

# **RISKANALYS**

## **Trädgårdsstaden i Bro**

# **BILAGA A**

## **FREKVENSBERÄKNINGAR**

## A.1 INLEDNING

I denna bilaga beräknas frekvensen för de olycksrisker (skadescenarier) som bedömts kunna påverka risknivån för ny bebyggelse inom planområdet Bro - Trädgårdsstaden. Beräkningarna beaktar följande olycksrisker, vilka alla förknippas med den angränsande järnvägen:

- Scenario 1. Explosion vid transport av massexplosivt ämne (klass 1.1.)
- Scenario 2. Utsläpp och antändning av brännbar gas (klass 2.1)
  - 2.1. Utsläpp med direkt antändning (jetflamma)
  - 2.2. Utsläpp med fördröjd antändning (gasmolnsexplosion)
  - 2.3. Långvarig brandpåverkan på oskyddad gastank (BLEVE)
- Scenario 3 Utsläpp av giftig gas (klass 2.3)
- Scenario 4. Utsläpp och antändning av brandfarlig vätska (klass 3)
- Scenario 5. Explosionsartat brandförlopp vid utsläpp av oxiderande ämne (klass 5.1) eller organiska peroxider (klass 5.2)
- Scenario 6. Urspårning med efterföljande kollision med bebyggelse

## A.2 INDATA

### A.2.1 Allmänt – Mäljarbanan

Planområdet angränsar mot Mäljarbanan längs ca 2 kilometer. På den aktuella sträckan består järnvägen av 2 spår med genomgående tågtrafik.

Tillåten maxhastighet på spåren är 140 km/h för persontåg och 100 km/h för godståg. Inom området är järnvägsstationen i Bro lokaliserad vilket medför att majoriteten av persontågen kommer hålla en lägre hastighet. Konservativt används dock maxhastigheten i beräkningarna. Längs den aktuella sträckan har det identifierats 4 växlar mellan spåren. Lika fördelning av spårtrafiken på de båda spåren förutsätts.

### A.2.2 Tågtrafik

På den aktuella järnvägssträckan går persontåg och godståg. I tabell A.1 redovisas antalet tåg /1/ under ett år. Utifrån schablonmått för vagnantal för olika typer av tågmodeller har det

---

/1/ Uppgifter från Banverket under 2010, hämtade från Trafikbulerutredning för området Södra Grön Dalen i Bro. Upprättad av Thyrens 2011

totala antalet vagnar uppskattats. Enligt VTI-rapport 387:2 utgör persontåg i medel 10 vagnar och godståg utgörs av 32 vagnar /2/.

Tabell A.1. Sammanställning av antal tåg och vagnar på Mälarbanan i anslutning till planområdet.

Typ av tåg	Tåg per dygn	Vagnar per dygn
Persontåg	128	1280
Godståg	5	160
<b>TOTALT</b>	133	1440

Mälarbanan byggs idag ut på sträckan Tomtebodavägen – Kallhäll i två etapper. På denna sträckan har prognoser gjorts för tågtrafiken som visar en ökning av persontåg med 72% och en ökning av godståg med 67% för år 2030. Samma ökning har antagits för sträckan förbi Bro, ökningen verifieras även genom Trafikverkets prognos för sträckan /3/.

### A.2.2.1 Godståg med farligt gods

Av godståg som går på den aktuella sträckan medför ett antal vagnar som rymmer farligt gods. Information om mängder och antal vagnar av respektive farligt godsclass har erhållits från Myndigheten för samhällsskydd /4/ och beredskap samt från Trafikanalys /5/.

1. Kartläggning av järnvägstransporter med farligt gods– september 2006, Räddningsverket, 2007. Kartläggningen visar transporterad mängd av respektive farligt godsclass för den aktuella delen av Mälarbanan. Mängderna anges dock i stora intervall.
2. Kartläggning av Trafikanalys mellan åren 2006 och 2010. Kartläggningen ger en fördelning för hur mycket av respektive farligt godsclass som transporteras i förhållande till varandra per år. Fördelningen gäller då för samtliga transporter i Sverige och inte specifikt för den aktuella sträckan. I analysen används ett snitt över de redovisade åren.

I tabell A.2 redovisas mängderna av respektive farligt godsclass som förekommer på järnvägssträckan enligt respektive mätningar. I tabellen redovisas även uppskattat antalet godsvagnar, vilket beräknas utifrån en bedömd medelmängd per vagn. För respektive mätning har mängder och uppskattat vagnantal omräknats till årsbasis. Omräkningen har utförts mycket grovt genom ett antagande att fördelningen av transporter är jämn över året.

/2/ Om sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods, VTI-rapport 387:2, Väg- och transport forskningsinstitutet, 1994

/3/ Uppgifter från Rene Braune, Trafikanalytiker. Trafikverket, 2012-10-15

/4/ Kartläggning av farligt godstransporter, September 2006. Räddningsverket 2006

/5/ Godstransporter i Sverige – redovisning av ett regeringsuppdrag. Rapport 2012:7. Trafikanalys 2012

Statistiken från Räddningsverket 2006 omfattar mängden farligt gods uppdelat på klassernas underklasser. Statistik från Trafikanalys redovisar en fördelning av respektive klass. I tabellen nedan redovisas de totala mängderna per klass.

Tabell A.2. Uppmätt mängd, respektive antal vagnar med, farligt gods per år på Mälarbanan utifrån kartläggningar mellan 2006-2010 och från 2006.

Klass	Ämne	Transporterad godsmängd (nettoton)	
		Trafikanalys, 2006-2010 (%)	MSB, 2006 (ton, uppräknat per år)
1	Explosiva ämnen	0,015%	0-312
2	Gaser	29%	0-240
3	Brandfarliga vätskor	39%	0-104400
4	Brandfarliga fasta ämnen m.m.	7,2%	0-768
5	Oxiderande ämnen och organiska peroxider	13%	0-120
6	Giftiga ämnen	1,9%	0
7	Radioaktiva ämnen	0,03%	0
8	Frätande ämnen	9,2%	0
9	Magnetiska material och övriga farliga ämnen	0,7%	0

### A.3 BERÄKNINGAR JÄRNVÄGSOLYCKA

I detta avsnitt beräknas frekvensen för järnvägsolycka på den aktuella järnvägssträckan. Avsnittet behandlar först skadescenariot urspårning, där resultatet sedan nyttjas för frekvensberäkningar för scenarier förknippade med transporter av farligt gods. Frekvensberäkningarna utförs utifrån den metodik som presenteras i Banverkets rapport ”Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen” /6/.

Beräkningarna utgår från den indata som redovisas i avsnitt A.2 avseende faktorerna:

- Antal spårkm – aktuell sträcka x antal spår
- Antal tågkm – aktuell sträcka x antal tåg
- Antal vagnaxelkm – aktuell sträcka x antal vagnar x antal vagnaxlar per vagn

Frekvensen för urspårning beräknas utifrån följande sannolikheter för urspårning förknippade med olika typer av felfaktorer, vilka finns redovisade i Banverkets rapport /6/:

---

/6/ Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Sven Fredén, Banverket Borlänge, 2001

- Rälsbrott  $5,0 \cdot 10^{-11}$  / vagnaxelkm
- Solkurvor  $1,0 \cdot 10^{-5}$  / spårkm
- Spårlägesfel  $4,0 \cdot 10^{-10}$  / v.a.km
- Vagnfel  $5,0 \cdot 10^{-10}$  / v.a.km (persontåg)  
 $3,1 \cdot 10^{-9}$  / v.a.km (godståg)
- Lastförskjutning  $4,0 \cdot 10^{-10}$  / v.a.km godståg
- Annan orsak  $5,7 \cdot 10^{-8}$  / tågkm
- Okänd orsak  $1,4 \cdot 10^{-7}$  / tågkm

Vid en urspårning spårar i genomsnitt 3,5 vagnar ur.

Vid passage över en växel kan urspårning även ske p.g.a. felfaktorer förknippade med växeln. Utöver ovanstående faktorer bör därför även följande faktorer beaktas då det har identifierats växlar på den aktuella järnvägssträckan:

- Växel sliten, trasig  $5,0 \cdot 10^{-9}$  / tågpassage
- Växel ur kontroll  $7,0 \cdot 10^{-8}$  / tågpassage

Frekvensen för urspårning har beräknats utifrån ovanstående indata för respektive järnvägsspår och sammanställs i tabell A.3.

Tabell A.3. Beräknad frekvens för urspårning till följd av felfaktorer förknippade med spårfel, tågfel eller övrigt.

Orsak	Urspårningsfrekvens (per år)		
	Spår 1	Spår 2	Totalt
<b>Spårfel</b>			
Rälsbrott	1,05E-04	1,05E-04	2,10E-04
Solkurvor	2,00E-05	2,00E-05	4,00E-05
Spårlägesfel	8,41E-04	8,41E-04	1,68E-03
<b>Växelfel</b>			
Växel sliten, trasig	3,03E-04	1,82E-04	4,85E-04
Växel ur kontroll	4,25E-03	2,55E-03	6,80E-03
<b>Vagnfel</b>			
Vagnfel persontåg	9,34E-04	9,34E-04	1,87E-03
Vagnfel godståg	7,24E-04	7,24E-04	1,45E-03
Lastförsjukning godståg	9,34E-05	9,34E-05	1,87E-04
<b>Övrigt</b>			
Annan orsak	2,77E-03	2,77E-03	5,53E-03
Okänd orsak	6,80E-03	6,80E-03	1,36E-02
<b>Totalt</b>	<b>1,68E-02</b>	<b>1,50E-02</b>	<b>3,18E-02</b>
<b>Antal urspårade vagnar</b>	<b>5,89E-02</b>	<b>5,25E-02</b>	<b>1,11E-01</b>

Ytterligare järnvägsolyckor som kan medföra efterföljande olycksscenarioer är kollisioner, antingen mellan spårfordon eller i plankorsningsolyckor. Enligt Banverkets rapport /6/ bedöms sannolikheten för en sammanstötning med tåg på en linje vara så låg att den

försvinner i den allmänna osäkerheten. Därför beaktas skadescenariot inte vidare i de fortsatta beräkningarna.

### A.3.1 Tågbrand

I underredet till en järnvägsvagn sitter ett flertal olika komponenter och system som kan orsaka rökutveckling eller brand. Orsakerna till bränder i tåg är bland annat tekniska fel som t ex el-, motor- eller bromsfel. Tågbränder kan också starta inne i järnvägsvagnen, till följd av t ex elfel. Inne i vagnen kan även anlagda bränder vara en möjlig brandorsak. Både gamla vagnar och lok byts successivt ut till modernare material, vilket reducerar sannolikheten för tågbrand, främst till följd av tekniska fel. Frekvensen för brand i järnvägsfordon var mellan 1997-2006 ca 0,6-1,6 per 10 miljoner tågakilometer och år, varav majoriteten vanligtvis utgörs av brand i personvagn /7/.

### A.3.2 Järnvägsolycka med farligt gods

Den förväntade frekvensen för en järnvägsolycka där vagn som rymmer farligt gods är inblandad beräknas utifrån samma metodik som redovisas i avsnitt A.3.1 Urspårning. Beräkningarna beaktar först det totala antalet godståg och godsvagnar och därefter beräknas frekvensen för farligt godsolycka utifrån den andel som dessa vagnar utgör. I tabell A.4 redovisas frekvensberäkningarna för urspårning av godståg.

Tabell A.4. Beräknad frekvens för urspårning med godståg till följd av felfaktorer förknippade med spårfel, tågfel eller övrigt.

Orsak	Urspårningsfrekvens (per år)
<b>Spårfel</b>	
Rälsbrott	2,34E-05
Solkurvor	4,00E-05
Spårlägesfel	1,87E-04
<b>Växelfel</b>	
Växel sliten, trasig	1,83E-05
Växel ur kontroll	2,56E-04
<b>Vagnfel</b>	
Vagnfel godståg	1,45E-03
Lastförsjuktning godståg	1,87E-04
<b>Övrigt</b>	
Annan orsak	2,08E-04
Okänd orsak	5,11E-04
<b>Totalt</b>	<b>2,88E-03</b>
<b>Antal urspårade vagnar</b>	<b>1,01E-02</b>

/7/ Statistik över olyckor på statens spåranläggningar år 2006, Banverket 2006

Enligt tabell A.2 är det stora skillnader avseende mängderna farligt gods på den aktuella järnvägssträckan mellan de olika kartläggningarna. Att anta att mängderna som transporteras under respektive mätperiod är representativ för hela året är ett grovt antagande.

Enligt ovan beräknas frekvensen för godstågsolycka för ett prognostiserat antal godståg för år 2030. Det förutsätts att även antalet vagnar som innehåller farligt gods också kan komma att öka fram till år 2030, vilket bör beaktas. Det antas grovt att den procentuella ökningen av farligt gods följer den totala ökningen av godstrafik på den delen av Mälarbanan som byggs ut med två spår, vilken enligt ovan prognostiserats till ca 67% i förhållande till 2005 års trafikmängder.

Vid uppskattning av frekvensen för farligt godsolycka på järnväg används en sammanställning av ovan angivna statistiska underlag där hänsyn tas till prognostiserade ökningarna av godstrafiken fram till år 2030. Beräkningarna görs för två fall med grund i de två underlag som presenterats i tabell A.2 samt med hänsyn tagen till prognostiserad ökning. Till fördelningen från Trafikanalys antas att andelen farligt gods utgör 4 % av den totala godstrafiken, för uppgifter från MSB används max-värdet.

I tabell A.5 redovisas den förväntade frekvensen för järnvägsolycka med farligt gods för respektive underlag. Vid frekvensberäkningen antas det att sannolikheten för järnvägsolycka med godsvagn är oberoende av vilken last som ryms i vagnarna, d.v.s. sannolikheten för att en farligt godsvagn är inblandad är direkt kopplad till hur stor andel av det totala antalet godsvagnar som rymmer farligt gods. Fördelningen av olyckor mellan de olika klasserna antas vara densamma som andelen av respektive klass (se tabell A.2). Enligt tidigare kommer dock de fortsatta beräkningarna att avgränsas till olyckor förknippade med transporter av ämnen ur klass 1, 2, 3 och 5.

*Tabell A.5. Sammanställning frekvensberäkningar järnvägsolycka med farligt gods på Mälarbanan beroende på indata. Procentsats i raden totalt utgör andelen farligt godsvagnar i förhållande till totalt antal godsvagnar. Procentsats i övriga rader utgör andelen av respektive klass i förhållande till totalt antal farligt godsvagnar.*

Scenario	Järnvägsolycka med fago-vagn [per år]			
	Underlag från Trafikanalys		Underlag från MSB	
Totalt	4,0%	4,0E-04	6,9%	7,0E-04
klass 1	0,0%	6,0E-08	0,3%	2,4E-06
Klass 2	29,0%	1,2E-04	0,2%	1,7E-06
klass 3	39,0%	1,6E-04	98,9%	6,9E-04
klass 4	7,2%	2,9E-05	0,4%	2,8E-06
klass 5	13,1%	5,3E-05	0,1%	8,1E-07
klass 6	1,9%	7,7E-06	0,0%	0,0E+00
klass 7	0,0%	1,2E-07	0,0%	0,0E+00
klass 8	9,2%	3,7E-05	0,0%	0,0E+00
klass 9	0,7%	2,8E-06	0,0%	0,0E+00

### A.3.2.1 Klass 1. Explosiva ämnen

Explosiva ämnen och föremål (klass 1) delas upp i sex olika undergrupper (riskgrupper) utifrån risk för bl.a. brand, massexplosion, splitter och kaststycken. Ämnen inom riskgrupp 1.1 utgörs av ämnen och föremål med risk för massexplosion, vilket innebär en explosion som påverkar så gott som hela lasten praktiskt taget samtidigt. Med avseende på olycksrisker som kan påverka personsäkerheten inom det aktuella planområdet bedöms det enbart vara en explosion med ämnen ur riskgrupp 1.1 som är aktuella att studera.

Utifrån den studerade statistiken bedöms mängden explosivämnen som transporteras på järnvägen vara mycket begränsad (se tabell A.2).

Vidare så görs bedömningen att ämnen som ingår i riskgrupp 1.1 enbart utgöra en mycket liten, om ens befintlig, andel av explosivämnena. Mycket grovt (och uppskattningsvis konservativt) antas det inledningsvis att 10 % av de explosiva ämnena som transporteras utgör riskgrupp 1.1.

Vid en olycka med transport av ämnen ur riskgrupp 1.1. kan en massexplosion uppstå antingen till följd av att stora påkänningarna eller till följd av brand som sprids till lasten. Det finns detaljerade regler för hur explosiva ämnen skall förpackas och hanteras vid transport och utifrån detta bedöms att det vara låg sannolikhet för att olycka vid transport av explosiva ämnen leder till omfattande skador på det transporterade godset på grund av påkänningar. Ett konservativt uppskattande av sannolikheten för att tillräckligt stora påkänningar uppstår vid olyckan sätts till 10 % av fallen. Frekvensen för att en tågbrand antas enligt ovan vara ca 0,6-1,6 per 10 miljoner tågkilometer och år. Om det antas att ett godståg utgör ca 32 vagnar och den aktuella sträckan enligt ovan är 2 km skulle det innebära en sannolikhet motsvarande 38,4 – 102,4 (0,6 x 32 vagnar x 2 km – 1,6 x 32 x 2 km) tågbränder per 10 miljoner vagnar. Att en brand ska sprida sig till lasten och därmed medföra en explosion bedöms vara ca 10 %.

Figur A.1 i avsnitt A.3.5 redovisar ett händelsetråd över följdscenarier vid en olycka med transport av explosiva ämnen som redovisar de förutsättningar som krävs för att en massexplosion ska antas inträffa. Frekvensen för massexplosion beräknas enligt ekvationen som följer. Beräkningsresultaten redovisas sedan i tabell A.6 för respektive indata.

$$f_{\text{explosion}} = f_{\text{Klass 1}} \times P_{\text{Riskgrupp 1.1}} \times P_{\text{stora påkänningar}} + F_{\text{tågbrand klass 1.1}} \times P_{\text{spridning till last}} \quad \text{Ekvation A.1}$$

där:

$f_{\text{explosion}}$	Frekvens för massexplosion [per år].
$F_{\text{Klass 1}}$	Frekvens för järnvägsolycka med vagn rymmandes klass 1, enligt tabell A.5 [per år].
$P_{\text{Riskgrupp 1.1}}$	Andel av den totala mängden av ämnen i ADR-klass 1 som utgörs av ämnen i riskgrupp 1.1. 10 % enligt ovan.
$P_{\text{stora påkänningar}}$	Sannolikhet för att trafikolyckan innebär så stora påkänningar på lasten att de orsakar detonation, 10 % enligt ovan.



- $F_{\text{tågbrand klass 1.1}}$  Frekvensen för brand i godståg med transport av ämnen ur klass 1.1. Beräknas med ekvationen:  
 $F_{\text{tågbrand klass 1.1}} = P_{\text{tågbrand/vagn}} \times N$  där  $P_{\text{tågbrand/vagn}}$  är sannolikheten för tågbrand per godsvagn (38,4-102,4 tågbränder per 10 miljoner vagnar) och  $N$  är antalet godsvagnar med ämnen ur riskgrupp 1.1.
- $P_{\text{Spridning till last}}$  Sannolikhet för att fordonsbrand sprider sig till lasten och orsakar detonation, 10 % enligt ovan.

Tabell A.6. Beräknade frekvens för olika scenarier vid transport av ämne ur riskgrupp 1.1 beroende på indata.

Scenario	Frekvens [per år]	
	Trafikanalys	MSB
<b>Järnvägsolycka med explosivämne (klass 1)</b>	<b>6,0E-08</b>	<b>2,4E-06</b>
Explosion med massexplosiva ämnen (klass 1.1)		
- P.g.a. starka påkänningar	6,0E-10	2,4E-08
- P.g.a. tågbrand	3,5E-11	0,0E+00
<b>- Totalt</b>	<b>6,4E-10</b>	<b>2,4E-08</b>

### A.3.2.2 Klass 2. Gaser

Gaser (klass 2) delas in i följande undergrupper:

- brännbara gaser (klass 2.1)
- icke giftiga och icke brännbara gaser (klass 2.2)
- giftiga icke brännbara gaser (klass 2.3).

Gaser ur klass 2.2 utgör sådana gaser som normalt inte orsakar personskador vid utsläpp mer än i det direkta närområdet. Därför beaktas inte transporter av dessa gaser i riskanalysen.

Normalt utgör klass 2.3 en mycket begränsad andel av transportererna enligt dessa kartläggningar.

I underlaget från MSB (högra kolumnen i tabell A.2) tillhör hela mängden klass 2 gods, under klass 2.2. Således medför frekvensberäkningarna att inga olyckor som medför brännbart/giftigt utsläpp erhålls då detta underlag används.

Sannolikheten för läckage av farligt gods till följd av järnvägsolycka varierar beroende på om godset transporteras i en tunn- eller tjockväggig vagn. Gaser transporteras vanligtvis tryckkondenserade i tjockväggiga tryckkärl och tankar med hög hållfasthet. Sannolikheten för stort respektive litet läckage (punktering) som följd av en olycka antas för tjockväggiga

vagnar till 1 % respektive 1 % /8/. Dessa värden antas för olycka med både brännbara respektive giftiga gaser.

För **brännbara gaser** kan tre scenarier antas uppstå beroende på typen av antändning:

- *Jetflamma*: omedelbar antändning av läckande gas under tryck.
- *Gasmolnsexplosion*: fördröjd antändning av gas som hunnit spridas och därmed ej är under tryck .
- *Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE)*: gasexplosion där hela en tank utan fungerande säkerhetsventil utsätts för en brand under en längre tid vilket hettar upp den kondenserade gasen så att den kokar upp och expanderar tills tanken exploderar.

Sannolikheten för respektive antändningstyp är beroende av utsläppets storlek och fördelas enligt följande /9/:

	Litet utsläpp	Stort utsläpp
• omedelbar antändning (jetflamma):	10 %	20 %
• fördröjd antändning (gasmolnsexplosion):	0 %	50 %
• ingen antändning:	90 %	30 %

Sannolikheten för en BLEVE är mycket låg och scenariot bedöms enbart kunna uppstå antingen vid en brand i den aktuella vagnen alternativt vid ett stort läckage i intilliggande tank som antänds direkt där jetflamman riktas direkt mot den oskadade tanken under en lång tid. Sannolikheten för att en BLEVE ska uppstå till följd av dessa två scenarier är mycket låg, uppskattningsvis mindre än 1 % för respektive scenario.

Vid gasmolnsexplosion samt utsläpp av **giftig gas** kan vindriktning och vindstyrkan påverka konsekvensområdets storlek. I konsekvensberäkningarna som redovisas i bilaga B kommer dock dessa att studeras konservativt, d.v.s. värsta tänkbara vindstyrka, varför denna faktor ej beaktas i frekvensberäkningarna.

Figur A.2 i avsnitt A.3.5 redovisar ett händelsetråd över följdscenarier vid en olycka med transport av gaser. Frekvensen för olika utsläppsscenarier har beräknats för respektive indata och redovisas i tabell A.7.

---

/8/ Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Sven Fredén, Banverket Borlänge, 2001

/9/ Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail, Purdy, Grant, Journal of Hazardous materials, 33 1993

Tabell A.7. Beräknade frekvenser för olika skadescenarier vid transport av gaser (klass 2) beroende på indata.

Scenario	Frekvens [per år]	
	Trafikanalys	MSB
Järnvägsolycka med gas (klass 2)	1,2E-04	1,7E-06
<b>Järnvägsolycka med klass 2.1</b>	<b>8,8E-05</b>	<b>0,0E+00</b>
Liten jetflamma	8,8E-08	0,0E+00
Liten gasmolnsexplosion	0,0E+00	0,0E+00
Stor jetflamma	1,7E-07	0,0E+00
Stor gasmolnsexplosion	4,4E-07	0,0E+00
BLEVE		
jetflamma riktad mot oskadad tank	1,8E-09	0,0E+00
tågbrand under oskadad tank	5,1E-08	0,0E+00
BLEVE totalt	5,3E-08	0,0E+00
<b>Järnvägsolycka med klass 2.3</b>	<b>5,8E-06</b>	<b>0,0E+00</b>
Litet utsläpp giftig gas	5,8E-08	0,0E+00
Stort utsläpp giftig gas	5,8E-08	0,0E+00

### A.3.2.3 Klass 3. Brandfarliga vätskor

Brandfarliga vätskor (klass 3) transporteras normalt i tunnväggiga tankar. Detta medför en något högre sannolikhet för läckage till följd av en järnvägsolycka jämfört med vid en olycka med gastransporter som transporteras i tjockväggiga vagnar. Sannolikheten för ett litet läckage (punktering) respektive stort läckage vid urspårning är för tunnväggig vagn 25 % och 5 % /10/.

Sannolikheten för att ett litet respektive stort läckage av brandfarliga vätskor på järnväg skall antändas är 10 % och 30 % /11/.

Figur A.3 i avsnitt A.3.5 redovisar ett händelsetråd över följdscenarier vid en olycka med transport av brandfarlig vätska. Frekvensen för olika utsläppsscenarioer har beräknats för respektive indata och redovisas i tabell A.8.

Tabell A.8. Beräknade frekvenser för olika skadescenarier vid transport av brandfarlig vätska (klass 3) beroende på indata.

Scenario	Frekvens [per år]	
	Trafikanalys	MSB
Järnvägsolycka med brandfarlig vätska (klass 3)	1,6E-04	6,9E-04
Liten pölbrand	3,9E-06	1,7E-05
Stor pölbrand	2,4E-06	1,0E-05

/10/ Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Sven Fredén, Banverket Borlänge, 2001

/11/ Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail, Purdy, Grant, Journal of Hazardous materials, 33 1993

### A.3.2.4 Klass 5. Oxiderande ämnen och organiska peroxider

Oxiderande ämnen (klass 5.1) och organiska peroxider (klass 5.2) brukar vanligtvis inte leda till personskador. Vissa ämnen kan dock, om de kommer i kontakt med brännbart, organiskt material (t ex bensin, motorolja etc.), leda till självantändning och kraftiga explosionsförlopp. De ämnen inom klassen som bedöms kunna leda till kraftiga brand- och explosionsförlopp är i huvudsak ej stabiliserade väteperoxider och vattenlösningar av väteperoxider med över 60 % väteperoxid samt organiska peroxider. Vattenlösningar av väteperoxider med mindre än 60 % väteperoxid bedöms däremot inte kunna leda till explosion. För att stabilisera det oxiderande ämnet blandas ofta en stabilisator, flegmatiseringsmedel, in för att minska reaktionsbenägenheten.

Enligt regelverket RID-S /12/ är det inte tillåtet att transportera ej stabiliserade (d.v.s. utan flegmatiseringsmedel) väteperoxider eller vattenlösningar med över 60 % väteperoxid på järnväg. Andelen av de oxiderande ämnena på järnvägen som bedöms kunna självantända explosionsartat vid kontakt med organiskt material antas därför vara mycket begränsad.

Det antas grovt att 10 % av den totala mängden klass 5 som transporteras på järnvägen utgör ämnen som kan självantända explosionsartat vid kontakt med organiskt material. Oxiderande ämnen antas transporteras i tunnväggiga vagnar och sannolikheten för läckage är då 30 %. Sannolikheten för att det utläckta ämnet ska komma i kontakt med brännbart material bedöms vara relativt hög (antaget 50 %). Ovanstående resonemang kring förbud och stabilisering innebär dock att sannolikheten för ett explosionsartat brandförlopp bedöms vara lägre än 1 %. Detta antagande gäller både för oxiderande ämnen och organiska peroxider.

Figur A.4 i avsnitt A.3.5 redovisar ett händelsetråd över följdscenarier vid en olycka med transport av oxiderande ämnen och organiska peroxider. Frekvensen för olika utsläppsscenarier har beräknats för respektive indata och redovisas i tabell A.9.

Tabell A.9. Beräknade frekvenser för olika skadescenarier vid transport av oxiderande ämnen och organiska peroxider (klass 5) beroende på indata.

Scenario	Frekvens [per år]	
	Trafikanalys	MSB
<b>Järnvägsolycka med oxiderande ämne (klass 5)</b>	<b>5,3E-05</b>	<b>8,1E-07</b>
Explosionsartat brandförlopp vid självantändning		
Klass 5.1	7,1E-09	1,1E-10
Klass 5.2	7,9E-09	1,2E-10
Totalt	1,5E-08	2,3E-10

### A.3.3 Ursparning som leder till kollision med bebyggelse

En ursparning kan medföra att de ursparade järnvägsvagnarna hamnar en bit från spåret. Ursparningen kan då leda till skador inom planområdet även om tåget inte rymmer farligt

/12/ RID-S – Statens räddningsverks föreskrifter om transport av farligt gods på järnväg, SRVFS 2006:8, Räddningsverket, 2006

gods. Huruvida personer i planområdet skadas eller ej beror på hur långt ifrån rälsen en vagn hamnar efter urspårning.

### A.3.3.1 Metodik

Nedanstående frekvensberäkningar utförs utifrån den metodik som redovisas i *Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone /13/* avseende beräkning av följande faktorer:

1. Frekvensen för urspårning i anslutning till bebyggelse
2. Sannolikhet att urspårat tåg kolliderar med byggnad
3. Sannolikhet att byggnad kollapsar till följd av kollision

**Frekvensen för urspårning i anslutning till bebyggelse ( $F_1$ )** beräknas med följande ekvation:

$$F_1 = e_r \times d \times Z_d \times 365 \times 10^{-3} \quad \text{där}$$

$e_r$  = urspårningsfrekvens per tågkm

$d$  = den längsta sträcka som den urspårade vagnen kan gå längs med spåret, vilket beräknas som  $V^2/80$ , där  $V$  är tågets hastighet (km/h) vid urspårningstillfället

$Z_d$  = antal tåg per dygn

**Sannolikheten att urspårat tåg kolliderar med byggnad ( $P_2$ )** beräknas med nedanstående ekvation. Sannolikheten är beroende av avståndet mellan järnvägsspår och byggnad och avtar med ett ökat avstånd. Sannolikheten per spår beräknas med följande ekvation:

$$P_2 = \left(\frac{b-a}{b}\right)^2 \times 0,5 \times \frac{c}{d} \quad \text{där:}$$

$d$  = se ovan

$b$  = det maximala vinkelräta avståndet (m) från spåret som vagnen kan hamna, vilket beräknas som  $V^{0,55}$

$a$  = vinkelrätt avstånd (m) mellan spårmittpunkt och byggnad

$c$  = det, längs spåret, parallella avståndet inom vilket byggnad löper risk att träffas av urspårad vagn på ett avstånd  $a$ , vilket beräknas med ekvationen:

$$c = \frac{d}{b} \times (b - a) \quad \text{om } b > a. \quad \text{Är } b < a \text{ blir } c = 0.$$

---

/13/ Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone (UIC Code 777-2 R), International Union of Railways, 2nd edition September 2002

**Sannolikheten att byggnad kollapsar till följd av kollision ( $P_3$ )** beräknas vidare med följande ekvation:

$$P_3 = \left(1 - \frac{2}{3} \times \frac{t \times (2b - 2a - t)}{(b - a)^2}\right) \times \alpha \quad \text{för} \quad b - t - a > 0 \quad \text{där}$$

$t =$  det vinkelräta avståndet (m) från spåret där den urspårade vagnens hastighet sjunkit under 60 km/h, vilket beräknas med ekvationen:

$$t = \frac{a \times d'}{d - d'}$$

$a =$  se ovan

$d' =$  det, längs spåret, längsta avståndet som den urspårade vagnen kan gå, där hastigheten fortfarande överstiger eller är lika med 60 km/h. Antaget 45 m /14/

$\alpha =$  sannolikheten för ras beroende av konstruktionens robusthet.  $\alpha = 1$  innebär att alla kollisioner där hastigheten överstiger 60 km/h leder till ras.

Ovanstående ekvationer används för att beräkna den förväntade **frekvensen för att byggnad kollapsar till följd av urspårning ( $F_4$ )**, d.v.s:

$$F_4 = F_1 \times P_2 \times P_3$$

### A.3.3.2 Beräkningar

I beräkningarna används följande indata:

$e_r =$   $0,25 \cdot 10^{-8}$  / tågkm (persontåg) resp.  $2,5 \cdot 10^{-8}$  / tågkm (godståg)

$V =$  140 km/h (persontåg) resp. 100 km/h (godståg)

$Z_d =$  66,5 tåg spår 1 resp. 66,5 tåg spår 2, se tabell A.1

$d' =$  45 meter enligt ovan

$\alpha =$  1 (konservativt)

Parametrarna  $d$  respektive  $b$  beräknas utifrån tågens hastighet  $V$  och blir:

$d =$  245 m (persontåg) resp. 125 m (godståg)

$b =$  15,1 m (persontåg) resp. 12,6 m (godståg)

I tabell A.10 redovisas resultaten av ovanstående beräkningar med avseende på urspårning på respektive spår.

---

/14/ Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone (UIC Code 777-2 R), International Union of Railways, 2nd edition September 2002

Hastigheterna som används i beräkningarna är de hastigheter som tågen får köra i på sträckan. Då Bro station ligger inom området kommer de flesta av tågen hålla betydligt lägre hastigheter då de ska stanna vid stationen. Konservativt används hastigheterna enligt ovan i beräkningarna (detta inkluderar då även scenariot att Mäljarbanan byggs ut även i detta avsnitt, med spår ämnade för tåg som inte ska angöra stationen).

Tabell A.10. Resultat av frekvens- och sannolikhetsberäkningar för urspårningsscenarioer i anslutning till planerad bebyggelse.

Spår 1																			
a (meter)	Persontåg									Godståg									Total
	V	d	b	c	t	F <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	V	d	b	c	t	F <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	
0	140	245	15,1	245	0,00	1,4E-05	50,00%	100,0%	7,2E-06	100	125	12,6	125	0,00	2,9E-06	50,00%	100,0%	1,4E-06	8,6E-06
1	140	245	15,1	229	0,23	1,4E-05	40,74%	97,9%	5,7E-06	100	125	12,6	115	0,56	2,9E-06	46,03%	94,2%	1,2E-06	6,9E-06
2	140	245	15,1	213	0,45	1,4E-05	32,70%	95,5%	4,5E-06	100	125	12,6	105	1,13	2,9E-06	42,06%	88,6%	1,1E-06	5,5E-06
3	140	245	15,1	196	0,68	1,4E-05	25,79%	92,8%	3,4E-06	100	125	12,6	95	1,69	2,9E-06	38,09%	83,3%	9,0E-07	4,3E-06
4	140	245	15,1	180	0,90	1,4E-05	19,93%	89,7%	2,6E-06	100	125	12,6	85	2,25	2,9E-06	34,11%	78,3%	7,6E-07	3,3E-06
5	140	245	15,1	164	1,13	1,4E-05	15,03%	86,0%	1,9E-06	100	125	12,6	75	2,81	2,9E-06	30,14%	73,5%	6,3E-07	2,5E-06
6	140	245	15,1	148	1,35	1,4E-05	11,01%	81,8%	1,3E-06	100	125	12,6	65	3,38	2,9E-06	26,17%	69,0%	5,2E-07	1,8E-06
7	140	245	15,1	132	1,58	1,4E-05	7,78%	76,7%	8,5E-07	100	125	12,6	55	3,94	2,9E-06	22,20%	64,8%	4,1E-07	1,3E-06
8	140	245	15,1	116	1,80	1,4E-05	5,25%	70,7%	5,3E-07	100	125	12,6	46	4,50	2,9E-06	18,23%	60,9%	3,2E-07	8,5E-07
9	140	245	15,1	99	2,03	1,4E-05	3,34%	63,3%	3,0E-07	100	125	12,6	36	5,06	2,9E-06	14,26%	57,2%	2,3E-07	0,0E+00
10	140	245	15,1	83	2,25	1,4E-05	1,96%	54,5%	1,5E-07	100	125	12,6	26	5,63	2,9E-06	10,28%	53,7%	1,6E-07	0,0E+00
11	140	245	15,1	67	2,48	1,4E-05	1,03%	44,2%	6,5E-08	100	125	12,6	16	6,19	2,9E-06	6,31%	50,6%	9,1E-08	0,0E+00
12	140	245	15,1	51	2,70	1,4E-05	0,45%	34,7%	2,2E-08	100	125	12,6	6	6,75	2,9E-06	2,34%	47,7%	3,2E-08	0,0E+00
13	140	245	15,1	35	2,93	1,4E-05	0,14%	42,0%	0,0E+00	100	125	12,6	0	7,31	2,9E-06	0,00%	45,0%	0,0E+00	0,0E+00
14	140	245	15,1	19	3,15	1,4E-05	0,02%	235,8%	0,0E+00	100	125	12,6	0	7,88	2,9E-06	0,00%	42,7%	0,0E+00	0,0E+00
15	140	245	15,1	2	3,38	1,4E-05	0,00%	31492,8%	0,0E+00	100	125	12,6	0	8,44	2,9E-06	0,00%	40,6%	0,0E+00	0,0E+00
16	140	245	15,1	0	3,60	1,4E-05	0,00%	1855,4%	0,0E+00	100	125	12,6	0	9,00	2,9E-06	0,00%	38,8%	0,0E+00	0,0E+00
17	140	245	15,1	0	3,83	1,4E-05	0,00%	660,0%	0,0E+00	100	125	12,6	0	9,56	2,9E-06	0,00%	37,2%	0,0E+00	0,0E+00
18	140	245	15,1	0	4,05	1,4E-05	0,00%	423,9%	0,0E+00	100	125	12,6	0	10,13	2,9E-06	0,000%	35,9%	0,0E+00	0,0E+00
19	140	245	15,1	0	4,28	1,4E-05	0,00%	330,1%	0,0E+00	100	125	12,6	0	10,69	2,9E-06	0,00%	34,9%	0,0E+00	0,0E+00
20	140	245	15,1	0	4,50	1,4E-05	0,00%	281,0%	0,0E+00	100	125	12,6	0	11,25	2,9E-06	0,00%	34,1%	0,0E+00	0,0E+00

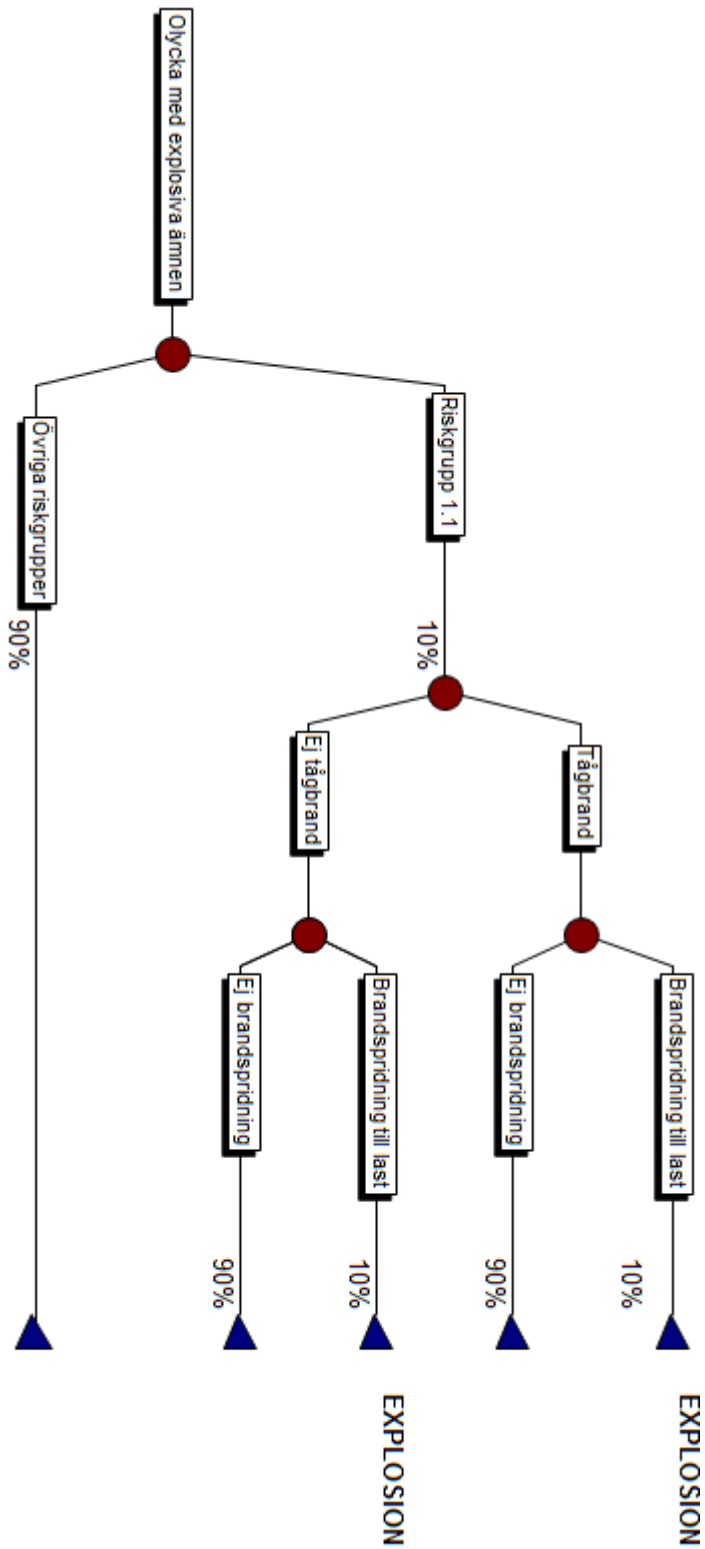


Avstånd mellan spårens mitt antas vara ca 4.2 meter, d.v.s.  $a_{\min} = 4.2$  meter för spår 2

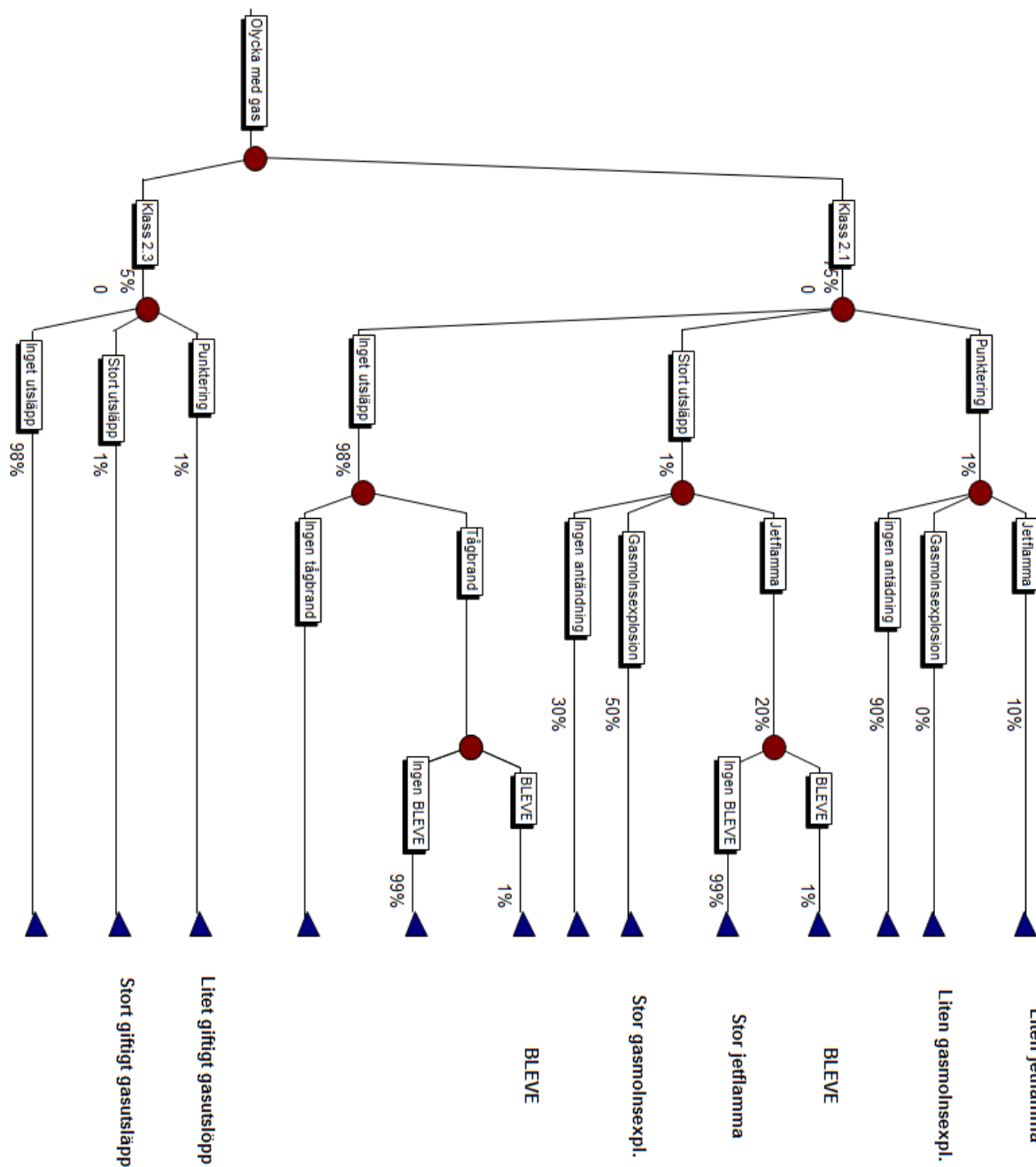
Spår 2																			
a (meter)	Persontåg									Godståg									Total
	V	d	b	c	t	F <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	V	d	b	c	t	F <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	
4,2	140	245	15,1	177	0,95	1,4E-05	18,88%	89,0%	2,4E-06	100	125	12,6	83	2,36	2,9E-06	33,32%	77,3%	7,3E-07	3,1E-06
5,2	140	245	15,1	161	1,17	1,4E-05	14,16%	85,2%	1,7E-06	100	125	12,6	73	2,93	2,9E-06	29,35%	72,6%	6,1E-07	2,3E-06
6,2	140	245	15,1	145	1,40	1,4E-05	10,31%	80,8%	1,2E-06	100	125	12,6	63	3,49	2,9E-06	25,38%	68,2%	4,9E-07	1,7E-06
7,2	140	245	15,1	129	1,62	1,4E-05	7,22%	75,6%	7,8E-07	100	125	12,6	54	4,05	2,9E-06	21,40%	64,0%	3,9E-07	1,2E-06
8,2	140	245	15,1	112	1,85	1,4E-05	4,83%	69,3%	4,8E-07	100	125	12,6	44	4,61	2,9E-06	17,43%	60,1%	3,0E-07	0,0E+00
9,2	140	245	15,1	96	2,07	1,4E-05	3,03%	61,7%	2,7E-07	100	125	12,6	34	5,18	2,9E-06	13,46%	56,5%	2,2E-07	0,0E+00
10,2	140	245	15,1	80	2,30	1,4E-05	1,74%	52,5%	1,3E-07	100	125	12,6	24	5,74	2,9E-06	9,49%	53,1%	1,4E-07	0,0E+00
11,2	140	245	15,1	64	2,52	1,4E-05	0,89%	42,1%	5,3E-08	100	125	12,6	14	6,30	2,9E-06	5,52%	50,0%	7,9E-08	0,0E+00
12,2	140	245	15,1	48	2,75	1,4E-05	0,37%	33,7%	1,8E-08	100	125	12,6	4	6,86	2,9E-06	1,55%	47,1%	2,1E-08	0,0E+00
13,2	140	245	15,1	32	2,97	1,4E-05	0,11%	51,7%	0,0E+00	100	125	12,6	0	7,43	2,9E-06	0,00%	44,6%	0,0E+00	0,0E+00
14,2	140	245	15,1	15	3,20	1,4E-05	0,01%	407,3%	0,0E+00	100	125	12,6	0	7,99	2,9E-06	0,00%	42,2%	0,0E+00	0,0E+00
15,2	140	245	15,1	0	3,42	1,4E-05	0,00%	303272,8%	0,0E+00	100	125	12,6	0	8,55	2,9E-06	0,00%	40,2%	0,0E+00	0,0E+00
16,2	140	245	15,1	0	3,65	1,4E-05	0,00%	1363,3%	0,0E+00	100	125	12,6	0	9,11	2,9E-06	0,00%	38,4%	0,0E+00	0,0E+00
17,2	140	245	15,1	0	3,87	1,4E-05	0,00%	588,8%	0,0E+00	100	125	12,6	0	9,68	2,9E-06	0,00%	36,9%	0,0E+00	0,0E+00
18,2	140	245	15,1	0	4,10	1,4E-05	0,00%	399,0%	0,0E+00	100	125	12,6	0	10,24	2,9E-06	0,00%	35,7%	0,0E+00	0,0E+00
19,2	140	245	15,1	0	4,32	1,4E-05	0,00%	318,0%	0,0E+00	100	125	12,6	0	10,80	2,9E-06	0,00%	34,7%	0,0E+00	0,0E+00
20,2	140	245	15,1	0	4,55	1,4E-05	0,00%	273,9%	0,0E+00	100	125	12,6	0	11,36	2,9E-06	0,00%	34,0%	0,0E+00	0,0E+00
21,2	140	245	15,1	0	4,77	1,4E-05	0,00%	246,5%	0,0E+00	100	125	12,6	0	11,93	2,9E-06	0,00%	33,5%	0,0E+00	0,0E+00
22,2	140	245	15,1	0	5,00	1,4E-05	0,00%	227,9%	0,0E+00	100	125	12,6	0	12,49	2,9E-06	0,000%	33,3%	0,0E+00	0,0E+00
23,2	140	245	15,1	0	5,22	1,4E-05	0,00%	214,5%	0,0E+00	100	125	12,6	0	13,05	2,9E-06	0,00%	33,4%	0,0E+00	0,0E+00
24,2	140	245	15,1	0	5,45	1,4E-05	0,00%	204,3%	0,0E+00	100	125	12,6	0	13,61	2,9E-06	0,00%	33,8%	0,0E+00	0,0E+00

106082

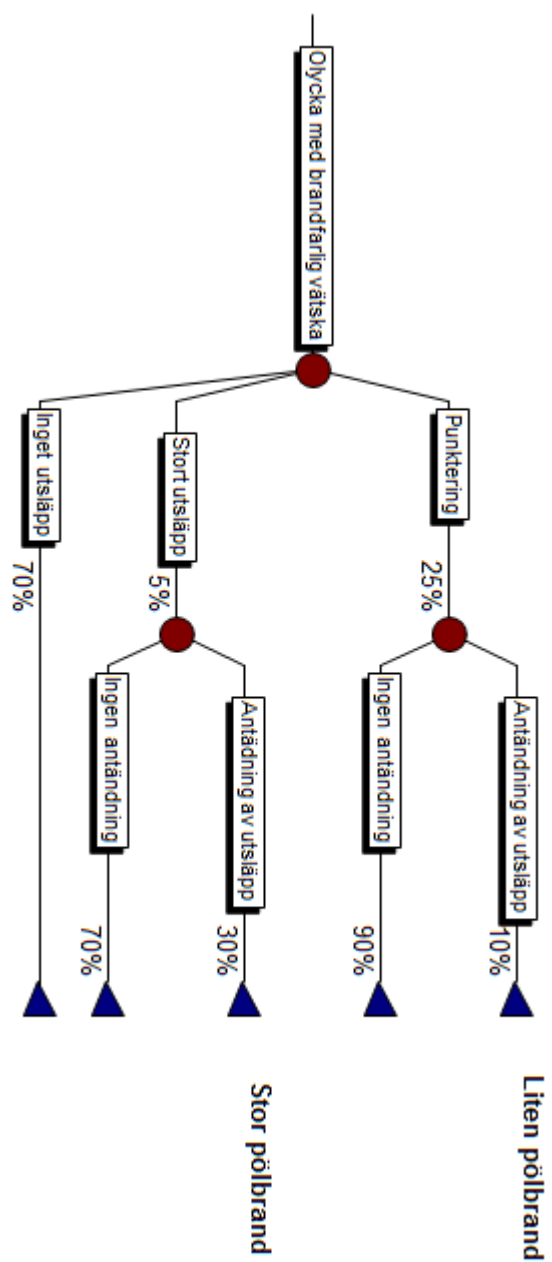
## A.3.4 Händelseträd skadescenarier



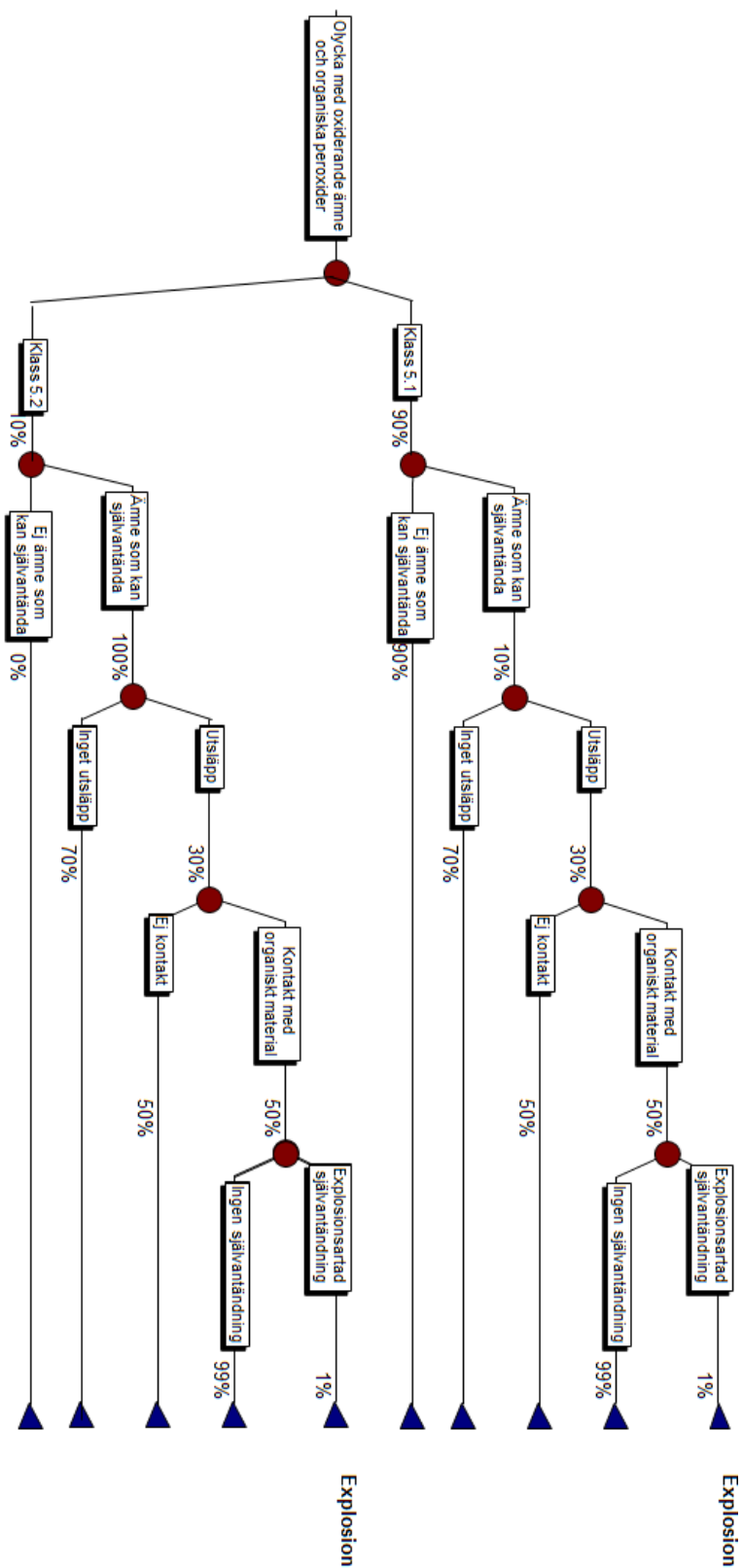
Figur A.1. Händelse-träd olycka med transport av explosiva ämnen (klass 1).



Figur A.2. Händelse-träd olycka med transport av gas (klass 2).



Figur A.3. Händelseträd olycka med transport av brandfarlig vätska (klass 3).



Figur A.4. Händelsetråd olycka med transport av oxiderande ämnen och organiska peroxider (klass 5).