kan förekomma i antingen en eller flera fallstudier. I Bilaga A redovisas samtliga riskscenarier, hur de analyserats och behandlats, mer detaljerat separat för varje delfallstudie.

Tabell 5: Typer av initierande händelser som finns beskrivna i samtliga delfallstudier. Att flera punkter förekommer inom samma ruta innebär att den specifika analysen eller riskbehandlingen som listas förekommer i minst en av de aktuella fallstudiedokumentet; alltså är flera alternativ möjliga.

Händelsekategori	Typ av initierande händelse	Typ av analys som förekommer	Behandling av risk som förekommer
Urspårning	Urspårning	* Semikvantitativt * Kvantitativt * Kvalitativt	* Identifiering och grovanalys * Acceptabel risk * Endast identifiering * Identifiering och värdering * Riskreducerande åtgärder sätts in
Sammanstötning	Sammanstötning tåg – annat föremål eller tåg	* Semikvantitativt * Kvantitativt * Kvalitativt	* Identifiering och grovanalys * Acceptabel risk * Endast identifiering * Riskreducerande åtgärder sätts in
	Sammanstötning tåg – person	* Semikvantitativt * Kvalitativt * Kvantitativt	* Identifiering och grovanalys * Endast identifiering * Riskreducerande åtgärder sätts in * Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet
Brand	Brand i tåg (preciserats till olika placeringar i olika rapporter – se Bilaga A)	* Semikvantitativt * Kvantitativt * Kvalitativt * FMEA	* Identifiering och grovanalys * Acceptabel risk * Riskreducerande åtgärder sätts in och ny säkerhetsvärdering görs med åtgärder medräknade * Endast identifiering
	Explosion och implosion	* Kvalitativt * Semikvantitativt * Kvantitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet * Endast identifiering * Riskreducerande åtgärder sätts in och ny säkerhetsvärdering görs med åtgärder medräknade * Identifiering och grovanalys
Farligt gods	Utsläpp av annat giftigt ämne	* Semikvantitativt * Kvalitativt	* Identifiering och grovanalys * Endast identifiering
Yttre händelser	Vatteninträngning i tunneln (exempelvis pga. extremt hög havsvattennivå eller extremt högt eller lågt grundvatten)	* Kvalitativt * Semikvantitativt * Kvantitativt	* Endast identifiering * Identifiering och grovanalys * Riskreducerande åtgärder sätts in och ny säkerhetsvärdering görs med åtgärder medräknade * Analyseras inte vidare men dimen-

			sioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken
Övriga skadehändelser	Övriga direkta personolyckor (preciseras till olika preciseringar i olika rapporter – se Bilaga A)	* Kvalitativt * Semikvantitativt * Kvantitativt	* Riskreducerande åtgärder sätts in och ny säkerhetsvärdering görs med åtgärder medräknade * Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet

Tillståndsvariabler

De systemelement eller påfrestningar på systemet som kan ”förändras” i riskanalyserna, dvs. som kan anta mer än ett värde, beskrivs underförstått med hjälp av tillståndsvariabler. I verkligheten kan många av elementen anta oändligt många värden, medan vissa endast kan anta två värden: ”av och på”. De sistnämnda elementen, vilka kan exemplifieras med en signal som kan vara tänd eller släckt, utgör således inga större problem när en systemmodell tas fram, tillskillnad från de förstnämnda vilkas värden givetvis måste förenklas så långt det går. Sådana element kan exemplifieras med vinden genom en tunnel som kan ha oändligt många hastigheter och riktningar. Givetvis görs alltid grova förenklingar av sådana kontinuerliga tillståndsvariabler; det saknar mening att undersöka samtliga fall. Förenklingarna får dock inte göra att relevanta riskscenarier försvinner. Vindens riktning i en tunnel kan, för att fortsätta på samma exempel, vara avgörande för personsäkerheten vid brand, varför man kan förvänta sig gravt olika risknivåer beroende på vindriktning. Att bara ta med en vindriktning skulle således inte ge en tillfredställande verklighetsbild.

Det är endast i delfallstudierna Malmö och Stockholm, där det gjorts kvantitativa riskanalyser, som begreppet tillståndsvariabler kan appliceras. I delfallstudie Göteborg har man ännu inte gjort någon kvantitativ riskanalys varför denna fråga inte kan besvaras i detta fall.

Det är endast själva tillståndsvariabeln som är gemensam för delfallstudierna i vissa fall: i dessa fall redovisas möjliga värden som tillståndsvariabeln kan anta separat för varje delfallstudie.

Tabell 6: Typer av tillståndsvariabler och dess värden som finns beskrivna i både fallstudie Malmö och Stockholm.

Systemelement/påfrestning	Tillståndsvariabel	Möjliga värden
Brand	Placering i tåg	* Första eller sista vagnen (Malmö) * Mitten (Malmö)
		* I vagn (Stockholm) * Under vagn/i tak (Stockholm) * I hytt (Stockholm)
	Storlek	* < 1 MW * > 1 MW
	Uppkomst (givet urspårning/kollision)	* Ja * Nej
Brandförsvaret	Insats (givet olycka)	* Effektiv (Malmö) * Ej effektiv (Malmö)
		* Ja (Stockholm) * Nej (Stockholm)
Farligt gods	Frigjord och antänd brandfarlig vätska	* Ja * Nej
	Typ	* Giftiga och brandfarliga gaser (Malmö) * Brandfarlig vätska (Malmö)

		* Klass 1 (Stockholm) * Klass 2.1 (Stockholm) * Klass 2.3 (Stockholm) * Klass 3 (Stockholm) * Klass 5.1 (Stockholm) * Övriga klasser (Stockholm)
	Utsläpp av giftiga och brandfarliga gaser	* Litet utsläpp (Malmö) * Medel/Stort utsläpp (Malmö)
		* Ja (Stockholm) * Nej (Stockholm)
Människor ombord på drabbat tåg	Självräddning (vid utrymning)	* Effektiv * Ej effektiv
Signal	Stoppsignal	* Stopp * Ej stopp
Tåg	Hastighet	* Hög hastighet * Låg hastighet
	Stopp, placering (givet olycka)	* Stopp i tunnel * Stopp på station * Stopp på markspår
Vind	Vindriktning i tunneln	* Gynnsam * Ej gynnsam
Övrig tågtrafik	Kollision	* Persontåg * Godståg

Typen av infrastruktureller fel

De feltyper, enligt beskrivningen i avsnitt 3.4.3 ovan, som finns beskrivna i samtliga delfallstudier redovisas i Tabell 7 nedan.

Tabell 7: Feltyper som finns beskrivna i samtliga delfallstudier.

Typ av fel	Typ av påverkan	Beskrivning av påverkan
Kaskadfel	Påverkan av annan infrastruktur	Elkraftbortfall
	Påverkan på omgivning	Urspårning som ger påverkan på boende genom att fordon lämnar spårområdet och skadar byggnader eller personer i omedelbar närhet

Sluttillstånd

Sluttillstånden anges på skilda men likartade sätt i samtliga analyser och redovisas var för sig i respektive delfallstudies avsnitt nedan.

Diskussion om frågan om riskscenariorymden är täckt

I samtliga projekt har expertgrupper bestående av konsulter, myndigheter och andra intressenter i tunnelprojektet, träffats och "brainstormat" för att identifiera så många tänkbara risker som möjligt. Riskhanteringen i samtliga projekt har varit en iterativ process, dvs. med tiden har fler riskscenarier identifierats. Dessutom har externa krav på riskanalyser av speciella scenarier från exempelvis länsstyrelse bidragit till vilka risker som analyserats.

Generellt har dock frågan om hänsyn tagits till hela riskscenariorymden inte diskuterats explicit. Den gemensamma säkerhetsfilosofin, att två av varandra oberoende händelser inte inträffar samtidigt, bidrar exempelvis direkt till att vissa riskscenarier inte identifieras överhuvudtaget.

6.5 Från referensram avvikande resultat för delfallstudie Göteborg

I detta avsnitt beskrivs de resultat från delfallstudie Göteborg som avviker från ovan beskriven referensram, dvs. all data som endast förekommer i detta fallstudieobjekt eller i två av fallstudieobjekten. För detaljerad beskrivning av varje fråga, se Bilaga A.

6.5.1 Beskrivning av system

Nedan redovisas den data som samlats in i delfallstudie Göteborg som relaterar till systembeskrivning – främst i systemets normaltillstånd – och som avviker från referensramen.

Systemelement

I Tabell 8 nedan beskrivs de systemelement som explicit eller implicit finns beskrivna i delfallstudie Göteborg och avviker från referensramen.

Tabell 8: Systemelement som finns beskrivna i delfallstudie Göteborg och avviker från referensram.

Systemelement	Kategori	Typ av systemelement
Urspårningsräler	Infrastruktur	Artefakt
Tekniska försörjningssystem	Infrastruktur	Artefakt
Nära belägen naturgasledning	Omgivning	Artefakt
Vägbro över spår	Omgivning	Artefakt
Trafikseparation	Skadereducerande	Artefakt
Fordonsidentifiering	Skadereducerande	Artefakt
Nödbromsblockering	Skadereducerande	Artefakt

Beroenden

I Tabell 9 nedan beskrivs de olika typer av beroenden mellan systemelement som finns beskrivna i delfallstudie Göteborg och avviker från referensramen.

Tabell 9: Beroenden som finns beskrivna i delfallstudie Göteborg och avviker från referensram.

Typ av beroende	Påverkande element	Påverkat element
Fysiska beroenden	Annan kollektivtrafik	Trafik i tunneln
Informationsberoenden	Fjärrstyrning	Signalsystem
Geografiskt beroende	Kabelstråk för elkraft, styrning och säkerhetssystem	Tillgänglighet i elkraft

6.5.2 Beskrivning av påfrestningar på system

I detta avsnitt redovisas den data som samlats in i fallstudien som relaterar till beskrivningar av påfrestningar på systemet och finns beskrivna i delfallstudie Göteborg och avviker från referensramen.

Typer av initierande händelser

I Tabell 10 nedan beskrivs de olika typer av initierande händelser som finns beskrivna i delfallstudie Göteborg och avviker från referensramen.

Tabell 10: Typer av initierande händelser som finns beskrivna i delfallstudie Göteborg och avviker från referensram. Att flera punkter förekommer inom samma ruta innebär att den specifika analysen eller riskbehandlingen som listas förekommer i minst en av de aktuella fallstudiedokumenterna; alltså är flera alternativ möjliga.

Händelsekategori	Typ av initierande händelse	Typ av analys	Behandling av risk
Yttre händelser	Jordbävning/skred i närområde som påverkar tunneln	* Kvalitativt * Semikvantitativt	* Endast identifiering * Identifiering och grovanalys
	Konstruktionskollaps	* Kvalitativt * Semikvantitativt * FMEA	* Endast identifiering * Identifiering och grovanalys * Riskreducerande åtgärder sätts in för att minimera stopptid i trafiken
	Sabotage, terrorism	* FMEA	* Riskreducerande åtgärder sätts in för att minimera stopptid i trafiken
	Kemikalieutsläpp (som kan skada teknisk utrustning)	* Kvalitativt	* Endast identifiering
	Brott på huvudvattenledning	* Kvalitativt	* Endast identifiering
	Brott på fjärrvärmeledning	* Kvalitativt	* Endast identifiering
	Tunnelras – ej kollaps	* FMEA	* Riskreducerande åtgärder sätts in för att minimera stopptid i trafiken
Övriga skadehändelser	Utrymning av station från plattform (inte brand)	* Kvalitativt	* Identifiering och grovanalys
	Utrymning av station från rulltrappor (inte brand)	* Kvalitativt	* Identifiering och grovanalys
	Kombinerade händelser	* Kvalitativt	* Endast identifiering
	Tågstopp – andra orsaker (se Bilaga A)	* FMEA	* Riskreducerande åtgärder sätts in
	Oljespill vid underhåll (max 1 m ²)	* FMEA	* Identifiering och grovanalys
	Kontaktledningsfel	* FMEA	* Identifiering och grovanalys
	Sättning	* FMEA	* Identifiering och grovanalys
	Kryssväxel ur kontroll	* FMEA	* Identifiering och grovanalys
	Kontaktledningsdrivning	* FMEA	* Identifiering och grovanalys
	Spårledningsfel	* FMEA	* Identifiering och värdering
	Signalfel	* FMEA	* Identifiering och grovanalys
	El-anläggningar slås ut	* FMEA	* Identifiering och grovanalys

Tillståndsvariabler

Eftersom kvantitativa riskanalyser ännu inte utförts för Västlänken är denna fråga inte applicerbar i denna delfallstudie.

Typer av infrastrukturrelaterade fel

De feltyper, enligt beskrivningen i avsnitt 3.4.3 ovan, som finns beskrivna i delfallstudie Göteborg och som avviker från referensramen redovisas i Tabell 11 nedan.

Tabell 11: Feltyper som finns beskrivna i delfallstudie Göteborg och som avviker från referensramen.

Typ av fel	Typ av påverkan	Beskrivning av påverkan
Kaskadfel	Påverkan av annan infrastruktur	Påverkan på Västlänken pga. stopp för spårvagnar på grund av strömavbrott i Brunnsparken
		Påverkan på Västlänken pga. stora förseningar i busstrafiken på grund av köer i Tingsstadstunneln
		Påverkan på Västlänken pga. stopp för fjärrtågstrafiken i Gårdatunneln
		Brott på huvudvattenledningar
		Brott på fjärrvärmeledningar

Sluttillstånd

Systemets sluttillstånd efter påfrestning beskrivs i delfallstudie Göteborg i riskanalyserna enligt Tabell 12 nedan. Notera att i denna delfallstudie handlar konsekvensklasserna endast om personskador i olika grad. I MIR övningarna som gjorts för att identifiera risker (se avsnitt 6.3.1 ovan) vägdes dock konsekvenser i form av samhällskostnad, uppdelat i liten konsekvens (< 1 miljon kronor i samhällskostnad) samt stor konsekvens (> 1 miljon kronor i samhällskostnad) [A3]. I ett annat dokument [A6], som redovisar en FMEA-analys med fokus på underhållsaspekter, mäts konsekvenser i form av stopptider. Tabell 12: Sluttillstånd som beskrivs i riskanalyser i delfallstudie Göteborg.

Konsekvensklass	Beskrivning	Personskada
1	Obetydligt	Lindriga skador
2	Betydligt	En svår skadad
3	Allvarligt	Flera svårt skadade
4	Mycket allvarligt	En död och/eller flera svårt skadade
5	Mycket stora konsekvenser	Flera döda och svårt skadade

Diskussion om frågan om riskscenariorymden är täckt

För Västlänken har bland annat metodiken MIR använts för att identifiera risker. Det skrivs beträffande MIR-övningarna att: *”Metodiken gör inte anspråk på att vara heltäckande. Ytterligare skyddsobjektstyper kan därför i vissa fall vara relevanta för hur projekt Västlänken exponerar omgivningen. Analyserade skyddsobjektstyper bör dock täcka in en stor del av den exponerade omgivningen.”* [A1, s. 23].

I olyckskatalogen anges ett av riskscenarierna som ”annat”, vilket förklaras som: *”Skadehändelser som inte har kunnat identifierats då händelsen inte tidigare har inträffat eller inte har funnits tidigare men som kan uppkomma i framtiden. Möjliga orsaker är kombinationshändelser eller då ny teknik införs som inte provas säkerhetsmässigt i station och tunnelsammanhang.”* [A4, s. 19].

Det görs dock ingen vidare analys av detta ”riskscenari”, endast en värdering av dess trolighet.

6.6 Från referensram avvikande resultat för delfallstudie Malmö

I detta avsnitt beskrivs de resultat från delfallstudie Malmö som avviker från ovan beskriven referensram, dvs. all data som endast förekommer i detta fallstudieobjekt eller i två av fallstudieobjekten. För detaljerad beskrivning av varje fråga, se Bilaga A.

6.6.1 Beskrivning av system

Nedan redovisas den data som samlats in i delfallstudie Malmö som relaterar till systembeskrivning – främst i systemets normaltillstånd – och som avviker från referensramen.

Systemelement

I Tabell 13 nedan beskrivs de systemelement som explicit eller implicit finns beskrivna i delfallstudie Malmö och avviker från referensramen.

Tabell 13: Systemelement som finns beskrivna i delfallstudie Malmö och avviker från referensram.

Systemelement	Kategori	Typ av systemelement
Bana ovan mark	Infrastruktur	Artefakt
Station ovan mark	Infrastruktur	Artefakt
Tåg i markspår (kan omfatta farligt gods)	Infrastruktur	Artefakt
Egen egendom	Infrastruktur	Artefakt
Omgivande vägar	Omgivning	Artefakt
Nära belägen naturgasledning	Omgivning	Artefakt
Närliggande § 43- anläggningar	Omgivning	Artefakt
Vägbro över spår	Omgivning	Artefakt
Nödbroms	Skadereducerande	Artefakt
Släckvattensystem	Skadereducerande	Artefakt
Jordningspunkter i rökfri miljö	Skadereducerande	Artefakt
Eluttag för räddningstjänsten	Skadereducerande	Artefakt
Kontinentalbanan	Skadereducerande	Artefakt
Nödbromsblockering	Skadereducerande	Artefakt

Beroenden

I Tabell 14 nedan beskrivs de olika typer av beroenden mellan systemelement som finns beskrivna i delfallstudie Malmö och avviker från referensramen.

I rapporten SITS (Säkerhet i Tekniska System och Funktioner) [B8] anges funktionella krav för tunnelns alla tekniska komponenter. I rapporten identifieras vissa beroenden mellan olika element men främst i dimensioneringssyfte; inte som riskanalys av vad som kan hända efter en viss initierande händelse. Beroenden mellan olika tekniska system kartläggs således inte vidare: projekteringen bygger på att varje enskilt system ska hålla hög säkerhet och tillförlitlighet.

Tabell 14: Beroenden som finns beskrivna i delfallstudie Malmö och avviker från referensram.

Typ av beroende	Påverkande element	Påverkat element
Fysiska beroenden	Elkraft	<ul style="list-style-type: none"> * SCADA * Tele- och kommunikationsradio inkl. tågradio * Högtalare * Vägledande belysning * Belysta vägledande markeringar * Automatiskt brandlarm * Styrutrustning för hissar, rulltrappor och rullramper * Brandgaskontrollsystem * Släckvatten * Jordningspunkter i rökfri miljö * Belysta utgångar * ITV * Informationssystem * Eluttag för räddningstjänsten
Informationsberoenden	SCADA (styrning och/eller övervakning)	<ul style="list-style-type: none"> * Elkraftförsörjning * Avbrottsfri kraft * Lågspänningsdistribution * Normal belysning * Nödbelysning * Belysning av utgång * Högtalare på stationerna Malmö CN och Triangeln * ITV * Nödtelefoner * Automatiskt brandlarm * Inbrottslarm * Brandgaskontrollsystem * Släckvattensystem * Utrustning för styrning av hissar, rulltrappor och rullramper.
	DLC	* SCADA

6.6.2 Beskrivning av påfrestningar på system

I detta avsnitt redovisas den data som samlats in i fallstudien som relaterar till beskrivningar av påfrestningar på systemet och finns beskrivna i delfallstudie Malmö och avviker från referensramen.

Typer av initierande händelser

I Tabell 15 nedan beskrivs de olika typer av initierande händelser som finns beskrivna i delfallstudie Malmö och avviker från referensramen.

Tabell 15: Typer av initierande händelser som finns beskrivna i delfallstudie Malmö och avviker från referensram. Att flera punkter förekommer inom samma ruta innebär att den specifika analysen eller riskbehandlingen som listas förekommer i minst en av de aktuella fallstudiedokumenterna; alltså är flera alternativ möjliga.

Händelsekategori	Typ av initierande händelse	Typ av analys	Behandling av risk
Brand	Brand i annat tåg	* Kvantitativt	* Riskreducerande åtgärder sätts in och ny säkerhetsvärdering görs med åtgärder medräknade
	Brand/explosion i naturgasledning	* Kvalitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skydde
Farligt gods	Farligt gods olycka i omgivning (preciseras till	* Kvalitativt	* Motiveras bort pga. att det ej tros påverka risk-

	olika placeringar i olika rapporter – se Bilaga A)		bilden i större utsträckning
	Utsläpp av farligt gods på befintligt markspår	* Semikvantitativt * Kvantitativt	* Identifiering och grov-analys * Acceptabel risk
Yttre händelser	Externa arbeten som kan skada tunneln (Bortschaktad eller bortspolad fyllning)	* Kvalitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken
	Extrema köldmängder	Kvalitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken
	Jordbävning/skred i närområde som påverkar tunneln	* Kvalitativt * Semikvantitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet * Identifiering och grov-analys * Motiveras bort pga. att det ej tros påverka risk-bilden i större utsträckning * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken.
	Påsegling av fartyg på tunnel	* Kvalitativt * Semikvantitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet * Endast identifiering * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken
	Blixtnedslag	* Kvalitativt	* Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken
	Översvämning av markspår	Kvalitativt	Motiveras bort pga. att det ej tros påverka risk-bilden i större utsträckning

Tillståndsvariabler

I Tabell 16 nedan beskrivs de olika typer av tillståndsvariabler med tillhörande möjliga värden som finns beskrivna i delfallstudie Malmö och avviker från referensramen.

Det är endast i Säkerhetsvärderingarna, dvs. [B7 och B9] som begreppet tillståndsvariabler kan appliceras: i övriga rapporter beskrivs endast ”statiska” riskscenarier, dvs. egentligen endast en riskidentifiering.

Tabell 16: Typer av tillståndsvariabler och dess värden som finns beskrivna i delfallstudie Malmö och som avviker från referensramen.

Systemelement/Påfrestning	Tillståndsvariabel	Möjliga värden
Brand	Brandutveckling	* Slow * Medium * Fast
Farligt gods	Frigjord och antänd brandfarlig vätska	* Ja * Nej
Nödbroms	Hävning av nödbroms (givet brand)	* Misslyckas * Lyckas
Tåg	Stopp, anledning (givet brand)	* Fordonsfel * Banfel * Mänskligt felhandlande * Nödbroms aktiverad av passagerare * Fel
Vind	Vindhastighet (backflow ¹⁹) i tunneln och dess påverkan av tågimpulser ²⁰	* Backflow = 0,7; tågimpuls = minus backflow * Backflow = 0,7; tågimpuls = plus backflow * Backflow = 2,3; tågimpuls = minus backflow

Typer av infrastrukturelaterade fel

De feltyper, enligt beskrivningen i avsnitt 3.4.3 ovan, som finns beskrivna i delfallstudie Malmö och som avviker från referensramen redovisas i Tabell 17 nedan.

Tabell 17: Feltyper som finns beskrivna i delfallstudie Malmö och som avviker från referensramen.

Typ av fel	Typ av påverkan	Beskrivning av påverkan
Kaskadfel	Påverkan på annan infrastruktur	Urspärning som orsakar mekanisk påverkan på trafikanter på broar över spår genom att fordon lämnar spårområdet och skadar bro.
		Brand/explosion i naturgasledningar som följd av kollision/urspärning av tåg [analyseras ej vidare]
	Påverkan av annan infrastruktur	Farligt godsolyckor på yttre ringvägen [analyseras ej vidare]
		Farligt godsolycka i hamnområde som påverkar tunneln [analyseras ej vidare]
		Farligt godsolyckor på anslutningsvägar till inre ringvägen [analyseras ej vidare]
		Påsegling av fartyg på tunnel under Suellsbron [analyseras ej vidare]

Sluttillstånd

Systemets sluttillstånd efter påfrestning beskrivs i delfallstudie Malmö i riskanalyserna enligt Tabell 18 nedan. Notera att konsekvensklass ”K1” och ”K2” är av typen ”ja/nej” men konsekvensklass ”K3” till ”K5” är en gradering av en och samma typ av konsekvens, dvs. antalet döda.

I Säkerhetsvärderingen [B9], vilket är en övergripande riskanalys för Citytunneln, anges för varje riskscenario fördelningen mellan konsekvensklasserna. Exempelvis kan ett riskscenario ha 20 % av ”K1” och 80 % av ”K3”.

¹⁹ Backflow är lufthastighet i tunneln pga. vindlast utifrån tunneln via tunnelmynningar.

²⁰ Tågimpuls är den lufthastighet som uppkommer pga. tåginsbromsning i tunneln.

Tabell 18: Sluttillstånd som beskrivs i riskanalyser i delfallstudie Malmö.

Konsekvensklass	Beskrivning	Tolkning i [B9]
K1	Materiella skador	
K2	Skadade människor	
K3	Enstaka döda	1 – 3 döda
K4	Flera döda	3 – 30 döda
K5	Många döda	> 30 döda

Diskussion om frågan om riskscenariorymden är täckt

I bland annat [B2, s. 3] påpekas att riskidentifieringen i Citytunneln ”... *inte är någon engångsföreteelse utan skall utföras löpande under projektets framdrift i enlighet med fastställd plan.*” Brainstorming har använts som metod, med motiveringen att man då ska hitta så många risker som möjligt. Vidare ska varje medarbetare som i sitt dagliga arbete identifierar en risk skicka in en observationsrapport till ansvariga för riskfrågor.

I [B3, s. 4] nämns att tunnelarna konstrueras för en livslängd på 120 år och att man under denna tidsperiod kan förvänta sig att ett antal olyckor och olika typer av extrema situationer inträffar. Vidare skrivs att ”*De mer frekventa olyckorna är kända och konsekvenserna tas om hand genom de grundläggande dimensioneringsvärden som kan hämtas ur regler, kravspecifikationer och handböcker. Olyckor och extrema situationer med stora konsekvenser men som inträffar med lågfrekvens utgör risker som måste hanteras specifikt för projektet.*”

6.7 Från referensram avvikande resultat för delfallstudie Stockholm

I detta avsnitt beskrivs de resultat från delfallstudie Stockholm som avviker från ovan beskriven referensram, dvs. all data som endast förekommer i detta fallstudieobjekt eller i två av fallstudieobjekten. För detaljerad beskrivning av varje fråga, se Bilaga A.

6.7.1 Beskrivning av system

Systemelement

I Tabell 19 nedan beskrivs de systemelement som explicit eller implicit finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och som avviker från referensramen.

Tabell 19: Systemelement som finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och som avviker från referensram.

Systemelement	Kategori	Typ av systemelement
Egen egendom	Infrastruktur	Artefakt
Bana ovan mark	Infrastruktur	Artefakt
Nödbroms	Infrastruktur	Artefakt
Station ovan mark	Infrastruktur	Artefakt
Tåg i markspårsdel (kan omfatta farligt gods)	Infrastruktur	Artefakt
Urspåringsräler	Infrastruktur	Artefakt
Tekniska försörjningssystem	Infrastruktur	Artefakt
Ventilation	Infrastruktur	Artefakt
Omgivande vägar	Omgivning	Artefakt
Tunnelbana	Omgivning	Artefakt
Släckvattensystem	Skadereducerande	Artefakt
Jordningspunkter i rökfri miljö	Skadereducerande	Artefakt
Sprinkler	Skadereducerande	Artefakt
Avvattning (pumpar)	Skadereducerande	Artefakt
Skyddsportar (mot översvämning)	Skadereducerande	Artefakt
System för stopp av inpasserande resenärer på station	Skadereducerande	Artefakt
Fordonsidentifiering	Skadereducerande	Artefakt

Beroenden

I Tabell 20 nedan beskrivs de olika typer av beroenden mellan systemelement som finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och som avviker från referensramen.

I rapporten SITS (Säkerhet i Tekniska System och Funktioner) [C9] anges liksom i delfallstudie Malmö funktionella krav för tunnelns alla tekniska komponenter. I rapporten identifieras vissa beroenden mellan olika element men främst i dimensioneringsyfte; inte som riskanalys av vad som kan hända efter en viss initierande händelse. Beroenden mellan olika tekniska system kartläggs således inte vidare: projekteringen bygger på att varje enskilt system ska hålla hög säkerhet och tillförlitlighet.

Tabell 20: Beroenden som finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och som avviker från referensram.

Typ av beroende	Påverkande element	Påverkat element
Fysiska beroenden	Elkraft	<ul style="list-style-type: none"> * SCADA * Tele- och kommunikationsradio inkl. tågradio * Högtalare * Vägledande belysning * Belysta vägledande markeringar * Automatiskt brandlarm * Styrutrustning för hissar, rulltrappor och rullramper * Brandgaskontrollsystem * Släckvatten * Jordningspunkter i rökfri miljö * Belysta utgångar * ITV * Informationssystem * Eluttag för räddningstjänsten
Informationsberoenden	SCADA (styrning och/eller övervakning) [B8]	<ul style="list-style-type: none"> * Elkraftförsörjning * Avbrottsfri kraft * Lågspänningsdistribution * Normal belysning * Nödbelysning * Belysning av utgång * Högtalare på stationerna * ITV * Nödtelefoner * Automatiskt brandlarm * Inbrottslarm * Brandgaskontrollsystem * Släckvattensystem * Utrustning för styrning av hissar, rulltrappor och rullramper.
	DLC	* SCADA
	Informationssystem	* Resenärer (trängsel)
	Alarm för högt vattenstånd i tunnel	* Citybanan
	MobiSIR (GSM-R), mobiltelefonnät och telefon	* Tågtrafik
	Kameraövervakning och brandlarm	* Plattform
	Utrymning i Citybanan (brand, strömbrott, översvämning)	* Tunnelbanan

6.7.2 Beskrivning av påfrestningar på system

I detta avsnitt redovisas den data som samlats in i fallstudien som relaterar till beskrivningar av påfrestningar på systemet och finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och som avviker från referensramen.

Typer av initierande händelser

I Tabell 21 nedan beskrivs de olika typer av initierande händelser som finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och avviker från referensramen.

Tabell 21: Typer av initierande händelser som finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och avviker från referensram. Att flera punkter förekommer inom samma ruta innebär att den specifika analysen eller riskbehandlingen som listas förekommer i minst en av de aktuella fallstudiedokumenterna; alltså är flera alternativ möjliga.

Händelsekategori	Typ av initierande händelse	Typ av analys	Behandling av risk
Brand	Brand i tunnelbana	* Kvalitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet * Riskreducerande åtgärder sätts in * Endast identifiering
Farligt gods	Farligt gods olycka i omgivning (preciseras till olika placeringar i olika rapporter – se Bilaga A)	* Kvantitativt	* Acceptabel risk
	Utsläpp av farligt gods på befintligt markspår	* Semikvantitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet
	Farligt gods i persontåg	* Kvalitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet
Yttre händelser	Externa arbeten som kan skada tunneln (Bortschaktad eller bortspolad fyllning)	* Kvantitativt	* Riskreducerande åtgärder sätts in
	Påsegling av fartyg på tunnel	* Kvantitativt * Kvalitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet * Riskreducerande åtgärder sätts in * Endast identifiering
	Blixtnedslag	* Kvalitativt	* Endast identifiering
	Strömavbrott	* Kvalitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet
	Kortslutning	* Semikvantitativt	* Riskreducerande åtgärder sätts
	Konstruktionskollaps	* Kvalitativt * Kvantitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet * Riskreducerande åtgärder sätts in * Endast identifiering
	Sabotage, terrorism	* Kvalitativt	* Endast identifiering * Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet
Övriga skadehändelser	Vibrationer	* Semikvantitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet
	Fel tågtyp i tunnel	* Kvalitativt	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet

Tillståndsvariabler

I Tabell 22 nedan beskrivs de olika typer av tillståndsvariabler med tillhörande möjliga värden som finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och avviker från referensramen.

Det är endast i Säkerhetsvärderingarna som begreppet tillståndsvariabler kan appliceras: i övriga rapporter beskrivs endast ”statiska” riskscenarier, dvs. egentligen endast en riskidentifiering.

Tabell 22: Typer av tillståndsvariabler och dess värden som finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och som avviker från referensramen.

Systemelement/påfrestning	Tillståndsvariabel	Möjliga värden
Brand	Detektion (givet brand i tåg)	* Larmsystem * Personal * Passagerare
Farligt gods	Påverkan på farligt gods	* FAGO * EJ FAGO
	Tid på dygnet (givet urspårning)	* natt * Dag
Tunneltyp	Antal spår	* Enkelspår * Flerspår
Tåg	Färdriktning	* Norrgående * Södergående
	Utrymning inom tillgänglig tid (givet brand i tunnel)	* Ja * Nej
	Påverkan av brandgaser på personer (givet utrymning vid brand)	* Ja * Nej
	Sammanstötning	* Ja * Nej
	Typ av sammanstötning	* Tung * Lätt
	Urspårning	* Ja * Nej
	Urspårningsbegränsare fungerar	* Ja * Nej
	Kollision med bergvägg (givet urspårning)	* Ja * Nej
	Spridning (givet urspårning)	* < 1 m * > 1 m
	Vagn välter (givet urspårning)	* Ja * Nej
	Sammanstötning med annat tåg (givet urspårning)	* Ja * Nej
	Trafiktyp	* Lågtrafik * Högtrafik * Störning

Typer av infrastrukturelaterade fel

De feltyper, enligt beskrivningen i avsnitt 3.4.3 ovan, som finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och som avviker från referensramen redovisas i Tabell 23 nedan.

Tabell 23: Feltyper som finns beskrivna i delfallstudie Stockholm och som avviker från referensramen.

Typ av fel	Typ av påverkan	Beskrivning av påverkan
Kaskadfel	Påverkan på annan infrastruktur	Urspårning på Centralbron, (med eller utan giftiga ämnen), Stockholm Södra. Spår blir blockerade och påverkar där av annan tågtrafik.
		Brand Stockholms södra, stationen stängd för trafik 3 dygn, påverkar pendeltåg, fjärr/regionaltåg, godståg
		Brand påverkar elförsörjning, utreds inte vidare
	Påverkan av annan infrastruktur	Farligt godsolycka vid station Stockholm Södra
		Påsegling av fartyg på tunnel

Sluttillstånd

Systemets sluttillstånd efter påfrestning beskrivs i delfallstudie Stockholm i riskanalyserna enligt Tabell 24 nedan. Notera att konsekvensklass "C1" och "C2" är av typen "ja/nej" men konsekvensklass "C3" till "C7" är en gradering av en och samma typ av konsekvens, dvs. antalet döda.

För varje riskscenario i riskanalyserna för Citybanan beräknas sannolikheten för varje konsekvens enligt Tabell 24 nedan.

Tabell 24: Sluttillstånd som beskrivs i riskanalyser i delfallstudie Stockholm.

Konsekvensklass	Beskrivning
C1	Materiella skador
C2	Skadade människor
C3	1 – 3 döda
C4	4 – 10 döda
C5	11 – 30 döda
C6	31 – 100 döda
C7	>100 döda

Diskussion om frågan om riskscenariorymden är täckt

Olyckskatalogen för Citybanan innehåller de identifierade oönskade händelser som kan leda till skadade eller omkomna resenärer, tågpersonal eller 3:e man. Katalogen utgör en utgångspunkt för riskvärdering och har utvärderats med berörda organisationer och experter från olika områden, för att säkerställa att "rätt" riskscenarier tagits fram [C10]. Eller, som finns beskrivet i den översiktliga riskanalysen; "Olyckskatalogen har kommunicerats med berörda organisationer och sakområdesexperter för att säkerställa att alla de möjliga olyckor som kan inträffa på Citybanan är inkluderade." [C8, s. 13].

7 SAMMANSTÄLLNING AV FALLSTUDIE

I detta kapitel redovisas det resultat och de slutsatser som dragits av analysarbetet utifrån examensarbetets övergripande frågeställningar: dvs. *när*, *varför* och framförallt *hur* riskanalyser utförs vid projektering av järnvägstunnlar.

7.1 När och varför riskanalyser utförs vid projektering av järnvägstunnlar

Först och främst kan det konstateras att det i samtliga delfallstudier verkar finnas ett allmänt risktänkande som är integrerat och finns med under hela projekteringen. Vilka riskanalyser som görs i vilka skeden skiljer sig dock något mellan delfallstudierna. I delfallstudierna Malmö och Stockholm har riskanalyser gjorts i samtliga skeden. I generella drag kan det konstateras att man i förstudien främst tittat grovt på vilka dragningsalternativ som är aktuella och i järnvägsutredningen har man gått in på en något högre detaljeringsnivå och utfört grovanalyser. Därefter, inför och under järnvägsplanen, har mer detaljerade och ofta kvantitativa riskanalyser utförts. I delfallstudie Göteborg har man inte gjort någon riskanalys i förstudien, även om man diskuterar riskfrågorna kvalitativt i viss mån. Däremot har man i järnvägsutredningen (det skede vilket man vid rapportens skrivande hunnit till) utfört omfattande grovanalys där även robusthetsutredningar ingår.

Krav på att riskanalyser ska utföras och på hur de ska utföras kommer främst internt från Banverket samt från det specifika projektet.

Banverkets interna krav när det gäller personsäkerhet finns i första hand angivna i handboken BVH 585.30 (Banverket, 2007), som särskilt behandlar tunnlar, men även i handboken BVH 806.7 (Banverket, 2006) vilken ur ett robusthets- och sårbarhetsperspektiv beskriver aspekter som är relevanta ur ett personsäkerhetsperspektiv. För dimensionering av olyckslaster har man utgått från BV Tunnel (Banverket, 2005). I vilken utsträckning man använt sig av metoderna i ovanstående handböcker i de olika projekten varierar dock. I de fallstudiedokument som studerats har exempelvis tankegångar från BVH 806.7 inte kunnat ses i någon större omfattning. Riskanalysmetodiken i BVH 585.30 har dock i de flesta fall följts i relativt stor utsträckning.

De interna krav på riskanalyser från de specifika projekten som finns har angetts dels i form av dokumenterade principer för hela projektets säkerhetsarbete, dels i form av projektets risksamordnares krav. Dessa projektinterna krav tillkommer i stor utsträckning på grund av lokala förhållanden, som gör att vissa specifika riskanalyser krävs. Ett exempel på detta är att Citybanan kommer att gå under samhällsviktiga byggnader, såsom regeringskansliet och Högsta Domstolen, vilket givetvis kräver särskild beaktning.

Mer allmänna och övergripande krav på god säkerhet finns i lagar och förordningar; där finns dock inga direkta krav på när och hur riskanalyser ska utföras. Den viktigaste lagen som styr säkerheten i järnvägssystemen torde vara Järnvägslagen (2004:519), men det finns därtill ett stort antal andra lagar som rör säkerheten i järnvägssystem, se avsnitt 5.2 för en mer noggrann beskrivning.

Risikanalyserna görs för att identifiera och värdera de risker som ingår i olycks katalogen²¹ och för att jämföra risknivån i tunneln med de riskkriterier som Banverket har satt upp, dvs. att det ska vara lika säkert att färdas i tunneln som i öppet markspår om man räknar bort risken från plankorsningar. I de fall riskanalyserna visar att risknivån är för hög jämfört med kriterierna sätts åtgärder in.

7.2 Hur riskanalyser utförs vid projektering av järnvägstunnlar

Att reda ut hur man jobbar med att analysera risker vid projektering av järnvägstunnlar har visat sig ge en mindre rättvisande bild av verkligheten om de fallstudiedokument som studeras begränsas till att endast omfatta de ”regelrätta” riskanalyser – och då menas här i första hand kvantitativa riskanalyser – som utförts. Under fallstudiens genomförande har det nämligen framkommit att analyserandet av risker i samband med tunnelprojektet inte begränsas till endast ”säkerhetsvärderingarna”, dvs. vad man normalt kallar riskanalyser: man jobbar även med denna typ av frågor på andra sätt, exempelvis genom scenariospel och robusthetsutredningar. Av denna anledning ges begreppet riskanalyser i detta sammanhang ett relativt brett omfång.

Bland fallstudiedokumentet har således inte bara kvalitativa eller kvantitativa riskanalyser tagits med, utan all dokumentation som hittats och som relaterar till risk- och säkerhet på olika sätt. Det har uppenbarats att man i den senare typen av rapporter har en vidare systemsyn än i den förra, ett faktum som anses vara viktigt att belysa i denna studie. Dock blir det, som följd utav detta, en smula problematiskt att diskutera vissa av fallstudiefrågorna eftersom analyserna är av sådan skiftande karaktär. Fördelen är dock att studien visar på det riskarbete som faktiskt görs med ett vidare perspektiv än vad de kvantitativa riskanalyserna enskilt skulle ha gjort sken av.

7.2.1 Systembeskrivning

Systemelement

Den referensram som skapats utifrån gemensamma faktorer i fallstudiens datainsamling ger en bild av vilka av dessa faktorer som bortsett från lokala faktorer och ur riskanalysförfattarnas synpunkt anses vara relevanta att ta med i riskanalyserna och i övriga säkerhetsrelaterade dokument.

De typer av systemelement och dess inbördes relationer som bygger upp riskanalysernas verklighetsmodell, dvs. system, består i huvudsak av artefakter; men agenter och agents förmåga beskrivs också i viss utsträckning. Artefakter i tunnelsystemet, dvs. främst de tekniska delsystemen, beskrivs generellt på en övergripande systemnivå och inte med dess enskilda komponenter. Exempelvis beskrivs stoppsignaler i tunnelsystemet som en helhet, och inte varje stoppsignal för sig. De agenter som beskrivs i riskanalyserna är i första hand drift- och underhållspersonal, infrastruktur-utnyttjare och skadereducerande, såsom räddningstjänst.

Det finns naturligtvis skillnader i systembeskrivning mellan de olika delfallstudierna. Dessa tros främst bero på skillnader i lokala förhållanden samt att man kommit olika långt i projekteringen. Detta förklarar exempelvis varför analyserna i Göteborgsfallet är på mer övergripande nivå än vad som är fallet i de två andra delfallstudierna.

²¹ Olycks katalogen är specifik för varje projekt och ibland för varje riskanalys och innefattar de identifierade riskscenarier som riskanalysen/risikanalyserna i tunnelprojekteringen bygger på.

Det är främst vilka artefakter som tas med som skiljer mellan delfallstudierna; beskrivningen av agenter görs på samma sätt i samtliga riskanalyser. Det är dock svårt att se någon tydlig skillnad i hur systemavgränsningar satts i de olika delfallstudierna. I varje delfallstudie förekommer vissa lokala omgivningsförhållanden som på något sätt märks i riskanalyserna, exempelvis vägbro eller hus i omgivningen. Att ett systemelement finns representerat betyder emellertid inte alltid att de sedan ingått i en djupare analys, att det ingår i något riskscenario: i vissa fall ”motiveras” risken bort. Det är tydligt att man i första hand bygger upp systemmodellen av tunnelsystemet ur ett lokalt perspektiv.

Beroenden

Även sett till hur beroendena beskrivs kan man se att systembeskrivningen tenderar att vara avgränsad till tunneln och stationerna som ett lokalt, delvis isolerat system. Generellt sett verkar det i de kvantitativa riskanalyserna inte finnas någon större hänsyn tagen till beroenden som sträcker sig utanför detta lokala system; såsom hur andra infrastruktursystem exempelvis kan påverka tunnelsystemet.

I delfallstudie Göteborg kan man se att ett vidare synsätt använts än i de två övriga delfallstudierna; här har man även utrett hur stopp i annan infrastruktur påverkar Västlänken. I delfallstudierna Malmö och Stockholm har sådana utredningar inte hittats, däremot förekommer till en viss grad beroendeanalys genom de scenariospel som utförts i dessa två delfallstudier. Scenariospelen är inriktade på att få organisationen att fungera vid påfrestningar. Dessa scenariospel har främst genomförts i form av ett kvalitativt resonemang där minnesanteckningar förts som dokumentation av resultaten. De beroenden som identifieras i scenariospelen är främst av typen agent-agent eller agent-artefakt/naturföremål.

Beroenden mellan artefakter och artefakter-naturföremål, främst i form av beroenden mellan tekniska system inom tunneln diskuteras i viss utsträckning i SITS-dokumenterna, vilka anger dimensioneringsförutsättningar för tekniska komponenter och system utan att egentligen analysera riskscenarierna. Dessa typer av beroenden diskuteras i mycket liten utsträckning i de kvantitativa riskanalyserna som ligger till grund för riskvärderingen.

7.2.2 Påfrestningar på systemet

Initierande händelser och riskscenarier

Riskidentifieringen, som ligger till grund för vilka initierande händelser som beskrivs, har generellt utförts genom brainstorming med grupper som varit sammansatta av olika kompetenser. Vid de i tiden senare projekten har man till viss del använt sig av resultat från riskidentifiering från tidigare projekt. I delfallstudie Stockholm har man således tittat på delfallstudie Malmö och i delfallstudie Göteborg har man tittat på både delfallstudie Malmö och delfallstudie Stockholm. I viss mån har även samma personer varit inblandade i personsäkerhetsfrågor inom varje fallstudieobjekt.

De riskscenarier som identifierats och som ansetts relevanta för den totala risknivån har analyserats djupare; ofta med kvantitativa metoder. Riskscenarierna är i första hand riktade mot urspårning, sammanstötning och brand. Andra ”direkta” risker mot tunnelsystemet tas också upp, men då oftast mer kvalitativt och mer eller mindre omfattande. I vissa fall har separata utredningar med ett vidare perspektiv än det lokala gjorts; dessa ingår dock inte i de kvantitativa riskanalyserna. De ger alltså inget

bidrag till tunnelns kvantitativa riskvärdering. I delfallstudierna Malmö och Stockholm kan scenariospelen sägas vara sådana separata utredningar. I vissa fall har man sagt att risker som uppkommit i scenariospelen ska analyseras djupare i ytterligare riskanalyser, men sådana har ännu inte funnits tillgängliga för studier. Scenariospelen ska i vissa fall även verifiera delar av redan utförda riskanalyser. De scenarier som scenariospelen behandlar rör dock främst organisatoriska förhållanden vid olika former av ”direkta” olyckor i tunnarna, dvs. riskscenarierna rör det lokala perspektivet.

I vissa fall har också andra separata utredningar gjorts som är utförda mer ur ett robusthetsperspektiv. I de fallen är dock fokus mindre riktat på personsäkerhet och mer på ekonomiska aspekter, främst i form av förseningar i trafiken. I delfallstudie Göteborg har man i själva verket arbetat mycket med dessa frågor, med syftet att skapa en mer robust anläggning. Man har här ett vidare perspektiv än i övriga delfallstudier och tar större hänsyn till hur störningar i andra infrastruktursystem kan påverka tunnelsystemet.

Skillnaderna i beskrivning av riskscenarier mellan de olika delfallstudierna är relativt stora. I Göteborgsfallet har exempelvis semikvantitativa riskanalyser där även tekniska delsystem ingår utförts, vilket saknas i övriga delfallstudier. Samtidigt finns ett mindre antal identifierade riskscenarier som rör naturolyckor i Göteborgsfallet än i Malmö- och Stockholmsfallen.

Många av de övriga skillnaderna i riskscenariobeskrivningar kan dock självklart förklaras med skillnader i lokala förutsättningar, t.ex. påsegling på tunnel, vilket inte är aktuellt om tunneln inte går under vatten (såsom Västlänken).

Tillståndsvariabler

För att i de kvantitativa riskanalyserna beskriva förändringar eller alternativa utfall i systemelement eller påfrestningar används implicit tillståndsvariabler. Eftersom det i Göteborgsfallet ännu inte gjorts några kvantitativa riskanalyser har denna fråga inte gått att tillämpa där, utan endast i Malmö- och Stockholmsfallen.

Vilka tillståndsvariabler som beskrivs och hur många värden den kan anta hänger intimt ihop med vilken detaljeringsgrad systembeskrivningen kan sägas ligga på. Denna detaljeringsgrad på systembeskrivningen av artefakterna, dvs. här de tekniska systemen, är ungefär densamma i samtliga delfallstudier och överlag grov. De tillståndsvariabler som berör artefakterna är av typen ”fungerar eller fungerar inte”. Det kan då handla om detektionssystemets eller urspårningsbegränsares funktion. Agenters aktörsförmåga finns i vissa fall beskrivna som tillståndsvariabler. Exempelvis kan extern assistans vid en olycka vara effektiv eller inte; och utrymning av tåg kan vara effektiv eller inte. Det förekommer också ett antal tillståndsvariabler för systemelement som kan klassas som påfrestningar, t.ex. brandstorlek eller vindriktning.

I de berörda delfallstudierna kan alltså de beskrivna tillståndsvariablerna i de flesta fall anta två olika värden och rör främst lokala förhållanden i tunnelsystemet. Det kan dock tyckas att skillnaden mellan beskrivningen borde vara mindre mellan Malmö- och Stockholmdelfallstudierna: vissa parametrar som exempelvis varierar i Malmöfallet hålls konstanta i Stockholmfallet och vice versa. Detta gör att detaljeringsgraden i systembeskrivningen ligger på ungefär samma nivå i båda fallen, men det är olika faktorer som är av högre detaljeringsgrad. Till viss del kommer sig skillnaden naturligtvis av skiftande lokala förhållanden.

Infrastrukturelaterade fel

Vad gäller beskrivningen av infrastrukturelaterade fel beskrivs i fallstudiedokumentationen endast sådana av typen kaskadfel, dvs. direkt fortplantning av fel likt en dominoeffekt mellan olika system. Många av dessa ingår dock inte i några riskscenarier och utreds inte vidare. De ingår således, med enstaka undantag, inte heller i den kvantitativa riskvärderingen av tunnelsystemet.

Skillnaden i beskrivningen av infrastrukturelaterade fel mellan delfallstudierna kan åter sägas bero på skillnader i platsspecifika förhållanden. Undantag från detta är dock att man i delfallstudie Göteborg mer noggrant studerat hur påfrestningar i annan infrastruktur kan sprida sig till Västlänken; vilket är en typ av analys som inte hittats i övriga delfallstudier.

Sluttillstånd

De sluttillstånd, eller konsekvenser, som beskrivs i fallstudiedokumentationen delas i de flesta riskanalyser upp i olika klasser, där konsekvensrymden delas in i kategorier som spänner från ”endast materiella skador” till ”många döda”. För varje riskscenario som analyseras tas sedan ställning till hur fördelningen av konsekvensklass ser ut.

Riskscenariorymdens täckning

En central fråga i riskhanteringsprocessen är i vilken utsträckning de riskscenarier som tas med i riskanalyserna lyckas täcka in den totala riskscenariorymden. Det resoneras dock mycket lite om denna fråga i fallstudiedokumentationen; man skriver endast att man hoppas på att ha identifierat samtliga riskscenarier genom brainstormingmetodiken som beskrevs ovan.

8 DISKUSSION

I detta kapitel förs en något friare diskussion om bland annat studiens reliabilitet och validitet. Dessutom sätts resultatet från fallstudien i relation till den teori kring komplexa system och infrastruktur som presenterats tidigare i rapporten.

8.1 Studiens reliabilitet och validitet

För att erhålla ett så bra resultat som möjligt från fallstudien har vi utfört dels dokumentstudier av riskanalyser och övriga säkerhetsrelaterade dokument, dels semi-strukturerade intervjuer med de personer som varit mest insatta i risk- och säkerhetsfrågor i respektive delfallstudie. Intervjuerna har fungerat som ett komplement till dokumentstudierna då oklarheter uppstått vid granskning av dokumenten. Därtill har frågor ställts kontinuerligt till respondenterna via e-post under arbetets gång.

Antalet gjorda riskanalyser och andra säkerhetsrelaterade dokument är för vissa delfallstudier mycket omfattande; därtill är de utförda av många olika personer och företag, vilket utifrån vår synvinkel medfört svårigheter i att få en klar och tydlig översikt av vilka analyser som verkligen är utförda. Om en avgörande riskanalys saknades skulle givetvis resultatet av fallstudien se annorlunda ut. Kontakten med de insatta personerna för varje projekt, samt noggrant studerande av de litteraturförteckningar som finns i fallstudiedokumentet, har emellertid möjliggjort att vi kunnat ta del av de mest relevanta dokumenten.

Studiens reliabilitet torde ökas genom det noggranna referenssystemet i Bilaga A till fallstudierna, där det för varje ”data”-element i tabellerna finns angivet i vilken eller vilka dokument detta står att finna.

Reliabiliteten samt även den interna validiteten bör sannolikt, utifrån våra preciserade frågeställningar, de satta avgränsningarna för studien, den bakomliggande teorin samt den gemensamma referensram som fallstudierna skapar, vara skäligen god.

Intervjuerna och kontakten med respondenterna har därtill bidragit till att bilden belysts utifrån ytterligare en synvinkel; rapportens konstruktionsvaliditet kan därmed också anses tillfyllest god.

Att samma personer i vissa fall varit inbladade i samtliga fallstudieobjekt påverkar den externa validiteten i viss utsträckning. Då fallstudierna berör ett begränsat erfarenhetsområde i Sverige är det emellertid ofrånkomligt att samma personer varit inbladade i de fallstudieobjekt som varit av intresse i examensarbetet.

8.2 Synpunkter på systemtänkande och riskhantering i fallstudierna

8.2.1 Systemsyn

Frågan om hur systemavgränsningar bör sättas i riskanalysen är inte enkel att besvara, det är svårt att säga något generellt om saken: variationen är stor mellan olika projekt. Gemensamt är dock att avgränsningar är oundvikliga; frågan är dock vilken betydelse en för snäv eller för vid avgränsning kan få.

När det gäller tunnelprojektering kan man, genom den referensram som vi tog fram i fallstudiekapitlet, se vilka faktorer som är gemensamma för samtliga projekt. Denna

kan tänkas utgöra ett *minimum* på exempelvis vilka systemelement som är relevanta att ta med i riskanalyserna. Vi lägger här dock ingen värdering i om dessa verkligen är relevanta eller inte; referensramen är endast en kartläggning av dagsläget. Dessutom beskriver referensramen i första hand ett system ur det *lokala* perspektivet: utifrån referensramen tycker vi att det är mycket viktigt att man i större utsträckning bör söka beroenden från faktorer i omgivningen. Man bör även ta större hänsyn till beroenden mellan element inom systemet. Vår mening emellertid är inte att djupa, tidskrävande analyser av beroenden ska göras för varje systemelement. Det kan säkerligen i många fall räcka med att enkelt skissa upp vilka beroenden som finns. Vad vi vill i detta examensarbete är att öka medvetenheten om vilka problem – men också möjligheter – som dessa beroenden kan skapa. Vi vill helt enkelt få in detta tankesätt i riskhanteringsarbetet när det gäller projektering av komplexa infrastruktursystem.

I själva verket tycker vi oss se en ökning av robusthetstänkandet, där även analys av beroenden till viss del ingår, i riskanalyserna från de olika delfallstudierna som ju ligger olika i tiden. Denna notering är också något som respondenter i intervjuer bekräftat. Faktum är att man i Göteborgsfallet, som är det i tiden senaste av fallstudieobjekten, arbetar mycket med frågor som dessa. Man är intresserad av att se tunneln i det större perspektivet, hur denna påverkar robustheten i infrastrukturen i Västsverige som helhet. Man är alltså uppmärksam på det faktum att det inte endast är de lokala förhållandena i tunneln som har betydelse för den totala sårbarheten.

Vi anser dock att man generellt i riskanalyserna borde vara tydligare med att redovisa hur systemmodellen på vilken riskanalysen ska göras ser ut, och att vara lika tydlig med att redovisa vilka systemavgränsningar som gjorts. Man bör också samordna riskanalyserna från de olika skedena. Generellt kan nämligen sägas att det på denna punkt finns brister; riskanalyserna från de olika skedena bygger i viss utsträckning inte på varandra. Anledningen till detta kan vara att många olika företag varit med och gjort analyserna och att koordineringen mellan företagen kunde ha varit bättre. Ansvaret för detta bör naturligtvis ligga på projektledningen.

8.2.2 Beroenden

När det gäller vilket perspektiv man har i systemsynen och det sätt på vilket riskanalyser utförs i de olika projekten, så tycks det vara så att den bredare systemsyn och kartläggning av beroenden som eftersträvs – både av forskare, av oss författare och i viss mån även av Banverket själva – inte helt efterlevs. Exempelvis tas viss hänsyn till påverkan på eller ifrån annan infrastruktur i riskanalyserna, men ofta koncentreras analyserna till tunneln som ett nästintill isolerat system. Beroenden mellan infrastruktursystemen nämns ibland, men utreds inte i någon större utsträckning, undantaget delfallstudie Göteborg. På senare tid verkar det emellertid som att Banverket, som tidigare nämnts, alltmer koncentrerat sig på en vidare syn i denna fråga och till viss del arbetat för att förebygga konsekvenser i form av trafikstörningar av olika slag.

Infrastrukturprojekt av den art som fallstudierna i denna rapport omfattar har aldrig tidigare byggts i Sverige. Trots att säkerheten på järnväg och i järnvägstunnlar statistiskt sett är hög, så kan det likväl vara problematiskt att i full utsträckning dra paralleller till dagens allmänna järnvägsnät; de projekt som analyseras i fallstudierna torde ha en betydligt högre grad av komplexitet och kan inte utan särskilda utredningar med visshet liknas med något annat. De olika typer av problem som komplexiteten kan orsaka och som därmed kan finnas inom dessa projekt bör identifieras och behandlas. En viktig del vid upprättandet av riskanalyser blir därför sökandet och identifie-

ringen av olika beroenden – både inom systemet, men även mellan system och omgivning inom systemet.

Av de fallstudiedokument vi gått igenom kan vi konstatera att djupare analyser av tänkbara riskscenarion som kan uppkomma på grund av beroenden inom och mellan system sällan görs. Ett exempel på detta är vad som händer vid fel på ATC-systemet. Om ATC-systemet inte skulle fungera så finns förvisso handlingsprogram för vad som ska göras, men riskscenariot med ett icke fungerande ATC-system har inte hittats i fallstudiedokumentet. Detta riskscenario torde emellertid inte vara obetydligt för den totala riskbilden i tunnel; speciellt inte med tanke på att det finns planer på att använda ATC-systemet – som från början var avsett för att minska risken för mänskligt felhandlande – för att öka kapaciteten i tunneln. Eller som Banverket själva uttrycker det: ”ATC infördes av säkerhetsjäl som ett hjälpmedel för föraren, men efterhand har systemet utvecklats så att det numera också används när kapacitet och hastighet behöver ökas med bibehållen säkerhet.” (Banverket, 2004, s. 26).

Detta effektivitets- och resultatfokus kan emellertid innebära ökade risker. Paralleller kan dras till den olycka som beskrevs i avsnitt 3.4.4 ovan, vilken orsakades av ett kontinuerligt tänjande på systemets gränser.

Ovanstående exempel gällde fysiska beroenden mellan artefakter i infrastrukturen, men man kan också tänka sig beroenden mellan olika agenter och artefakter inom infrastrukturen där det kan vara på sin plats att vara uppmärksam på risker. Ett exempel på detta, fortfarande rörande ATC-systemet, är ansvaret för underhåll och drift av ATC-systemet. För banan finns ansvaret hos Banverket och för fordonen hos respektive trafikföretag. Den minskande överblickbarhet som detta innebär, då fler involverade företag ska underhålla samma system, kan i sin tur medföra att kontrollen och säkerheten av systemet minskar. Av den anledningen är det viktigt med analyser som utreder vilka konsekvenser denna typ av problematik kan få för säkerheten i det specifika projektet.

Generellt bör man utreda hur beroenden kan få påfrestningar att sprida sig inom systemet givet en viss händelse. För den direkta konsekvensen av en händelse är kanske inte den värsta; men det kan också vara så att många små händelser tillsammans p.g.a. t.ex. ett ”gemensamt orsaksfel” orsakar en totalt sett allvarigare situation. Exemplet med olyckan i Hongkong talar sitt tydliga språk: det behöver inte vara en stor och allvarlig händelse som orsakar en global påfrestning på systemet. Man bör alltså även göra sårbarhetsanalyser på tunnelsystemet.

Beroenden mellan olika aktörer genom kommunikationsvägar och förfarandet vid insats vid en eventuell olycka i tunneln har behandlats genom de scenariospel som utförts. Huruvida framtida riskanalyser görs och om problem som identifierats i scenariospelen följs upp, är svårt att veta i nuläget då projekteringen inte kommit så långt än: tanken är dock att scenariospelen ska komplettera och utgöra underlag för kommande riskanalyser för upprättandet av säker drift. Hittills har vi dock inte kunnat hitta någon dokumentation om detta.

8.2.3 Riskanalyser och riskscenariorymden

Analyser som omfattar sårbarhetsanalys för hela tunnelsystemet tycker vi saknas i de analyserade riskanalyserna: det verkar ibland som att man inte löpt hela linan ut och verkligen försökt identifiera alla riskscenarier. Det förs heller inte några direkta diskussioner i dokumentationen huruvida samtliga relevanta riskscenarier är beaktade,

dvs. om man täckt in hela riskscenariorymden; en fråga som är central för den totala riskbedömningen av systemet. I samtliga delfallstudier har personer från olika företag och myndigheter förvisso haft möten där man ska ha tagit upp denna problematik, men i riskanalyserna saknas ett resonemang om detta.

I själva verket verkar det som att riskanalyserna i praktiken tenderar att användas som projekteringsförutsättningar snarare än som riskanalyser i vår mening, dvs. ett resonemang om alla tänkbara risker. Avgränsningen av vilka risker som verkligen analyseras är nämligen i vissa fall tämligen snäv. Ett viktigt exempel på detta är att en mängd riskscenarier inte identifieras på grund av den grundläggande säkerhetsfilosofi som finns som grundstomme i samtliga delfallstudier. Denna innebär att man förenklar beskrivningen av verkligheten till att två oberoende händelser inte inträffar samtidigt. Exempelvis menar man då att riskscenariot ”brand som konsekvens av en explosion” inte behandlas, eller att scenariot att en brand uppstår i tunneln samtidigt som elnätet är ur drift inte kommer att kunna uppkomma. Tyvärr leder detta synsätt alltså till att många tänkbara systemtillstånd inte kommer att kunna identifieras. Givetvis är sannolikheten statistiskt sett inte hög för dessa händelser. Men med tanke på tunnelsystemens höga komplexitet kan händelsen vara vanligare än vad man tror. För hur vet man att två händelser verkligen är oberoende i ett komplext system? Det är inte omöjligt att det finns beroenden mellan olika systemelement som man inte identifierat vilka kan ha stor påverkan på systemets totala sårbarhet. En direkt konsekvens av synsättet är dessutom att feltypen ”eskalerande fel”, vilken bygger på oberoende störningar, inte kommer att kunna förekomma i analyserna. Inte heller kommer identifiering att kunna ske av fel av typen ”gemensam orsak”, t.ex. i form av en naturkatastrof som påverkar flera säkerhetskritiska system samtidigt. Ett ännu bättre exempel på denna feltyp är terrorism: vid ett terroristdåd kan man i det närmaste förvänta sig att två viktiga oberoende punkter angrips samtidigt, vilket skapar ett ”gemensamt fel”. I analyserna har förvisso hänsyn till sabotage och terrorism tagits i viss utsträckning, men har då endast inneburit att tunneln ska dimensioneras för att klara av explosionslast, inte att klara av attacker från två håll samtidigt.

Vi anser att riskanalyserna inte borde avgränsas så snävt så att denna typ av riskscenarier försvinner. Frågan blir annars hur man ska veta att tunnelsystemet verkligen uppfyller de riskkriterier som Banverket satt upp, om man inte vet vilka riskscenarier man saknar.

Riskanalyserna bör bygga på en sådan detaljerad modell av verkligheten, dvs. ett såpass ”högupplöst” system, att man inte riskerar att missa viktiga scenarier med betydelse för systemets sårbarhet. Här måste man alltså hitta en balans mellan hur detaljerat systemet bör vara och hur omfattande analys som är möjlig att genomföra med bibehållen översiktsmöjlighet och inom rimliga ekonomiska ramar. Den ekonomiska aspektens betydelse är uppenbar men även den mänskliga aspekten, att man ska kunna bibehålla översikten över analysen, är mycket viktig och inte att negligera. Som tidigare nämnts finns det nämligen tendenser hos människan att tränga bort eller grovt förenkla komplexa fenomen; att underskatta den verkliga komplexiteten. Som exempel kan system felaktigt betraktas som slutna, dvs. att man negligerar beroenden med omgivningen som egentligen är betydelsefulla. Den dolda komplexiteten kan därmed, som tidigare nämnts, leda till att systemets sårbarhet underskattas. Samtidigt kan förhållandet vara det omvända, att man tror att fenomenet man ska studera är mer komplext och svårbegripligt än vad det i själva verket är.

Att vara medveten om den mänskliga begränsningen av att kunna analysera hur olika element beror på varandra och påverkar varandra tror vi därför kan vara en viktig aspekt vid framtagandet av den systemmodellen. Den tidigare nämnda ”sju plus minus två”-regeln kan exempelvis vara värd att ta i beaktning när man sätter upp systemmodellen, för att inte förlora överblickbarheten av systemet.

8.2.4 Riskreducering

Kontaktvägar mellan personer inom och mellan organisationer är mycket viktiga för en säker drift av tunnelsystemen: dels då trafiken på spåren i tunnlar som ingår i fallstudien kommer att vara omfattande, dels eftersom det finns planer på att ytterligare öka trafiken i tunnelsystemen framöver. Exempelvis måste alarmering till övriga tåg ske snabbt och säkert vid en eventuell händelse där ett tåg blir stående i en tunnel, för att förhindra sammanstötning. I riskanalyserna bör man ta hänsyn till att organisationen kan ha en ”dålig dag” samtidigt som en eventuell påfrestning inträffar. Analyser av denna art har inte framkommit bland de riskanalyser som studerats, dock i scenariospelen.

När det gäller scenariospelen är det dock viktigt att man inte fastnar i fällan att tro att man i en verklig olycka kommer att kunna agera precis som i scenariospelen. En mycket viktig aspekt i detta sammanhang är därför att scenarierna varieras i den utsträckningen att man kan kartlägga hur känsligt systemet är för förändringar. Man bör exempelvis fråga sig vad som händer om telefonlinjen ligger nere trots att det ingår i scenariospelet att någon ska kontaktas via den. En annan fälla man kan hamna i när det gäller scenariospelen är att ingen riktigt tar hand om slutsatserna och dokumenterar dessa väl och ser till att de följs upp. Då riskerar kunskapen man tar fram att ”bara” finnas i de medverkandes huvuden där de inte gör någon nytta för framtida organisationer.

Arbetet med scenariospel uppfattar vi som mycket positivt; i själva verket kan arbetet med scenariospelen ses som en strävan efter att öka systemets resiliens.

Resiliens är en mycket viktig faktor som vi tycker man bör öka användningen av ytterligare vid projektering av komplexa infrastruktursystem. Frågan om hur arbetet bör gå till för att minska de oönskade händelsernas konsekvenser, samt hur systemet i sig skulle kunna tas ner till ett ”säkert läge”; dvs. ett läge där systemet inte eskalerar i en positiv feedbackloop utan på något sätt bromsas genom negativ feedback, är givetvis oerhört viktiga. Om vi ska tro teorier om power-law-fördelningar och ”normala olyckor” kommer frågan nämligen inte att vara *om* större påfrestningar inträffar, utan *när*. Och *när* kan dessutom vara mer frekvent än vad man tror; sannolikhetsfördelningens svansar är i komplexa system ofta fetare än normalfördelningens.

Eftersom det kommer att finnas ett stort antal beroenden i tunnelsystemet och mellan tunnelsystem och faktorer i omgivningen, och att många av dessa beroenden idag förmodligen inte är kartlagda, är det inte säkert att det alltid kommer att vara möjligt att förutspå samtliga möjliga systemtillstånd. Det vore därför naturligtvis önskvärt om systemet skulle kunna självorganisera sig till ett felsäkert läge för att undvika en global systemkollaps. Det är här arbetet med att öka tunnelsystemets resiliens uppkommer; dvs. förmågan att motstå eller förmildra påfrestningar på systemet. Detta kan exempelvis ske genom att man förhindrar att påfrestningar eskalerar och sprider sig i systemet.

Det kan också vara nyttigt att ta till sig HOT-teorierna om att allt för optimerade system är sämre på att klara av oförutsedda händelser. Det är viktigt att det finns visst ”slack” i systemet, dvs. att de kopplingar och beroenden som finns mellan systemelement inte görs för täta; man bör tillåta ett visst spelrum för kopplingar inom tunnelsystemet som gör att påfrestningar kan sväljas av systemet i större utsträckning. Detta minskar även sannolikheten för ”normala olyckor” enligt Perrows teori.

En annan viktig åtgärd som kan vidtas för att minska sannolikheten för ”normala olyckor” är att, som tidigare nämnts, i största möjliga mån ge tunnelsystemet en ”inneboende” säkerhet inbakad i designen redan från början, hellre än att lägga till säkerhetsåtgärder i efterhand.

8.2.5 Övriga noteringar

- Hypotesen om den problematik i form av varierande systemsyn som funnits hos myndigheter och som Boverkets tagit upp i ett regeringsuppdrag, har efter diskussioner med inbladade personer inom tunnelprojektering i examensarbetet inte kunnat stärkas. Snarare uppfattar vi att problemet inte längre upplevs som stort och att samarbetet mellan myndigheterna idag fungerar bättre.
- Det faktum att det idag i praktiken är Banverket som godkänner sina egna riskanalyser anser vi vara anmärkningsvärt. Vi anser att det vore bättre om Järnvägsstyrelsen, eller den nya inspektionsmyndigheten Transportstyrelsen²² som Järnvägsstyrelsen kommer övergå till, oberoende granskar Banverkets riskanalyser.

²² Källa: www.dn.se/DNet/jsp/polopoly.jsp?d=147&a=688952, hämtad 2007-09-14.

9 SLUTSATSER

I detta avslutande kapitel är avsikten att lyfta upp de viktigaste frågor och slutsatser som dragits under arbetets gång, till ett högre och mer generellt plan.

9.1 Projektering av järnvägstunnelsystem idag

Krav på att riskanalyser ska utföras har i delfallstudierna först och främst funnits inom Banverket och inom det specifika projektet. Krav har även funnits från olika myndigheter. Mer allmänna krav på säkerhet finns i de lagar och förordningar som omfattar järnvägsprojektering. Av detta har vi dragit följande slutsats:

- *De krav som finns på att utföra riskanalyser i samband med järnvägstunnelprojektering är i huvudsak interna – antingen inom Banverket eller inom projektet.*

Det riskhanteringsarbete som genomförts i de olika delfallstudierna har i samtliga delfallstudier varit integrerat i alla faser av planeringsprocessen. Vi kan därför konstatera följande:

- *Det finns ett allmänt risk- och säkerhetstänkande i samtliga skeden vid projektering av järnvägstunnlar. Detta utmynnar dock inte alltid i riskanalyser.*

Riskidentifieringsarbetet har i delfallstudierna i stor utsträckning skett utifrån diskussionsbaserad metodik. Här har konsulter med kompetens inom olika områden samlats och identifierat tänkbara riskscenarier. I arbetet har även tidigare gjorda riskanalyser från andra järnvägstunnelprojekt fungerat som underlag. Arbetet har inledningsvis i projekteringarna varit fokuserat på kvalitativa eller semikvantitativa riskanalyser. De riskscenarier som sedan ansetts påverka den inom Banverket uppsatta risknivån har analyserats vidare i senare skeden. Av detta dras slutsatsen att:

- *Identifiering av riskscenarier genomförs vid järnvägstunnelprojektering genom brainstorming; användningen av tidigare gjorda riskanalyser från andra järnvägstunnelprojekt utgör ett väsentligt underlag.*

De identifierade riskscenarierna har i delfallstudierna sammanställts i en olycks katalog. Ett stort antal riskscenarier har identifierats men av varierande skäl finns det starka skäl att tro att relevanta riskscenarier kan ha missats. En anledning till detta är den grundläggande säkerhetsfilosofi som Banverket har: att två av varandra oberoende händelser inte inträffar samtidigt. Detta leder direkt till att vissa typer riskscenarier inte kommer att behandlas. Dessa avgränsningar anser vi inte är helt motiverade i riskanalyserna, trots att *traditionella* metoder visar på låg sannolikhet för händelser av denna art. I ett komplext system, som det i fallstudierna handlat om, är dock förutsättningarna annorlunda, vilket kan leda till att viktiga riskscenarier utelämnas varmed riskvärderingen av tunneln blir missvisande. De risker som framförallt behandlats kvantitativt är risker som avser urspårning, sammanstötning och brand. För riskscenarierna i delfallstudierna kan vi därför konstatera att:

- *De analyserade riskscenarierna vid projektering av järnvägstunnelsystem rör i första hand direkta och lokala påfrestningar på systemet. Det finns skäl att tro att avgränsningar görs för snävt så att betydelsefulla riskscenarier inte identifieras.*

Vi har genom fallstudien upplevt att det finns en ökad medvetenhet hos Banverket rörande betydelsen av robusthetstänkandet och av att ha ett helhetsperspektiv för

säkerhetstänkandet. Det finns exempelvis ett ökat användande av analyser som behandlar robusthet i tunnelsystem utifrån ett större, regionalt perspektiv, där man också utrett hur projektet påverkar och påverkas av annan infrastruktur: då i form av trafikstörningar. Alltså:

- *Det har på senare tid skett en viss breddning av perspektivet på vad riskhantering av tunnelsystem kan innebära: fokus är i de fallen inte endast riktat mot direkta hot mot tunnelsäkerheten, man analyserar även andra faktorer som genom beroenden kan påverka robustheten i systemet.*

9.2 Förslag på utveckling av säkerhetstänkandet vid projektering av komplexa infrastruktursystem

Den systemsyn man har inom de olika delfallstudierna som vi studerat är i vissa fall tämligen snäv. Detta behöver dock nödvändigtvis inte vara fel, men vi saknar utförligare diskussioner om varför avgränsningen satts som den gjorts och hur den kan påverka den totala riskvärderingen av tunneln. En alltför snäv systemavgränsning kan leda till att vissa – eventuellt betydelsefulla – riskscenarier inte identifieras. Av den anledningen tycker vi att:

- *Det krävs tydlighet och noggrannhet när systemavgränsningar definieras och det analyserade systemet beskrivs vid projektering av komplexa infrastruktursystem. Det är viktigt med explicita resonemang och motiveringar kring hur systemavgränsningar sätts och varför.*

Genom den teori vi har presenterat i rapporten kan vi konstatera att ordentliga kartläggningar av beroenden inom och mellan de analyserade systemen är viktigt i projektering av komplexa infrastruktursystem; dessutom att utreda hur dessa beroenden kan få påfrestningar att sprida sig inom det komplexa systemet givet en viss händelse. Detta kan i slutändan möjliggöra en höjning av systemets resiliens och förhindra att påfrestningar inte eskalerar och sprider sig i systemet, förutsatt att man hittar beroenden som skulle leda till positiva feedbackloopar. Därav drar vi följande slutsats:

- *Det är av stor vikt att noga kartlägga beroenden mellan systemelement och mellan system och omgivning. Detta kan bidra till förhindrandet av spridning av påfrestningar på ett oförutsägbart och okontrollerbart sätt.*

Vi menar vidare att man inte bör optimera tunnelsystemet för hårt; det är viktigt att tillåta ett visst slack mellan olika former av beroenden inom systemet. Detta ökar tunnelsystemets robusthet mot oförutsedda påfrestningar. Exempelvis bör tidsintervall mellan olika tåg ur denna synvinkel inte optimeras för hårt, även om systemet ”ska” klara av det. Detta leder till följande slutsats:

- *Vid projektering av komplexa infrastruktursystem är det viktigt att systemet inte optimeras för hårt: genom att tillåta spelrum mellan olika beroenden skapar man en högre robusthet i systemet och minskar sannolikheten för stora olyckor.*

I delfallstudierna har vi sett att man i många fall lägger till riskreducerande åtgärder sent i projekteringen, för att tunneln ska klara att uppfylla riskkriterierna som Banverket satt upp. Detta kan dock bidra till en ökad komplexitet i det redan komplexa systemet, varför följande förslag ges:

- *I komplexa infrastruktursystem är det av stor vikt att tidigt i projekteringen se till att en inneboende säkerhet i systemet byggs in, snarare än att i efterhand lägga till redundanser och/eller riskreducerande åtgärder.*

9.3 Förslag till fortsatt forskning inom området

Vi tycker att framtida forskning bör fokusera på att värdera den kartläggning som presenterats i denna rapport, utifrån de problem som identifierats. Framtida forskning bör även analysera hur tunnelsystemet kan göras mer resilient redan från projekterings början.

Det är möjligt att resultatet från detta examensarbete kan utmynna i en allmän checklista eller mall för vilka klasser av systemelement och beroenden som bör ingå i riskanalyserna vid i första hand järnvägstunnelprojektering. Checklistan kan underlätta det praktiska arbetet med denna typ av frågor: t.ex. hur systemavgränsningarna bör sättas och vilka typer av beroenden som är relevanta, men även vilka typer av påfrestningar på systemet man bör ta hänsyn till i riskanalyserna. Vid framtagandet av checklistan är det viktigt att beakta de särskilda förutsättningar som gäller för komplexa system, såsom feedbackloopar eller normala olyckor, som presenterats i detta examensarbete. Checklistan bör dock inte göras för detaljerad och styrande, snarare som en hjälp till att hitta vilka typer av riskscenarier som kan vara aktuella att analysera djupare. Checklistan bör även styra vilka typer av riskanalyser som ska göras i de olika projekteringsskedena. Banverket bör se till att riskanalyser från dessa skeden samordnas.

10 REFERENSER

10.1 Litteratur

- Akselsson, R. (2006), *Människa, teknik, organisation och riskhantering*, Institutionen för Designvetenskap, Lunds Tekniska Högskola.
- Amin, M. (2001), 'Toward self-healing energy infrastructure systems', *IEEE Computer Applications in Power*, Vol. 14, Nr. 1, s. 20-28.
- Andersson, E. (2003), "Hur farligt är det att resa?" i Grimvall m.fl. (red.), *Risker i tekniska system*, Studentlitteratur, Lund.
- Ashby, R.W. (1956), *An Introduction to Cybernetics*, Chapman & Hall, London.
- Backman, J. (1998), *Rapporter och uppsatser*, Studentlitteratur, Lund.
- Banverket (2004), *Trafiksäkerhetsprogram för järnvägen 2004 – 2006*, Banverket, Borlänge.
- Banverket (2005), *BV Tunnel, BVS 585.40*, Banverket, Borlänge.
- Banverket (2006), *Robusthets- och säkerhetsaspekter i järnvägsplanering, BVH 806.7*, Banverket, Borlänge.
- Banverket (2007), *Personsäkerhet i järnvägstunnlarna – Handbok för analys och värdering av personsäkerhet i järnvägstunnlarna, BVH 585.30*, Banverket, Borlänge.
- Boin, A. McConnell, A. (2007), Preparing for critical infrastructure breakdowns: the limit of crisis management and the need for resilience, *Journal of Contingency and Crisis Management*, Vol. 15, Nr. 1, Oxford, UK.
- Boverket (2005a), *Kartläggning av det legala ramverket – Delprojekt 1, bilaga till Regeringsuppdrag Personsäkerhet i tunnlarna*. Boverket, Karlskrona.
- Boverket (2005b), *Risikvärdering – Delprojekt 2.1, bilaga till Regeringsuppdrag Personsäkerhet i tunnlarna*, Boverket, Karlskrona.
- Boverket (2005c), *Planeringsprocessen – Delprojekt 4, bilaga till Regeringsuppdrag*, Boverket, Karlskrona.
- Bruneau, M., & Reinhorn, A. (2007), Exploring the concept of seismic resilience for acute care facilities, *Earthquake Spectra*, Vol. 23, Nr. 1.
- Bruneau, M., Chang, S., Eguchi, R., Lee, G., O'Rourke, T., Reinhorn, A., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. & von Winterfeldt, D. (2003), A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities, *Earthquake Spectra*, Vol. 19, Nr. 4, s. 733-752.
- Buckle, P. (1998), *Re-defining community and vulnerability in context of emergency management*, Australian Journal of Emergency Management, Vol. 13, Nr. 4.
- de Bruijne, M., van Eeten, M. (2007), System that should have failed: critical infrastructure protection in an institutionally fragmented environment, *Journal of Contingency and Crisis Management*, Vol. 15, Nr. 1, Oxford, UK.
- Dekker, S. (2004), *Ten Questions About Human Error: A New View of Human Factors and System Safety*.

- Egan, J. (2007), Anticipating Future Vulnerability: Defining Characteristics of Increasingly Critical Infrastructure-like Systems, *Journal of Contingencies and Crisis Management*, Vol. 15, Nr. 1.
- Ejvegård, R. (2003), *Vetenskaplig metod*, Studentlitteratur, Lund.
- Ellis, P. (1998), Chaos in the Underground: Spontaneous Collapse in a Tightly-Coupled System, *Journal of Contingencies and Crisis Management*, Vol. 6, Nr. 3, s. 137-152.
- Elms, D. (2001), Rail safety, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 74, s. 291-297.
- Hallin, P.-O, Nilsson, J. & Olofsson, N. (2004), *Kommunal sårbarhetsanalys*, KBM:s forskningsserie nr 3, Krisberedskapsmyndigheten, Stockholm.
- Hermansson, U. & Akersten, P.A. (1997), ”Studie komplexitet” i *Risikhänsyn i samhällsutvecklingen – Tre uppsatser om teorier och modeller*, Räddningsverket, Karlstad.
- IEC (1995), *International Standard 60300-3-9, Dependability management - Part 3: Application guide - Section 9: Risk analysis of technological systems*, International Electrotechnical Commission, Genève
- Ingelstam, L. (2002), *System - att tänka över sambälle och teknik*, Energimyndigheten, Eskilstuna.
- Johansson, H. & Jönsson, H. (2007), *Metoder för risk- och sårbarhetsanalys ur ett systemperspektiv*, LUCRAM, Lunds universitet, Lund.
- Kaplan, S. (1997), The Words of Risk Analysis, *Risk Analysis*, Vol. 17, s. 407-417.
- Kaplan, S., Haimes, Y.Y., & Garrick, B.J. (2001), Fitting Hierarchical Holographic Modeling into the Theory of Scenario Structuring and a Resulting Refinement to the Quantitative Definition of Risk, *Risk Analysis*, Vol. 21 Nr. 5, s. 807-819.
- Koubatis, A. & Schönberger, J.Y. (2005), Risk management of complex critical systems, *Int. J. Critical Infrastructures*, Vol. 1, Nr. 2/3, s. 195-215.
- Krisberedskapsmyndigheten (2006), *Risk- och sårbarhetsanalyser, Vägledning för statliga myndigheter*, KBM:s forskningsserie nr 4, Stockholm.
- Little R.G. (2002), Toward More Robust Infrastructure: Observations on Improving the Resilience and Reliability of Critical Systems, *Systems Sciences*, Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences.
- O’Rourke, T.D. (2007), Critical infrastructure, Interdependencies, and Resilience, *The Bridge* (courtesy of the National Academy of Engineering), hämtad från http://www.caenz.com/info/RINZ/RINZ_Downloads.html, 2007-05-22
- Perrow, C. (1999a), *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*, Princeton University Press, Princeton, N.J.
- Perrow, C. (1999b), Organizing to Reduce the Vulnerabilities of Complexity, *Journal of Contingency and Crisis Management*, Vol. 7, Nr. 3, Oxford, UK.
- Petersen, K. & Johansson, H. (2007), ”Designing resilient critical infrastructure systems using risk and vulnerability analysis” i *Resilience Engineering: Remaining sensitive to the possibility of failure*.

- Phelan, S.E. (1995), *From Chaos to Complexity in Strategic Planning*, Paper som presenterades vid "the Annual Meeting of the Academy of Management", Vancouver, BC, 6-9 augusti, hämtad från <http://bus.hanyang.ac.kr/dynamics/cyber-/Useful/use1/22.htm>, 2007-06-14.
- Rasmussen, J., Svedung, I. (2000), *Proactive Risk Management in a Dynamic Society*, Räddningsverket, Karlstad.
- Rinaldi, S.M., Peerenboom, J.P., Kelly, T.K. (2001), Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies, *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 21, Nr. 6, s. 11-25.
- Thedéen, T. (2003), "Infrastrukturens sårbarhet" i Grimvall m.fl. (red.) i *Risker i tekniska system*, Studentlitteratur, Lund.
- Wildawsky, A. (1988), *Searching for Safety*, Transaction book, New Brunswick, New Brunswick.
- Yin, R. (2003), *Case Study Research: Design and Methods*, Sage Publications, Thousand Oaks.

10.2 Intervjuer

- Brodin, A. & Wänglund, C. (2007), Banverket, Stockholm, 2007-06-12.
- Lindgren, B. & Rosquist, P. (2007), Banverket, Göteborg, 2007-06-20.
- Strömberg, M. (2007), Räddningsverket, 2007-07-30.
- Åkesson, P. (2007), Citytunneln, Malmö, 2007-06-04.

10.3 Fallstudiedokument

10.3.1 Göteborg

Referensbeteckning	Rapportens namn	Rapportnummer	Typ av rapport	Datum	Rev. datum
A1	Västlänken – Säkerhet och Robusthet	BRVT 2006:03:19	Underlagsrapport till Järnvägsutredning	2006-02-09	-
A2	Godstrafik i Västlänken? – Nej! (Bilaga 1 till Västlänken – Säkerhet och Robusthet)	-	Risikanalys	2005-04-07	-
A3	Omgivningsrisker – exponeringsanalys (Bilaga 2 till Västlänken – Säkerhet och Robusthet)	-	Risikanalys	2005-11-07	-
A4	Säkerhetsvärdering av tunnlar och stationer (Bilaga 3 till Västlänken – Säkerhet och Robusthet)	-	Risikanalys	2005-11-07	-
A5	Säkerhetskoncept driftskedet – tunnlar och stationer	-	Projekteringsförutsättningar	2005-11-07	-

A6	Underhålls- aspekter	AKTIVITETS- PM 48	Delvis riskana- lysis	2006-01-20	-
A7	Västlänken – En tågtunnel under Göteborg	-	Förstudie	2002-12	-
A8	Västlänken – En tågtunnel under Göteborg		Järnvägsutred- ning inklusive miljökonse- kvensbeskriv- ning (MKB)	2006-02-09	-

10.3.2 Malmö

Referens- beteckning	Rapportens namn	Rapportnummer	Typ av rapport	Datum	Rev. datum
B1	Projektplan	AC18QA1100002	Projektplan	1999-07-02	2002-02-21
B2	Projekthand- bok, kapitel 1.6, Riskhantering	AC18QB2100017	Projekthandbok	2000-06-26	2005-06-30
B3	Olyckslaster och extremvär- den	AB60AD0500003	Projekterings- förutsättningar	2000-02-16	2000-12-21
B4	Grovanalys av risker	AB60AD0500002	Underlagsrap- port riskanalys	2000-11-27	-
B5	Säkerhetskonn- cept	AB60AD0500001	Projekterings- förutsättningar	2000-12-12	2004-09-23
B6	Riskanalys tredje person	AB60AD0500005	Riskanalys	2000-12-19	-
B7	Säkerhetsvär- dering av mark- spår	AB60AD0500004	Riskanalys	2001-01-31	-
B8	Säkerhet i tekniska system och funktioner, stationerna Malmö CN och Triangeln samt tunnlar	AB60AD0500018	Projekterings- förutsättningar	2002-01-30	2004-09-23
B9	Säkerhetsvär- dering av City- tunneln	AB60AD0500021	Riskanalys	2002-02-13	2002-05-31
B10	Vad händer om 50 % eller 100 % av kapacite- ten i Citytunneln faller bort	-	Mindre robust- hetsutredning	2002-01-22	-
B11	Underlag för information inför scenariospel 18 oktober 2006		Scenariodoku- ment	2006-10-18	-
B12	Utvärdering av scenariospel 18 oktober 2006		Scenariodoku- ment	2006-10-18	-
B13	Minnesanteck- ningar: Scenariospel nr 6, Citytunneln 2005-04-19		Scenariodoku- ment	2005-04-19	-
B14	Minnesanteck- ningar från Scenariospel, Bilaga 1		Scenariospel anteckningar	2003-11-28	-
B15	Minnesanteck- ningar från Scenariospel, Bilaga 2		Scenariospel anteckningar	2006-10-04	-
B16	Minnesanteck- ningar från Scenariospel, Bilaga 3		Scenariospel anteckningar	2006-10-18	-

10.3.3 Stockholm

Referens beteckning	Rapportens namn	Rapportnummer	Typ av rapport	Datum	Rev. datum
C1	Citybanan i Stockholm Riskbedömningar	-	Risکاناليس	2002-01-29	-
C2	Plan för hantering av tekniska risker	65 502 100-8	Riskhantering	2002-06-24	2003-02-14
C3	PM Säkerhetsstandard för några järnvägstunnlar		Underlagsrapport	2002-09-13	2002-10-03
C4	Översiktlig riskanalys för byggskedet	P257096	Riskhantering	2002-11-04	2002-12-06
C5	Grovanalys av risker i driftskedet	P257096	Riskhantering	2002-12-02	
C6	PM Brandrisker anslutande tunnelsystem		Riskhantering	2002-12-10	
C7	Citybanan i Stockholm, Bilaga Olycks-katalog	T0-0202-0303/0304-03	Risکاناليس	2004-10-07	-
C8	Övergripande riskanalys Citybanan – Driftskede	0237-0206-038	Risکاناليس	2005-10-17	2007-01-31
C9	Säkerhet i tekniska system och funktioner, SITS	0237-0206-031	Projekteringsförutsättningar	2005-10-17	2007-01-31
C10	Rapport säkerhetskoncept – drift	0237-0206-032	Säkerhet	2005-10-17	2007-01-31
C11	Ambitionsnivå för tolerabla risknivåer – drift	0237-0206-033	Säkerhet	2005-10-17	
C12	Säkerhetsvärdering tunnlar	0237-0206-039	Säkerhet	2005-10-17	2007-01-31
C13	Säkerhetsvärdering stationer	0237-0206-040	Säkerhetsvärdering	2005-10-17	2007-01-31
C14	Sammanställning av olyckslaster för tunneldelen – Driftskede	T0-0203-0207-01	Risکاناليس	2006-12-19	-
C15	Citybanan i Stockholm, Beskrivning av Trafiksystem	T0-0203-0307-02	Projekteringsförutsättningar	2007-01-05	-
C16	PM Säkerhet mot översvämning station City via tunnelbanan	0237-0206-61	Risکاناليس	2007-01-31	-
C17	PM Sammanställning Scena-	9552-2007-025-010	Mindre robusthetsutredning	2007-07-02	-

	riospel nr 1-5, våren 2007 Driftskede				
C18	Transport av farligt gods förbi station Stock- holm Södra	T0-0203-0304-06	Risicanalys	2004-06-08	
C19	Citybanan i Stockholm, Bilaga conse- kvensanalys Tunnlar	T0-0202-0303-04	Risicanalys	2004-11-12	
C20	Översiktlig riskbedömning avseende farligt godstransport – utredningsal- ternativ UA3	9552-2007-025-001	Risicanalys	2007-07-03	2007-07-31

BILAGA A – RESULTAT, FALLSTUDIE

Systemelement i fallstudier

10.3.4 Göteborg

Tabell 25: Element i systemet som analyseras i riskanalyserna.

Typ av element Kategori	Agenter	Artefakter	Naturföremål
Infrastruktur	Personal (drift- och underhåll)	"Infrastruktur" i tunneln (dvs. sådant som kablar och elsystem) [A6]	
	Trafikstyrning, DLC, LC [A3, A4]	Bana i tunnel [A4]	
		Belysning [A5]	
		Elkraft, reservkraft [A3, A5]	
		Fordonsidentifiering [A4]	
		Hissar, rulltrappor [A5]	
		Högtalarsystem/Utrymningslarm [A5]	
		ITV [A4]	
		Kommunikation (telefon, radio) [A6, A1]	
		Kommunikation [A5]	
		Ledningar [A3]	
		Signaler [A4, A5]	
		Tekniska försörjningssystem (vatten, fjärrvärme, gas) [A1, A3]	
		Trafiksparation, gods och persontåg [A4]	
		Tunnel [A5]	
		Tunnelkonstruktion [A1, A4]	
		Tåg i tunnlar [A2, A4]	
	Undermarksstation [A5]		
	Undermarksstation [A1]		
	Växlar [A5]		
	Övervaknings och informationssystem (SCADA) [A5]		
Infrastrukturnyttjare	Passagerare på tåg [A4]	Farligt gods [A2, A4]	
	Personer på station el. i närhet till spår [A4, A5]		
	Övrig tågtrafik [A2, A4]		
Omgivning	Tredje man [A3]	Hus nära spår [A3]	Miljö (skador i omgivning) [A1]
		Närbelägen naturgasledning [A4]	
		Vägbro över spår [A7]	
		Omgivande vägar [A3]	
		Tredje mans egendom [A1]	
Skadereducerande	Räddningstjänst [A5]	Angreppsvägar [A5]	
	SOS, Polis [A4]	Brandgasventilation [A5]	
		Brandlarm [A5]	
		Detektorer för rälsbrott, hjulfel, varmgång [A4]	
		Fjärrblockering [A2] (nämns endast)	
		Inbrottslarm [A6]	
		Kommunikation [A5]	
		Nödbromsblockering [A9]	
		Släckvattensystem [A5]	
		Tunnelkonstruktion [A1, A4]	
		Urspåringsräler [A4]	
	Utrymningsvägar. [A5]		

10.3.5 Malmö

Tabell 26: Element i systemet som analyseras i riskanalyserna.

Typ av element Kategori	Agenter	Artefakter	Naturföremål
Infrastruktur	Personal (drift- och underhåll) [B4, B7, B9 ^e] Trafikstyrning [B5 ^d , B8 ⁱ , B9 ^j]	"Infrastruktur" i tunneln (dvs. sådant som kablar och elsystem) [B9]	
		Bana i tunnel [B4, B9]	
		Bana ovan mark [B4, B6, B7 ^d , B9 ^d]	
		Belysning [B8]	
		Elkraftförsörjning [B8]	
		Hissar, rulltrappor och rullramper [B8]	
		Högtalare på undermarkstationerna [B8]	
		Informationssystem [B8]	
		ITV [B8]	
		Kommunikationssystem (radio, tele) [B5, B8, B9, B11]	
		Kontaktledningar [B4]	
		SCADA [B8]	
		Signaler [B7, B9]	
		Station ovan mark (Hyllie) [B4]	
		Tunnelkonstruktion [B3, B4]	
		Tåg i markspår (kan omfatta farligt gods) [B4, B6, B7 ^b]	
		Tåg i tunnlar (Endast eldrivna och inte godståg) [B3, B4, B9 ^g]	
Undermarksstation (Malmö CN och Triangeln) [B3, B4, B9]			
Växlar [B7, B9 ^g]			
Övrigt spårbundet [B7]			
Infrastrukturnyttjare	Passagerare på tåg [B4]	Farligt gods (Endast i Lockarpsdelen) [B4, B6 ^a , B7 ^c]	
	Personer på station el. i närhet till spår [B4]		
	Övrig tågtrafik [B3, B4, B6, B7, B9]		
Omgivning	Tredje man [B4, B6]	Egen egendom (Citytunnelns) [B4]	Miljö (skador i omgivning) [B4]
		Hus nära spår [B6]	
		Nära belägen naturgasledning [B6 ^a , B7 ^a]	
		Omgivande vägar [B7 ^a , B7 ^b]	
		Paragraf 43 anläggningar [B7 ^a , B9 ^a]	
		Tredje mans egendom generellt [B4]	
		Vägbro över spår [B6]	
Skadereducerande	Polis [B8]	Angreppsvägar [B5]	
	SOS [B5, B8]	Automatiskt brandlarm [B8]	
	Räddningstjänst [B7, B9]	Brandgaskontrollsystem [B8]	
		Brandgasventilation [B8]	
		Brandlarmssystem [B8]	
		Elkraftförsörjning [B8]	
		Eluttag för räddningstjänsten [B8]	
		Fjärrblockering [B9]	
		Inbrottslarm [B8]	
		Jordningspunkter i rökfri miljö [B8]	
		Kontinentalbanan (kan avleda trafik) [B3]	
		Nödbroms [B7]	
		Nödbromsblockering [B9]	
		Nödtelefoner [B8]	
		Släckvattensystem [B8]	

	Utrymningsvägar [B8]
	Varmgång- och tjuvbromsdetektorer [B9]

^a Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar eller motsvarande förutsätts för att öka skyddet.

^b Här görs en mer detaljerad beskrivning av systemelementet, dvs. vilka typer av tåg som kommer att trafikera tunneln. Vad gäller brand görs också skillnad görs också mellan sitt- eller liggvagn, ligg- eller sovvagn och lok.

^c Här görs en mer detaljerad beskrivning av systemelementet, dvs. vilka typer och mängder av farligt gods som prognostiseras.

^d Här görs en mer detaljerad beskrivning av systemelementet, dvs. hur banan kommer att vara utformad samt något om dess utrustning – såsom fjärrblockering och ATC.

^e Något mer detaljerad beskrivning.

^f Delas i denna rapport upp även i tungt och lätt föremål.

^g Även växlar utanför tunneln inkluderas.

^h Preciseras som "Anslutningsvägar till inre ringvägen" samt Yttre ringvägen.

ⁱ Motsvarar trafikledning eller driftledningcentral.

10.3.6 Stockholm

Tabell 27: Element i systemet som analyseras i riskanalyserna.

Typ av element Kategori	Agenter	Artefakter	Naturföremål
Infrastruktur	Trafikstyrning, DLC, LC [C1a, C5b., C9, C17b]	Bana i tunnel [C8, C5b, C8b, C12b]	
	Personal (drift- och underhållspersonal) [C1c, C2c, C5b, C7b, C8b, C12b, C17b]	Bana ovan mark [C5b,]	
		Belysning [C9]	
		Elkraft [C9]	
		Högtalarsystem [C9]	
		Informationssystemet [C9]	
		Infrastruktur i tunnel [C17b, C1d]	
		ITV [C14]	
		Kommunikation [C1d, C9]	
		Rulltrappor, hissar [C9]	
		Signaler [C9]	
		Spårledningssystem för Positionering [C9]	
		Station ovan mark [C18]	
		Styr- och Övervakningssystem (SCADA)	
		Tåg i markspår [C20]	
		Tåg i tunnlar (Endast eldrivna och inte godståg) [C1a, C5b, C7b, C8b, C12b, C15b]	
		Tågidentifiering [C8]	
		Tekniska försörjningssystem (fjärrvärme, vatten, avlopp, gas) [C1d, C4b, C14b, C17b]	
		Tunnelkonstruktion [C1i, C7b, C8b, C14b, C17b]	
		Undermarksstation (City, Odenplan, Stockholm Södra) [C6c, C7b, C13b, C15b, C17b]	
	Växlar [C12]		
	Ventilation (normal) [C9]		
Infrastrukturnyttjare	Passagerare på tåg [C5b, C7b, C17b]	Farligt gods (Sthlm Södra) [C1a, C8b, C5b, C7b, C13b]	
	Personer på station el. i närhet till spår [C5b, C7b, C12b, C13b,		

	C14b, C17b]		
	Övrig tågtrafik [C10]		
Omgivning	Tredje man [C5a, C7b]	Tredje mans egendom [C1c, C2c, C5b, C7b]	Miljö (skador i omgivning) [C1c, C2c, C5b]
		Hus nära spår [C20]	
		Vägar och trafikplatser (angreppsvägar) [C1d, C9]	
		Egen egendom (Citybanans) [C1c, C2c, C5b, C7b]	
Skadereducerande	Polis (scenariospel) [C9, C17b]	Avvattning [C9]	
	Räddningstjänst [C9, C17b]	Brandlarmssystem [C9]	
	SOS (scenariospel) [C9, C17b]	Brandventilation – station [C9]	
		Fjärrblockering [C10, C13]	
		Inbrottslarm [C9]	
		Nödbroms [C19]	
		Räddningsfrånkoppling och skyddsjordning [C9]	
		Skyddsportar för säkerhet mot översvämning [C9]	
		Släckvattensystem [C9]	
		Sprinkler i nya butiker och Servicecenter [C9]	
		Spårledningssystem för Positionering [C9]	
		System för stopp av inpasserande resenär på station	
		Tunnelbanan [C1a]	
		Urspårningsräler [C12]	
	Varmgång- och tjuvbromsdetektorer [C9]		

TillståndsvARIABLER

10.3.7 Göteborg

Risakanlys med händelsetråd har ännu inte utförts.

10.3.8 Malmö

Tabell 28: Typer av tillståndsvARIABLER och dess värden.

Systemelement	TillståndsvARIABLER	Möjliga värden
Brand [B7, B9]	Brandutveckling [B7]	* Slow [B7] * Medium [B7] * Fast [B7]
	Placering i tåg [B9]	* Första eller sista vagnen [B9] * Mitten [B9]
	Storlek [B7, B9]	* < 1 MW [B7, B9] * > 1 MW [B7, B9]
	Uppkomst [B7]	* Ja [B7] * Nej [B7]
Brandförsvar [B7, B9]	Insats [B7, B9]	* Effektiv [B7, B9] * Ej effektiv [B7, B9]
Farligt gods [B7]	Frigjord och antänd brandfarlig vätska [B7]	* Ja [B7] * Nej [B7]
	Typ [B7]	* Giftiga och brandfarliga gaser [B7] * Brandfarlig vätska [B7]
	Utsläpp av giftiga och brandfarliga gaser [B7]	* Litet utsläpp [B7] * Medel/Stort utsläpp [B7]
Människor ombord på drabbat tåg [B7, B9]	Självräddning [B7, B9]	* Effektiv [B7, B9] * Ej effektiv [B7, B9]
Nödbroms [B7, B9]	Hävning av nödbroms (givet brand) [B7, B9]	* Misslyckas [B7, B9] * Lyckas [B7, B9]
Signal [B9]	Stoppsignal [B9]	* Stopp [B9] * Ej stopp [B9]

Tåg [B7, B9]	Hastighet [B7, B9]	* Hög hastighet [B7, B9] * Låg hastighet [B7, B9]
	Stopp, anledning (givet brand) [B9]	* Fordonsfel [B9] * Banfel [B9] * Mänskligt felhandlande [B9] * Nödbroms aktiverad av passagerare [B9] * Fel [B9]
	Stopp, placering (givet brand) [B7]	* Stopp i tunnel [B7, B9] * Stopp på station [B7, B9 ^a] * Stopp på markspår [B7, B9 ^a]
Vind [B9]	Vindhastighet (backflow ²³) i tunneln och dess påverkan av tågimpulser ²⁴ [B9]	* Backflow = 0,7; tågimpuls = minus backflow [B9] * Backflow = 0,7; tågimpuls = plus backflow [B9] * Backflow = 2,3; tågimpuls = minus backflow [B9]
	Vindriktning i tunneln [B9]	* Gynnsam [B9] * Ej gynnsam [B9]
Övrig tågtrafik [B7]	Kollision [B7]	* Persontåg [B7] * Godståg [B7]

^a I denna rapport är dessa händelser sammansatta till en, dvs. stopp utanför tunneln/i station.

10.3.9 Stockholm

Tabell 29: Typer av tillståndsvariabler och dess värden.

Systemelement/påfrestning	Tillståndsvariabel	Möjliga värden
Brand	Placering	* I vagn [C19] * Under vagn/i tak [C19] * I hytt [C19]
	Storlek	* < 1 MW [C19] (Medium [C13]) * > 1MW (15MW) [C19] (Medium [C13])
	Brand (givet urspärning)	* Ja [C19] * Nej [C19]
	Vagn fattar eld (givet urspärning)	* Ja [C19] * Nej [C19]
	Detektion (givet brand i tåg)	* Larmsystem [C19] * Personal [C19] * Passagerare [C19]
Farligt gods	Påverkan på farligt gods	* FAGO [C18] * EJ FAGO [C18]
	Utsläpp av farligt gods	* Ja [C18] * Nej [C18]
	Farligt godsklass	* Klass 1 [C18] * Klass 2.1 [C18] * Klass 2.3 [C18] * Klass 3 [C18] * Klass 5.1 [C18] * Övriga klasser [C18]
	Tid på dygnet (givet urspärning)	* Nattnatt [C20] * Dag [C20]
Tunneltyp	Antal spår (vid urspärning)	* Enkelspår [C19] * Flerspår [C19]
Kommunikation/info-system	Stoppssignal (givet brand i tåg)	* Ja [C19] * Nej [C19]
Tåg	Färdriktning	* Norrgående [C18] * Södergående [C18]
	Utrymning tåg (givet sammanstötning, urspärning)	* Effektiv [C19] * Ej effektiv [C19]
	Utrymning inom tillgänglig tid (givet brand i tåg i tunnel, antal spår, hastighet)	* Ja [C19] * Nej [C19] * Påverkas av brandgaser [C19] * Påverkas ej av brandgaser [C19]

²³ Backflow är lufthastighet i tunneln pga. vindlaster utifrån tunneln via tunnelmynningar.

²⁴ Tågimpuls är den lufthastighet som uppkommer pga. tåginbromsning i tunneln.

	Sammanstötning	* Ja [C18] * Nej [C18] * Tung [C19] * Lätt [C19]
	Kollision med annat tåg (givet urspårning)	* Ja [C19] * Nej [C19]
	Urspårning	* Ja [C18] * Nej [C18]
	Urspårningsbegränsare fungerar	* Ja [C19] * Nej [C19]
	Kollision med bergvägg (givet urspårning)	* Ja [C19] * Nej [C19]
	Spridning givet urspårning	* <1m [C18] * >1m [C18]
	Vagn välter (givet urspårning)	* Ja [C19] * Nej [C19]
	Sammanstötning med annat tåg (givet urspårning)	* Ja [C19] * Nej [C19]
	Hastighet	* Hög hastighet [C19] * Låg hastighet [C19]
	Trafiktyp	* Lågtrafik [C18] * Högtrafik [C18] * Störning [C18]
	Stopp (givet urspårning)	* Stopp i tunnel [C19] * Stopp på station [C19] * Stopp utanför Citybanan [C19]
Räddningstjänst	Extern assistans (givet sammanstötning, urspårning)	* Ja [C19] * Nej [C19]

Beroenden

10.3.10 Göteborg

Tabell 30: Beroenden som påverkar säkerheten under Västlänkens drift.

Typ av beroende	Påverkande element	Påverkat element
Fysiska beroenden	Annan kollektivtrafik [A1]	Trafik i tunneln [A1]
	Trafik i tunneln [A4]	Resenärer [A4]
	Räddningstjänst [A5]	* Resenärer vid insats [A5]
	Brandgasventilation [A4]	Personer på station [A4]
Informationsberoenden	Signalsystem [A4]	Trafik i tunneln [A4]
	Fjärrstyrning [A4]	Signalsystem [A4]
Geografiska beroenden	Kabelstråk för elkraft, styrning och säkerhetssystem [A5]	Tillgänglighet i elkraft [A5]

10.3.11 Malmö

Tabell 31: Beroenden som påverkar säkerheten under Citytunnelns drift.

Typ av beroende	Påverkande element	Påverkat element	
Fysiska beroenden	Elkraft [B8]	* SCADA [B8] * Tele- och kommunikationsradio inkl. tåg-radio [B8] * Högtalare [B8] * Vägledande belysning [B8] * Belysta vägledande markeringar [B8] * Automatiskt brandlarm [B8] * Styrutrustning för hissar, rulltrappor och rullramper [B8] * Brandgaskontrollsystem [B8] * Släckvatten * Jordningspunkter i rökfri miljö * Belysta utgångar * ITV * Informationssystem * Eluttag för räddningstjänsten	
		Trafik i tunneln [B10]	* Resenärer [B10]
		Räddningstjänst [B9]	* Resenärer vid insats [B9]
		Brandgasventilation [B9]	Personer på station [B9]

Informationsberoenden	SCADA (styrning och/eller övervakning) [B8]	* Elkraftförsörjning [B8] * Avbrottsfri kraft [B8] * Lågspänningsdistribution [B8] * Normal belysning [B8] * Nödbelysning [B8] * Belysning av utgång [B8] * Högtalare på stationerna Malmö CN och Triangeln [B8] * ITV [B8] * Nödtelefoner [B8] * Automatiskt brandlarm [B8] * Inbrottslarm [B8] * Brandgaskontrollsystem [B8] * Släckvattensystem [B8] * Utrustning för styrning av hissar, rulltrappor och rullramper. [B8]
	DLC [B8]	* SCADA [B8]
	Signalsystem [B9]	Trafik i tunnel [B9]

Tabell 32: Medverkande intressenter i scenariospelen [B14, B15 och B16].

Samordnande trafikinformator	Konsultföretag	Malmö stad
Citytunnelprojektet	Tågledare	Operativ chef
Banverket	Region Skåne	Arbetsmiljöverket
Banverket, trafik	Trafikinformator	Tågledare
Banverket, Projekt Hallandsåsen	Länsstyrelsen i Skåne län	MGT Teknik
Räddningstjänsten	Gruppchef	Fjärrtågklarare
SOS Alarm	Malmö Brandkår	Banverket, Bansystem
Räddningsverket	Länskommunikationscentralen	Förare av arbetsfordon
SJ AB	UMAS (Universitetssjukhuset Malmö Allmänna Sjukhus)	Båstads kommun
SJ AB Trafiksäkerhet	Eldriftledare	Operativ chef
Polisområde Malmö	MAS, Akutintaget, Reception	Ambulanschef
Polismyndigheten i Skåne	Teknik/Säkerhetssamordnare	Bandriftledningen

10.3.12 Stockholm

Tabell 33: Beroenden som påverkar säkerheten under Citybanans drift.

Typ av beroende	Påverkande element	Påverkat element
Fysiska beroenden	Elkraft [C9, C14b]	* SCADA * Tele- och kommunikationsradio inkl. tåg-radio, data * Högtalare * Vägledande belysning * Belysta vägledande markeringar * Automatiskt brandlarm * Styrutrustning för hissar, rulltrappor och rullramper * Brandgaskontrollsystem * Släckvatten * Jordningspunkter i rökfri miljö * Belysta utgångar * ITV- system * Informationssystem * Eluttag för räddningstjänsten
	Brandventilation för plattform [C9a]	Personer på station
	Trafik i tunneln [C10]	* Resenärer (trängsel)
	Räddningstjänst [C9]	* Resenärer vid insats
Informationsberoenden	Alarm för högt vattenstånd i tunnel	Citybanan
	SCADA (styrning och/eller övervakning) [C9]	* Elkraftförsörjning * Avbrottsfri kraft * Lågspänningsdistribution * Normal belysning * Nödbelysning * Belysning av utgång * Högtalare på stationerna * ITV * Nödtelefoner * Automatiskt brandlarm

		* Inbrottslarm * Brandgaskontrollsystem * Släckvattensystem * Utrustning för styrning av hissar, rulltrappor och rullramper.
	DLC [C9]	SCADA, Tågtrafikledning, Banddrift och Eldrift
	Informationssystem (C10)	Resenäring (trängsel)
	Signalsystem [B9]	Trafik i tunnel [B9]
Kommunikation	MobiSIR (GSM-R), mobiltelefonnät och telefon [C9a]	Tågtrafik
	Kameraövervakning och brandlarm [C9a]	Plattform
Geografiska beroenden	Utrymning i Citybanan (brand, strömavbrott, översvämning) [C9]	Tunnelbanan

^a För att säkerställa driften har vissa händelser som leder till störningar i tekniska system resulterat i stängning av plattform, station, tunnel eller hela Citybanan.

^b Reservkraft för elförsörjning ska finnas som förser viktiga tekniska system gällande säkerheten. Här dimensioneras efter ett avbrott på fyra timmar, detta efter det största elavbrott som drabbat Stockholm, år 1983. Hänsyn till längre avbrott bortses. Dock så framhävs att "Ett omfattande strömavbrott längre än 4 timmar kan innebära bland annat att pumpgröparna inte räcker till och att vatten då kan stiga upp i spårtunnlarna" (sammanställning av olyckor för tunneldelen – driftskede (2006), [C14])

^c Projekteringsförutsättningarna för Citybanan är att Citybanan och tunnelbanan ska vara två helt skilda system. En olycka i Citybanan ska inte utgöra något hot mot tunnelbanan. Dock finns beroenden mellan dem då resenärer måste välja annat transportsätt.

Tabell 34: Medverkande aktörer vid scenariospelen [C17].

SL - SL Säkerhet	Banverket - Operativ chef	Banverket - El-/Banddriftledare	Citybanan - lokförare
Veolia - Operativ chef	Banverket - Säkerhet	Stockholms tåg – Trafiksäkerhetschef	

Initierande händelser

10.3.13 Göteborg

Tabell 35: Typer av initierande händelser som finns beskrivna i delfallstudie Göteborg. Att flera punkter förekommer inom samma ruta innebär att den specifika analysen eller riskbehandlingen som listas förekommer i minst en av de aktuella fallstudiedokumenterna; alltså är flera alternativ möjliga.

Händelsekategori	Typ av initierande händelse	Typ av analys	Behandling av risk
Urspårning	Urspårning persontåg [A3, A4, A6]	* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt [A4] * FMEA [A6]	* Endast identifiering [A3] * Identifiering och grovanalys [A4]: Känsliga punkter skal utrustas med skyddsvall, betongbarriär eller urspårningsräl för att förhindra att tåget lämnar banvallen [A1] * Identifiering och värdering [A6]
Sammanstötning	Sammanstötning tåg – annat föremål [A3, A4 ^c]	* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt [A4]	* Endast identifiering [A3] * Identifiering och grovanalys [A4]
Brand, explosion	Brand i undermarksstation [A4 ^e]	Semikvantitativt [A4]	Identifiering och grovanalys [A4]
	Brand i installationer eller föremål i tunneln [A4]	Semikvantitativt [A4]	Identifiering och grovanalys [A4]
	Brand i anslutning till systemet [A4]	Semikvantitativt [A4]	Identifiering och grovanalys [A4]
	Brand i tåg [A3, A4 ^a , A6 ^o]	* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt [A4] * FMEA [A6]	* Endast identifiering [A3] * Identifiering och grovanalys [A4] * Identifiering och värdering [A6]
	Explosion [A3 ⁿ , A4 ^b]	* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt	* Endast identifiering [A3] * Endast identifiering och grovana-

		[A4]	lys [B4]
Farligt gods	Utsläpp av giftigt ämne [A3, A4 ^b]	* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt [A4]	* Endast identifiering [A3] * Identifiering och grovanalys [A4]
	Kemikalieutsläpp (som kan skada teknisk utrustning) [A3]	* Kvalitativt [A3]	* Endast identifiering [A3]
Yttre händelser	Vatteninträngning [A3, A4]	* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt [A4]	* Endast identifiering [A3] * Identifiering och grovanalys [A4]: Barriärer och trösklar ska byggas för att minska risker [A1]
	Ras och skred [A3, A4]	* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt [A3, A4]	* Endast identifiering [A3] * Identifiering och grovanalys [A4]
	Brott på huvudvattenledningar [A3]	Kvalitativt [A3]	Endast identifiering [A3]
	Brott på fjärrvärmeledningar [A3]	Kvalitativt [A3]	Endast identifiering [A3]
	Elolycka [A4]	Semikvantitativt [A4]	Identifiering och grovanalys [A4]
	Strömavbrott [A3]	Kvalitativt [A3]	Endast identifiering [A3]
	Tunnelras – ej kollaps [A6]	FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
	Konstruktionskollaps [A3, A4, A6]	* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt [A3, A4] FMEA [A6]	* Endast identifiering [A3] * Identifiering och grovanalys [A4] * Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
	Annat [A4 ^c]	* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt [A3, A4]	* Endast identifiering [A3] * Identifiering och grovanalys [A4]
	Övrigt	Person överkörd [A3, A4]	Semikvantitativt [A4]
Självordsförsök [A6]		FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
Sabotage [A6 ^k]		FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
Person faller [A4]		Semikvantitativt [A4]	Identifiering och grovanalys [A4]
Person kläms [A4]		Semikvantitativt [A4]	Identifiering och grovanalys [A4]
Personrån [A4]		Semikvantitativt [A4]	Identifiering och grovanalys [A4]
Personöverfall [A3, A4]		* Kvalitativt [A3] * Semikvantitativt [A3, A4]	* Endast identifiering [A3] * Identifiering och grovanalys [A4]
Obehörigt beträdande av spår [A4, A6]		Semikvantitativt [A4] FMEA [A6]	* Analyseras ej, anses ej relevant. [A4] * Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
Utrymning av station ifrån plattform [A4 ^f]		Kvalitativt [A4]	Identifiering och grovanalys [A4]
Utrymning av station ifrån rulltrappor [A4 ^g]		Kvalitativt [A4]	Identifiering och grovanalys [A4]
Kombinerade händelser [A3]		Kvalitativt [A3]	Endast identifiering [A3]
Tågstopp – övriga anledningar [A6 ^l]		FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
Oljespill vid underhåll, max 1 kubikm [A6]		FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
Rälsbrott [A6 ^m]		FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
Kontaktledningsfel [A6]		FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
Sättningar [A6]		FMEA [A6]	Gott grundarbete vid planering/byggnad förutsätts för att minimera risken. [A6]
Kryssväxel ur kontroll [A6]		FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]
Kontaktledningsnedrivn		FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för

ing [A6]		att minimera stopptid i trafiken [A6]
Spårledningsfel [A6 ^h]	FMEA [A6]	Identifiering och värdering [A6]
Signal fel [A6]	FMEA [A6]	Förutsätter gott normalt underhåll av lampor [A6]
Elanläggningar slås ut [A6]	FMEA [A6]	Anger riskreducerande åtgärder för att minimera stopptid i trafiken [A6]

^a Delas upp i tunnel eller på undermarkstation.

^b Delas upp i undermarksstation, tunnel eller "i anslutning till tunneln".

^c Delas upp i lätt och tungt föremål.

^d Innebär samtliga skadehändelser som inte har kunnat identifieras då händelsen tidigare inte inträffat eller inte har funnits men som kan uppkomma i framtiden.

^e Delas upp i brand på spårområde, plattform, rulltrappor eller i biljetthall.

^f Gäller problem med utrymning, t.ex. att personbelastning överstiger utrymningskapacitet eller att högtalare med information om utrymning inte fungerar.

^g Gäller problem med utrymning, t.ex. problem för personer med funktionshinder, avstängda rulltrappor eller att rulltrapporna är överbelastade.

^h Antingen gasexplosion eller pga. bomb.

ⁱ Preciseras som högvatten i Göta Älv eller ändring av grundvattenytan.

^j Även jordskalv.

^k Innefattar sabotage av föremål t.ex. signaler eller kablar, sabotage genom föremål på spår samt genom metallstöld.

^l Antingen genom "fel på framdrift", "Strömavtagarhaveri", "fotssteg som ej fungerar och dörrar som ej stängs, "Ingen kommunikation el. förlust av komm.förbindelse genom GSM-nät", "Ställverksfel" eller "Transmissionsfel".

^m Antingen genom "fyrkantiga hjul" eller slirsår.

ⁿ Antingen genom metallflagor/bromsflagor, övervalsning eller isolationsfel vid tunnelmyning

^o Brand i entreprenadfordon

10.3.14 Malmö

Tabell 36: Typer av initierande händelser som finns beskrivna i samtliga delfallstudie Malmö. Att flera punkter förekommer inom samma ruta innebär att den specifika analysen eller riskbehandlingen som listas förekommer i minst en av de aktuella fallstudiedokumenterna; alltså är flera alternativ möjliga.

Händelsekategori	Typ av initierande händelse	Typ av analys	Behandling av risk
Urspårning	Urspårning [B4 ^c , B7 ^h , B9 ^k]	* Semikvantitativt [B4] * Kvantitativt [B7, B9]	* Identifiering och grovanalys [B4] * Acceptabel risk [B7, B9]
Sammanstötning	Sammanstötning tåg – annat föremål eller tåg [B4 ^c , B6 ^f , B7 ^l , B9]	* Semikvantitativt [B4] * Kvantitativt [B6 ^g , B7, B9]	* Identifiering och grovanalys [B4] * Acceptabel risk [B6, B7, B9]
	Sammanstötning tåg – person [B4, B6 ^l]	* Semikvantitativt [B4] * Kvalitativt [B6]	* Identifiering och grovanalys [B4] * Endast identifiering [B6]
Brand, explosion	Brand – ej i tåg [B4 ^e , B6 ^f , B9 ⁿ]	* Semikvantitativt [B4] * Kvalitativt [B6, B9]	* Identifiering och grovanalys [B4] * Motiveras bort pga. att det ej tros påverka riskbilden i större utsträckning [B6] * Riskreducerande åtgärder sätts in och ny säkerhetsvärdering görs med åtgärder medräknade [B9]
	Brand i tåg [B4 ^d , B7 ^l , B9 ^m]	* Semikvantitativt [B4] * Kvantitativt [B7, B9]	* Identifiering och grovanalys [B4] * Acceptabel risk [B7] * Riskreducerande åtgärder sätts in och ny säkerhetsvärdering görs med åtgärder medräknade [B9]
	Brand i annat tåg [B9]	* Kvantitativt [B9]	* Riskreducerande åtgärder sätts in och ny säkerhetsvärdering görs med

			åtgärder medräknade [B9]
	Explosion och implosion [B3, B4]	* Kvalitativt [B3] * Semikvantitativt [B4]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [B3] * Endast identifiering [B4]
	Brand/explosion i naturgasledning [B7]	* Kvalitativt [B7]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [B7 ^a]
Farligt gods	Farligt gods olycka i paragraf 63 anläggningar som påverkar tunneln [B7, B9]	* Kvalitativt [B7, B9]	* Motiveras bort pga. att det ej tros påverka riskbilden i större utsträckning [B7, B9]
	Farligt godsolyckor på yttre ringvägen [B7]	* Kvalitativt [B7]	* Motiveras bort pga. att det ej tros påverka riskbilden i större utsträckning [B7]
	Farligt godsolyckor på anslutningar till inre ringvägen [B7]	* Kvalitativt [B7]	* Motiveras bort pga. att det ej tros påverka riskbilden i större utsträckning [B7]
	Utsläpp av annat giftigt ämne [B4 ^d]	Semikvantitativt [B4]	* Identifiering och grovanalys [B4]
	Utsläpp av farligt gods (Lockarpsdelen) [B4, B6]	* Semikvantitativt [B4] * Kvantitativt	* Identifiering och grovanalys [B4] * Acceptabel risk [B6]
Yttre händelser	Bortschaktad eller bortspolad fyllning [B3, B9]	Kvalitativt [B3, B9]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [B3] * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken [B9].
	Extrema köldmängder [B3, B9]	Kvalitativt [B3, B9]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [B3] * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken [B9].
	Extremt hög havsvattennivå [B3, B9]	Kvalitativt [B3, B9]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [B3] * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken [B9].
	Extremt högt eller lågt grundvatten [B3, B9]	Kvalitativt [B3, B9]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [B3] * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken [B9].
	Jordbävning/skred i Öresundsområdet som påverkar tunneln [B3, B4, B7, B9]	* Kvalitativt [B3, B7, B9] * Semikvantitativt [B4]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [B3] * Identifiering och grovanalys [B4] * Motiveras bort pga. att det ej tros påverka riskbilden i större utsträckning [B7] * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken [B9].
	Påsegling av fartyg på tunnel under Suellsbron [B3, B4, B9]	* Kvalitativt [B3, B9] * Semikvantitativt [B4]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [B3] * Endast identifiering [B4] * Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken [B9].
	Blixtnedslag [B9]	* Kvalitativt [B9]	* Analyseras ej: det förutsätts att tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken [B9].
	Översvämning av tunnel [B3, B4, B9]	* Kvalitativt [B3, B9] * Semikvantitativt [B4]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [B3] * Identifiering och grovanalys [B4] * Analyseras ej: det förutsätts att

			tunneln dimensioneras för händelsen vilket förväntas reducera risken [B9].
	Översvämning av markspår	* Kvalitativt [B7]	* Motiveras bort pga. att det ej tros påverka riskbilden i större utsträckning [B7]
Övriga skadehändelser	Annan personskada [B4]	Semikvantitativt [B4]	* Identifiering och grovanalys [B4]
	Elektrisk stöt [B4]	Semikvantitativt [B4]	* Identifiering och grovanalys [B4]
	Olycka under arbete [B4]	Semikvantitativt [B4]	* Identifiering och grovanalys [B4]
	Person faller [B4]	Semikvantitativt [B4]	* Identifiering och grovanalys [B4]
	Person kläms [B4]	Semikvantitativt [B4]	* Identifiering och grovanalys [B4]
	Personrån [B4]	Semikvantitativt [B4]	* Identifiering och grovanalys [B4]
	Personöverfall [B4]	Semikvantitativt [B4]	* Identifiering och grovanalys [B4]
	Skadegörelse [B4]	Semikvantitativt [B4]	* Identifiering och grovanalys [B4]

^a Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet.

^b Enligt "annan analys" oklart vilken.

^c Delas upp i ovan mark, i tunnel eller på station.

^d Delas upp i ovan mark, tunnel, undermarksstation.

^e Delas upp i ovan mark, tunnel, undermarksstation och station Hyllie.

^f Endast ovan mark

^g Avser endast mekanisk påverkan på vägbro; mekanisk påverkan på byggnader nämns också, men utreds inte vidare pga. låg sannolikhet.

^h Avser markspåren som kommer att trafikeras av endast persontåg och delas upp i ett antal delsträckor. Delsträckan Öresundsbanan delas upp i persontåg och godståg. För Ystadsbanan och Trelleborgsbanan analyseras urspårning av godståg.

ⁱ Gäller endast markspår och uppdelning görs i sammanstötning persontåg – persontåg/godståg/övrigt spårbundet/övrigt.

^j Gäller persontåg, uppdelat i sitt- eller restaurangvagn, ligg- eller sovvagnar och lok.

^k Gäller endast persontåg. Godståg kommer att kunna påverka tunneln liten sträcka, men analyseras inte vidare då de inte tros påverka riskbilden i någon större utsträckning.

^l Delas upp i lätt och tungt föremål.

^m Gäller persontåg, uppdelat i sitt- eller restaurangvagn, ligg- eller sovvagnar och lok eller motorvagnståg.

ⁿ Gäller brand i tunnelns infrastruktur.

10.3.15 Stockholm

Tabell 37: Typer av initierande händelser som finns beskrivna i samtliga delfallstudie Stockholm. Att flera punkter förekommer inom samma ruta innebär att den specifika analysen eller riskbehandlingen som listas förekommer i minst en av de aktuella fallstudiedokument; alltså är flera alternativ möjliga.

Händelsekategorori	Typ av initierande händelse	Typ av analys	Behandling av risk
Tågolyckor	Sammanstötning tåg – annat föremål eller tåg	Kvantitativt [C5, C12, C8] Kvalitativt [C7, C10 ^g]	* Riskreducerande åtgärder sätts in [C5] * Endast identifiering [C7] * Accepteras [C8, C12] * Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C10 ^g]
	Urspårning	Semi kvan. [C1 ^a] Kvalitativt [C1 ^b] Kvantitativt [C5, C8, C12] Kvalitativt [C7, C10 ^g , C14]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C1 ^a , C1 ^b , C10 ^g , C14] * Accepteras [C8, C12]

			* Riskreducerande åtgärder sätts in [C5] * Endast identifiering [C7]
	Brand i motorvagnståg	Kvalitativt [C7, C10 ^g , C13] Kvantitativt [C5, C8, C12,]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C10 ^g] * Endast identifiering [C7] * Riskreducerande åtgärder sätts in [C5, C13] * Accepteras [C8, C12]
	Brand i lokdraget tåg	Kvalitativt [C7, C12]	* Endast identifiering [C7] * Accepteras [C12]
	Farligt gods i persontåg	Kvalitativt [C1 ^c]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C1 ^c]
Rörelseolyckor andra än tåg- olyckor	Personpåkörningar	Kvalitativt [C1 ^c , C7, C10 ^g] Kvantitativt [C5, C8, C13]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C1 ^c , C10 ^g] * Accepteras [C8, C12] * Riskreducerande åtgärder sätts in [C5, C13] * Endast identifiering [C7]
	Vibrationer	Semikvant [C1 ^a] Kvalitativt [C14]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [C1 ^a] * Endast identifiering [C14]
	Övriga personolyckor	Kvantitativt [C5 ^e , C10 ^g , C13, C14]	* Riskreducerande åtgärder sätts in [C5, C13] * Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C10 ^g , C14]
Icke rörelse- olyckor	Elolyckor	Kvantitativt [C5] Kvalitativt [C7]	* Riskreducerande åtgärder sätts in [C5] * Endast identifiering [C7]
	Strömavbrott	Kvalitativt [C14]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C14, C9]
	Kortslutning	Semikvantitativt [C5]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [C5]
	Brand (tunnel (föremål), station)	Kvalitativt [C1 ^b , C6, C7] Kvantitativt [C5, C8, C12, C13]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C1b] * Accepteras [C8, C12] * Åtgärdas [C5, C6, C13] * Endast identifiering [C7]
	Brand i tunnelbanan	Kvalitativt [C6 ^f , C7, C14]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C14] * Åtgärdas [C6] * Endast identifiering [C7]
	Utsläpp (farligt gods)	Semi kvan. [C1 ^a] Kvalitativt [C1 ^b , C1 ^c , C6, C7, C10 ^g] Kvantitativt [C5, C8, C13, C18]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C1 ^a , C1 ^b , C1 ^c , C10 ^g] * Riskreducerande åtgärder sätts in [C5, C6] * Accepteras [C8, C13, C18] * Endast identifiering [C7]
	Utsläpp av farligt gods i omgivning (ej tunnel)	Kvantitativt [C20]	* Acceptabel risk [C20]
	Farligt gods på befintligt markspår	Semikvantitativt [C1]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet [C1]
	Utsläpp av giftigt ämne	Kvalitativt [C5]	* Endast identifiering [C5]
	Explosion i tunnel	Semi kvan. [C1 ^a , C14] Kvalitativt [C1 ^b , C1 ^c] Kvantitativt [C5]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet ,

		[C1 ^a , C1 ^b , C1 ^c , C14] * Riskreducerande åtgärder sätts in [C5]
Explosion på undermarksstation	Kvantitativt [C5]	* Riskreducerande åtgärder sätts in [C5]
Konstruktionskollaps	Kvantitativt [C5] Kvalitativt [C7, C14]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C14] * Riskreducerande åtgärder sätts in [C5] * Endast identifiering [C7]
Externa arbeten som skadar tunneln	Kvantitativt [C5]	* Riskreducerande åtgärder sätts in [C5]
Blixtnedslag	Kvalitativt [C7]	* Endast identifiering [C7]
Överfall	Kvalitativt [C7, C10 ^g]	* Endast identifiering [C7] * Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C10 ^g]
Sabotage/terrorism	Kvalitativt [C1 ^c , C7, C10 ^g , C14]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C1 ^c , C10 ^g , C14] * Endast identifiering [C7]
Vatteninträngning efter påsegling av undervattentunnel	Kvantitativt [C5] Kvalitativt [C7, C14]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C14] * Riskreducerande åtgärder sätts in [C5] * Endast identifiering [C7]
Sättningar	Kvalitativt [C14]	* Endast identifiering för driftskede [C7]
Vatteninträngning (nederbörd)	Semi kvan. [C1 ^a] Kvantitativt [C5] Kvalitativt [C7, C10 ^g , C14, C16]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C1 ^a , C10 ^g , C14, C16] * Riskreducerande åtgärder sätts in [C5, C16] * Endast identifiering [C7]
Fel tågtyp kommer in i Citybanan	Kvalitativt [C12, C14]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C14, C12]
MTO- aspekter	Kvalitativt [C10 ^g]	* Analyseras inte vidare men dimensioneringsförutsättningar anges för att öka skyddet , [C10 ^g]

^a anges som projekteringsförutsättningar, olika spåralternativ Semi kvantitativ analys.

^b anges som projekteringsförutsättningar gällande sårbarheten för järnvägssysteme där systemet blockeras en längre tid, olika spåralternativ kvalitativ analys.

^c Risk och sårbarhet i ett framtidsperspektiv, där kvalitativa bedömningar görs för ökande trafik, både färdigt gods, persontrafik.

^e Person faller, Person kläms, Personöverfall, Personrån,

^f en brand i tunnelbanan påverkar citybanan genom att folkströmmar kommer till citybanan.

^g säkerhetspolicy och säkerhetsmål, nämns endast.

^h Citybanan och tunnelbanan nämns i analyserna att de är två skilda system som inte är beroende av varandra. Dock samverkar de vid en eventuell utrymningsituation, personflöden vid trafikstopp...

Feltyper

10.3.16 Göteborg

Tabell 38: Feltyper som förekommer i fallstudiedokumentet.

Typ av fel	Typ av påverkan	Beskrivning av påverkan
Kaskadfel	Påverkan av annan infrastruktur	Påverkan på Västlänken pga. stopp för spårvagnar på grund av strömavbrott i Brunnsparken [A1]
		Påverkan på Västlänken pga. stora förseningar i busstrafiken på grund av köer i Tingsstadstunneln [A1]
		Påverkan på Västlänken pga. stopp för fjärrtågstrafiken i Gårdatunneln [A1]
		Brott på huvudvattenledningar [A3 ^a]
		Brott på fjärrvärmeledningar [A3 ^a]
		Elkraftbortfall [A3]
	Påverkan på omgivning	Urspårning som ger påverkan på boende genom att fordon lämnar spårområdet och skadar byggnader eller personer i omedelbar närhet [B6]

^a Utredds ej vidare.

10.3.17 Malmö

Tabell 39: Feltyper som förekommer i fallstudiedokumentet.

Typ av fel	Typ av påverkan	Beskrivning av påverkan
Kaskadfel	Påverkan på annan infrastruktur	Urspårning som orsakar mekanisk påverkan på trafikanter på broar över spår genom att fordon lämnar spårområdet och skadar bro. [B6]
		Brand/explosion i naturgasledningar som följd av kollision/urspårning av tåg [B7 – analyseras ej vidare]
	Påverkan av annan infrastruktur	Farligt godsolyckor på yttre ringvägen [B7 – analyseras ej vidare]
		Farligt godsolycka i hamnområde som påverkar tunneln [B9 analyseras ej]
		Farligt godsolyckor på anslutningsvägar till inre ringvägen [B7 – analyseras ej vidare]
		Påsegling av fartyg på tunnel under Suellsbron [B3, B9 analyseras ej]
		Elkraftbortfall [B8]
	Påverkan på omgivning	Urspårning som ger påverkan på boende genom att fordon lämnar spårområdet och skadar byggnader eller personer i omedelbar närhet [B6]

10.3.18 Stockholm

Tabell 40: Feltyper som förekommer i fallstudiedokumentet.

Typ av fel	Typ av påverkan	Beskrivning av påverkan
Kaskadfel	Påverkan på annan infrastruktur	Urspårning på Centralbron, (med eller utan giftiga ämnen), Stockholm Södra. Spår blir blockerade och påverkar där av annan tågtrafik. [C1]
		Brand Stockholms södra, stationen stängd för trafik 3 dygn [C1], påverkar pendeltåg, fjärr/regionaltåg, godståg
		Brand påverkar elförsörjning, utreds inte vidare [C9a]
	Påverkan av annan infrastruktur	Farligt godsolycka vid station Stockholm Södra [C18]
		Påsegling av fartyg på tunnel [C14]
	Påverkan på omgivning	Elkraftbortfall [C9]
		Urspårning som ger påverkan på boende genom att fordon lämnar spårområdet och skadar byggnader eller personer i omedelbar närhet, farligt godstransporter [C14]

^a Enligt Citybanans projekteringsförutsättningar om två oberoende händelser inte inträffar samtidigt nämns angående brand och strömavbrott att "... Detta innebär t.ex. att det inte samtidigt inträffar ett omfattande strömavbrott i Stockholmsområdet och en brand i Citybanan. Emellertid kan en brand i Citybanan leda till lokalt strömavbrott i brandområdet." [C9].