



## Riskutredning



Kvarter Siv  
Uppsala Kommun





# Projektinformation

**Projektnamn:** Kvarter Siv  
**Fastighet:** FÅLHAGEN 3:1  
**Kommun:** Uppsala Kommun  
**Ärende:** Riskutredning  
**Uppdragsgivare** Alma Fålhagen AB

**Kontaktperson:** Fredrik Mässing  
fredrik@massingconsulting.se  
070-277 01 48

**Uppdragsansvarig:** Anders Sandberg  
[anders.sandberg@briab.se](mailto:anders.sandberg@briab.se)  
018-430 30 81

**Handläggare:** Jens Bengtsson  
[jens.bengtsson@briab.se](mailto:jens.bengtsson@briab.se)  
072-189 99 88

Jonas Nilsson  
[jonas.nilsson@briab.se](mailto:jonas.nilsson@briab.se)  
010-203 80 13

Datum	Typ av handling	Upprättad av	Kontrollerad av
2019-09-24	Riskutredning version 1	Jonas Nilsson & Jens Bengtsson	David Winberg
2020-01-14	Riskutredning version 2	Jens Bengtsson	Jens Bengtsson
2020-01-24	Riskutredning version 3	Jens Bengtsson	Jens Bengtsson
2020-06-29	Riskutredning version 4	Jens Bengtsson	Jens Bengtsson
2020-08-18	Riskutredning version 5	Jens Bengtsson	Jens Bengtsson



# Sammanfattning

Med anledning av Alma Fålhagens planer att bygga om och möjliggöra alternativ markanvändning inom planområdet kvarter Siv, Uppsala, har Briab fått uppdraget att göra en riskbedömning av kvarteret. Kvarteret angränsar till järnvägen (Ostkustbanan) som trafikeras med person- och godståg (även farligt gods).

Riskbedömningen utgör beslutsunderlag för ställningstagandet till den planerade markanvändningen inom kvarteret och bedömer lämpligheten utifrån risksynpunkt. Bedömningen görs i enlighet med krav i plan- och bygglagen på att redogöra för nya detaljplaners lämplighet utifrån ett säkerhetsperspektiv. Bedömningen leder till förslag på eventuella skyddsavstånd och riskreducerande åtgärder som gör att risknivån i kvarteret blir acceptabel.

Utifrån en riskinventering av kvarteret och dess omgivning och genomgång av tidigare genomförda riskutredningar för närliggande områden har riskkällor som kan påverka personer som befinner sig inom området identifierats. Dessa har sedan bedömts med kvalitativa resonemang och kvantitativa metoder.

Utifrån den inledande analysen är resultatet att risknivån inom planområdet är förhöjd inom delar av kvarteret. De olyckor som ger upphov till de förhöjda nivåerna är olyckshändelser förknippade med urspårning och olyckor med farligt gods. För att sänka risknivåerna till acceptabla nivåer föreslås följande riskreducerande åtgärder för planområdet:

1. Skydd mot urspårning antingen genom alternativ a **eller** b nedan
  - a. Framtida entréplan mot spårsida dras in så att avståndet mellan byggnadsdelar som kan påverkas vid en eventuell urspårning och befintlig järnvägs närmaste spårmitt blir 20 meter. Med denna utformning bedöms ingen urspårningsräl eller skyddmur krävas.
  - b. Framtida entréplan mot spårsida dras in så att avståndet mellan fasad och befintlig järnvägs närmaste spårmitt blir 20 meter. Bärande element inom 20 meter från närmaste spårmitt skyddas med skyddsmur eller urspårningsräl för att förhindra påverkan vid eventuell urspårning.
2. Inom 25 meter från befintlig järnvägs närmaste spårmitt utformas utomhusytor på marknivå inom detaljplaneområdet för att inte uppmuntra till stadigvarande vistelse. Vistelse på takterass bedöms dock inte medföra oacceptabla risknivåer möjlig inom detta avstånd till följd av en placering som skyddar mot värmestrålning och utsläpp av tunga gaser och kan därför vara möjlig.
3. Nya byggnaders fasader som vetter direkt mot järnvägen och som placeras närmre än 30 meter från närmaste spårmitt utförs med fasader i lägst brandteknisk klass EI 30 och fönster i EW 30. Sådana fönster får vara öppningsbara<sup>1</sup>.
4. Nya byggnader som placeras närmre än 30 meter från närmaste spårmitt utförs med minst en utgång och därmed utrymningsmöjlighet som vetter bort från järnvägen.
5. Tilluftsventilation ska vara gynnsamt placerad med nödavstängningsmöjlighet.

Genom dessa åtgärder så reduceras de två klart största riskerna och både individ- och samhällsrisik bedöms sammantaget vara inom den lägre delen av ALARP-området. Därmed kan risken accepteras utifrån att rimliga skyddsåtgärder har vidtagits.

---

<sup>1</sup> Länsstyrelsen i Stockholms län anser att sådana fönster får vara öppningsbara för exempelvis vädring av bostäder då dessa fönster sannolikt hålls stängda majoriteten av tiden (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2016).



Sammantaget medför de vidtagna åtgärderna att olycksriskerna för den planerade bebyggelsen blir lägre än för befintlig bebyggelse.

### **Översvämningsrisk**

Med anledning av kvarterets närhet till Fyrisån förväntas vattenytan i kvarterets nordvästra sida mot Vaksalagatan hamna som högst +6,2 meter var 200:e år. För att begränsa översvämnings skador behöver källarplan dimensioneras för vatten som når upp till plushöjden +6,2 meter. Ställverksrum, elrum och liknande vitala funktioner för byggnadens drift bör därför förläggas över plushöjden +6,2 m. Om detta ej är möjligt kan dessa funktioner placeras på en lägre plushöjd under förutsättning att åtgärder vidtas som förhindrar att de påverkas vid en översvämning.

Med föreslagen layout är sannolikheten för att markplan ska påverkas låg med hänsyn till dess plushöjd på +6,5 meter.



# Innehåll

<b>1 Inledning</b>	<b>6</b>
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte och mål	6
1.3 Omfattning och avgränsningar	6
1.4 Underlag	7
1.5 Kvalitetssystem	7
1.6 Revideringar	7
<b>2 Riskhänsyn vid fysisk planering</b>	<b>8</b>
2.1 Risk	8
2.2 Styrande dokument	8
2.3 Acceptanskriterier	10
2.4 Nyttjad metod	10
<b>3 Grundläggande förutsättningar</b>	<b>12</b>
3.1 Befolkningstäthet	13
<b>4 Riskidentifiering och översiktlig bedömning</b>	<b>14</b>
4.1 Farliga och miljöfarliga verksamheter	14
4.2 Järnväg	14
4.3 Översvämning	17
<b>5 Fördjupade analyser</b>	<b>18</b>
5.1 Olycka på Ostkustbanan	18
5.2 Översvämning	19
<b>6 Resultat</b>	<b>21</b>
6.1 Ostkustbanan – individ- och samhällsrisk	21
6.2 Översvämningsrisk	22
<b>7 Riskvärdering</b>	<b>23</b>
7.1 Värdering av riskbidrag från Ostkustbanan	23
7.2 Värdering av översvämningsrisken	25
<b>8 Diskussion</b>	<b>26</b>
<b>9 Slutsatser</b>	<b>28</b>
<b>10 Referenser</b>	<b>28</b>
<b>Bilaga A – Statistik- och sannolikhetssteori</b>	<b>32</b>
<b>Bilaga B – Frekvenser för olyckor med farligt gods</b>	<b>34</b>
B.1 Generella indata	34



---

B.2	Transportstatistik	40
B.3	Scenarier	40
B.4	Olyckor på järnväg	41

---

**Bilaga C – Konsekvenser av olyckor med farligt gods** **44**

C.1	Beräkning av konsekvenser	44
C.2	Indata	53
C.3	Resultat	55

---

**Bilaga D – Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning** **60**

D.1	Frekvens för urspårning	60
D.2	Konsekvenser av urspårning	60

---

**Bilaga E – Risknivåer utmed transportleder för farligt gods** **61**

E.1	Modell för beräkning av individrisk	61
E.2	Modell för beräkning av samhällsrisk	65

---

**Bilaga F – Känslighetsanalys** **68**

F.1	Olycksfrekvenser	68
F.2	Konsekvenser av olyckor med farligt gods	68
F.3	Slutsatser	70

---

**Bilaga G – Säkerhetshöjande åtgärder** **72**

G.1	Skydd mot brandspridning	72
G.2	Högt placerade luftintag	72



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

---

Briab Brand & Riskingenjörerna AB har, på uppdrag av Alma Fålhagen AB, uppdraget att utreda och bedöma den riskbild som påverkar befintlig och planerad bebyggelse inom ett planområde omfattande kvarter Siv, Uppsala kommun. Detta görs i enlighet med krav i plan- och bygglagen att vid planläggning redogöra för bebyggelsens lämplighet. Planen är att möjliggöra hotellverksamhet och kontor inom den aktuella fastigheten

## 1.2 Syfte och mål

---

Syftet med denna riskutredning är att redogöra för riskbilden som påverkar planerad bebyggelse och att bedöma om bebyggelsen är acceptabel ur risksynpunkt.

Målet med bedömningen är att ta fram ett underlag för fortsatt planläggning.

## 1.3 Omfattning och avgränsningar

---

Riskbedömningen omfattar endast skadehändelser för personer som kan komma att inträffa till följd av en plötslig olycka i anslutning till området. Undantaget är översvämningsrisken som inte bedöms vara en sådan olycka men som kommer att undersökas i ett separat avsnitt.

Olyckor där långvarig exponering krävs för skadliga konsekvenser, eventuella skador på egendom och miljö eller uppsåtliga risker är exkluderade i utredningen.

Planområdet kvarter Siv avgränsas av järnvägen (Ostkustbanan), Vaksalagatan, Storgatan och Roslagsgatan. Referensåret för påverkansområdet är valt till 2040.



## 1.4 Underlag

### 1.4.1 Skriftligt underlag

Nedanstående tabell anger underlaget för handlingen:

Handling	Datering	Upprättad av
Riskbedömning – Kvarter Siv, Uppsala, Version 11	2017-08-31	Briab
Kv. Siv – Sektion, skiss	2019-06-18	Krook & Tjäder
Kv. Siv – Plan 1, Entréplan, skiss	2019-06-10	Krook & Tjäder
Kv. Siv – Plan 2, Konferens & Kontor, skiss	2019-06-10	Krook & Tjäder
Kv. Siv – Plan 3, Typrumsplan, skiss	2019-06-10	Krook & Tjäder
Kv. Siv – Plan 8, Takterass, skiss	2019-06-10	Krook & Tjäder
Kv. Siv – Sektion A, skiss	2019-06-10	Krook & Tjäder

## 1.5 Kvalitetssystem

Handlingen omfattas av kontroll enligt anvisningarna i Briabs ledningssystem, vilket är certifierat enligt ISO 9001. Handläggaren, uppdragsansvarig samt en särskild utsedd kontrollant inom Briab kontrollerar att relevanta krav och råd tillgodoses. Kontroll utförs mot särskild checklista och dokumenteras.

## 1.6 Revideringar

Handlingen är en version 5 där revideringar har markerats med ett streck i vänster marginal. Revideringar sedan föregående version omfattar möjlighet till alternativ utformning vid anordnande av urspårningsskydd i form av urspårningsräl eller mur, nya skisser på föreslagen bebyggelse och förtydligande och justering avseende översvämningssrisk.





## 2 Riskhänsyn vid fysisk planering

I detta avsnitt förklaras begrepp och styrande dokument kopplat till riskhänsyn vid fysisk planering.

### 2.1 Risk

---

Begreppet risk kan tolkas på olika sätt. I säkerhetstekniska sammanhang tolkas risk som en händelses sannolikhet multiplicerat med omfattningen av dess konsekvens, vilka kan vara kvalitativt eller kvantitativt bestämda. Ofta kvantifieras risk med två olika riskmått, individ- respektive samhällsrisk.

Med **individrisk**, eller platsspecifik risk, avses risken för en enskild individ att omkomma av en specifik händelse under ett år på en specifik plats. Individrisken är oberoende av hur många människor som vistas inom ett specifikt område och används för att se till att enskilda individer inte utsätts för oacceptabelt höga risknivåer [1].

**Samhällsrisk**, eller kollektivrisken, visar den ackumulerade sannolikheten för det minsta antal människor som omkommer till följd av konsekvenser av oönskade händelser. Samhällsrisk presenteras ofta i ett s.k. F/N-diagram. Till skillnad från individrisk tar samhällsrisk hänsyn till den befolkningssituation som råder inom undersökt område [1].

### 2.2 Styrande dokument

---

Det finns ett flertal styrande dokument som berör riskhantering och som ska beaktas vid planläggning.

#### 2.2.1 Plan- och bygglagen

Plan- och bygglagen (2010:900) anger att bebyggelse och byggnadsverk ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till bl.a. människors hälsa och säkerhet. Vidare ska bebyggelse och byggnadsverk utformas och placeras på den avsedda marken på ett sätt som är lämpligt med hänsyn till bl.a. skydd mot uppkomst och spridning av brand och mot trafikolyckor och andra olyckshändelser.

#### 2.2.2 Rekommendationer och riktlinjer

Lagstiftningen anger när en riskanalys bör göras men inte i detalj hur en sådan ska utföras eller vad den ska innehålla. För att tydliggöra detta har flera länsstyrelser i Sverige presenterat vägledningar och riktlinjer för riskanalyser vid fysisk planering. Länsstyrelsen i Uppsala län arbetar med att ta fram sådana riktlinjer men hänvisar tills vidare till de stora länens riktlinjer<sup>2</sup>. Även i arbetet med egna riktlinjer har Länsstyrelsen i Uppsala län utgått från de stora länens riktlinjer<sup>1</sup>. Dessa riktlinjer nyttjas därför i aktuell bedömning.

Länsstyrelsen i Stockholms län har gett ut rekommendationerna *”Riktlinjer för riskanalys som beslutsunderlag”* [2] och *”Riskanalyser i detaljplaneprocessen”* [3]. Dessa är generella rekommendationer beträffande krav på innehåll i riskanalyser i planprocessen.

Utöver dessa har Länsstyrelsen i Stockholms län publicerat mer specifika rekommendationer rörande transporter av farligt gods. I rapporten *”Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer”* [4] anges att ny bebyggelse inte bör medges så nära att transporter med farligt gods till slut omöjliggörs. De minsta avstånd som rekommenderas av

---

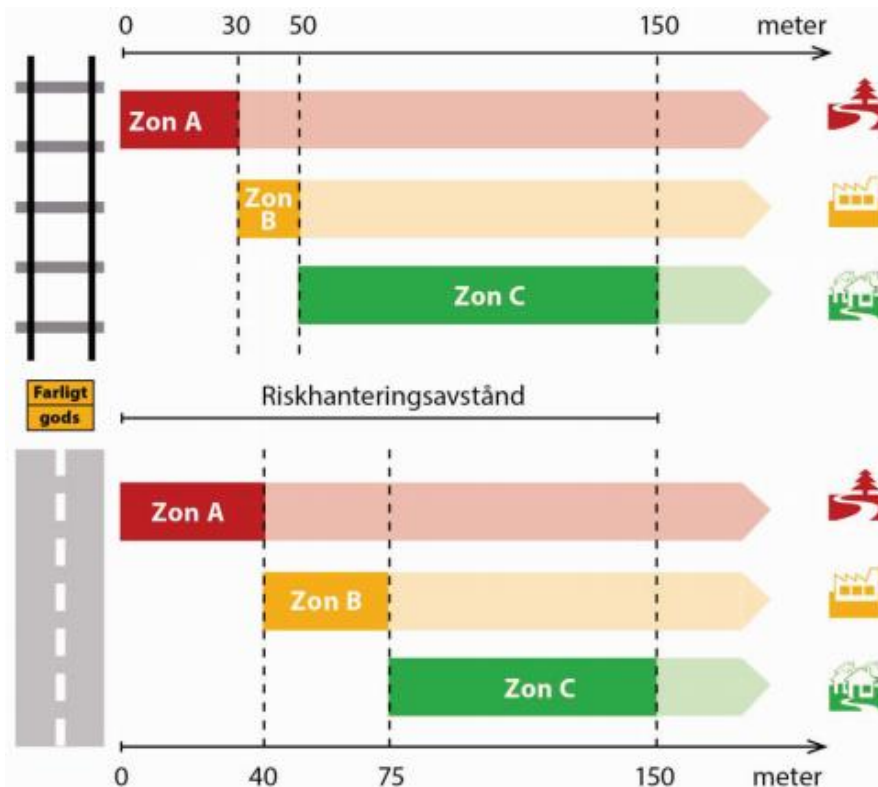
<sup>2</sup> Åsa Blomster, Samhällsutvecklingsenheten, Länsstyrelsen i Uppsala län, mail 2015-09-30



Länsstyrelsen i Stockholms län, som en möjlighet att minimera risken, representerar en sammanvägd bedömning av risk, stadsbild, samhällsekonomi m.m.

I "Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods" [5] anger länsstyrelserna i Sveriges stora län att riskerna alltid ska bedömas vid fysisk planering inom 150 meter från transportled för farligt gods.

I de senast utgivna riktlinjerna från år 2016, *Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods* [6], rekommenderas att markanvändning intill transportleder för farligt gods generellt bör planeras med de i Figur 1 angivna skyddsavstånden (zon A, B och C).



Rekommenderad markanvändning inom respektive zon

Zon A	Zon B	Zon C
G – drivmedelsförsörjning (obemannad)	E – tekniska anläggningar	B – bostäder
L – odling och djurhållning	G – drivmedelsförsörjning (bemannad)	C – centrum
P – parkering (ytparkering)	J – industri	D – vård
T – trafik	K – kontor	H – detaljhandel
	N – friluftsliv och camping	O – tillfällig vistelse
	P – parkering (övrig parkering)	R – besöksanläggningar
	Z – verksamheter	S – skola

Figur 1. Rekommenderade skyddsavstånd mellan transportleder för farligt gods (väg och järnväg) och olika typer av markanvändning. Avstånden mäts från närmaste väggkant respektive närmaste spårmitt. Källa: [6].



## 2.3 Acceptanskriterier

---

För risker förknippade med säkerhet för liv och hälsa bedöms risknivåerna övergripande utifrån de fyra principer som utarbetats av Räddningsverket, nuvarande MSB [1]:

- **Rimlighetsprincipen** - Risker som med tekniskt och ekonomiskt rimliga medel kan elimineras eller reduceras ska alltid åtgärdas (oavsett risknivå).
- **Proportionalitetsprincipen** - En verksamhets totala risknivå bör stå i proportion till den nytta i form av exempelvis produkter och tjänster som verksamheten medför.
- **Fördelningsprincipen** - Riskerna bör, i relation till den nytta verksamheten medför, vara skäligt fördelade inom samhället.
- **Principen om undvikande av katastrofer** - Om risker realiserats bör detta hellre ske i form av händelser som kan hanteras av befintliga resurser än i form av katastrofer.

För individrisk och samhällsrisk har DNV (Det Norske Veritas) på uppdrag av Räddningsverket definierat kvantitativa acceptanskriterier [1]. Länsstyrelsen i Stockholms län har bedömt att dessa kriterier har fördelarna att de är framtagna med avseende på svenska förhållanden, att de har ett tydligt markerat ALARP<sup>3</sup>-område och att de är konstruerade för användning både intill fasta verksamheter och farligt gods-leder [3].

Följande kriterier för individrisk har föreslagits av DNV:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras är  $1 \times 10^{-5}$  per år.
- Övre gräns för område där risker kan anses små är  $1 \times 10^{-7}$  per år.

Följande kriterier för samhällsrisk har föreslagits av DNV:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras är  $1 \times 10^{-4}$  per år för  $N=1$  och  $1 \times 10^{-6}$  per år för  $N=100$ , där  $N$  är antalet omkomna.
- Övre gräns för område där risker kan anses små är  $1 \times 10^{-6}$  per år för  $N=1$  och  $1 \times 10^{-8}$  per år för  $N=100$ , där  $N$  är antalet omkomna.

Mellan den övre och undre individ- respektive samhällsriskgränsen finns det område som benämns ALARP.

Proportionalitetsprincipen, fördelningsprincipen och principen om undvikande av katastrofer uppfylls i och med jämförelsen med de probabilistiska värderingskriterierna för individ- och samhällsrisk [1]. Rimlighetsprincipen kan uppfyllas genom exempelvis så kallad kostnad-nytta-analys [1].

## 2.4 Nyttjad metod

---

Utifrån ovan presenterad metodik för riskhantering redogörs nedan för arbetsgången i aktuell bedömning.

**1. Riskinventering:** För att ta reda på vilka olyckshändelser och riskkällor som kan vara relevanta för kvarteret har omgivningen studerats inom ramen för riskbedömningens avgränsningar. Utifrån den

---

<sup>3</sup> As Low As Reasonably Practicable (= risker kan tolereras om alla rimliga riskreducerande åtgärder är vidtagna.)



översiktliga riskinventeringen har en första övergripande utvärdering genomförts för att kunna få ett mer strukturerat underlag att arbeta vidare med.

**2. Fördjupad riskanalys:** De olyckshändelser och riskkällor som bedömts öka kvarterets risknivå analyseras mer ingående via separata analyser. Händelsernas olycksfrekvenser och konsekvenser studeras via logiska argument och/eller via kvantitativa metoder för att värdera risknivån. Om risknivån bedöms som oacceptabel, enligt de använda acceptanskriterierna ges förslag på riskreducerande åtgärder som kan vidtas inom kvarteret för att nå en acceptabel risknivå.

**3. Riskbedömning:** För att få en samlad bild över risknivån har resultaten från de fördjupade riskanalyserna sammanställts och en samlad riskvärdering genomförts. Eventuella riskreducerande åtgärder med anknytning till markanvändning och funktion har identifierats och det har verifierats att de uppnår avsedd effekt.



### 3 Grundläggande förutsättningar

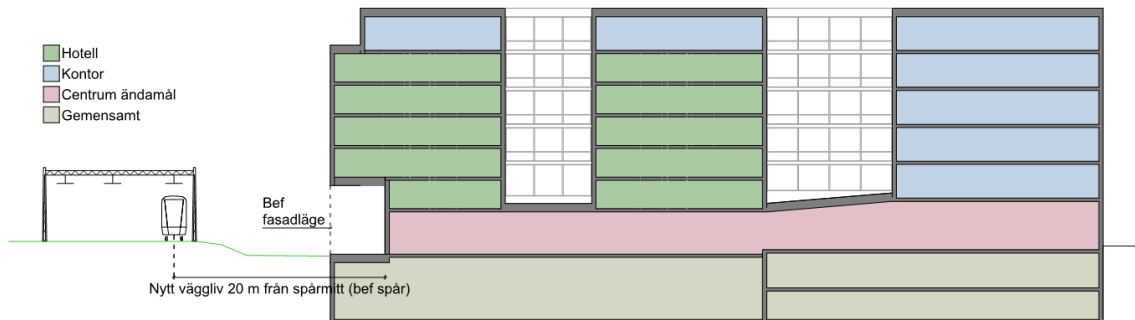
Planområdet är beläget omkring 200 meter från centralstationen i Uppsala och angränsar i sydväst till järnvägen (Ostkustbanan), se Figur 2. Nordväst om kvarteret går Vaksalagatan; nordost Storgatan; och sydost går Roslagsgatan. Fyrisån rinner ungefär 500 meter sydväst från kvarteret.



Figur 2. Planområdet med omgivning [7] (redigerad av Briab).

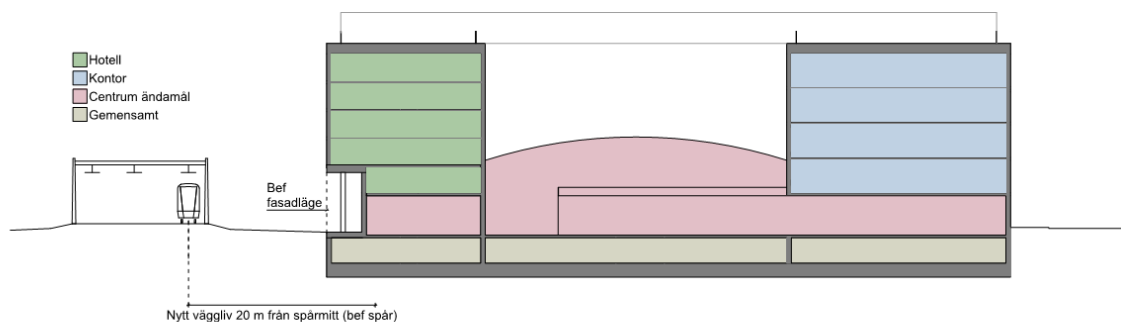
I dagsläget finns det parkering, kontor, butiker och lägenheter i befintlig byggnad inom planområdet. Inom planområdet planeras det för följande: att på plan 1 – Entréplan ha hotelllobby samt restaurang, gym närmast järnvägen och lokaler för handel likt en mindre galleria med gångstråk inomhus längre bort från järnvägen. På Plan 2 till 7, hotell i det södra hörnet av byggnaden och resterande yta utgörs av kontor, se Figur 3 nedan.





Figur 3. Planerade verksamheter, sektion med Ostkustbanan till vänster.

För att kunna ta ner laster från överliggande våningar har även ett alternativ med pelare i befintligt fasadläge utretts i enlighet med Figur 4.



Figur 4. Sektion med pelarrad innanför befintligt fasadläge

### 3.1 Befolkningstäthet

För att möjliggöra en välgrundad riskbedömning med avseende på samhällsrisk är befolkningstätheten inom området av stor vikt. Enligt Uppsala kommuns egna siffror bodde det under 2018 7250 personer inom området Centrum där den aktuella fastigheten är lokaliserad. Området uppskattas vara i storleksordningen 0,9 km<sup>2</sup> vilket medför en befolkningstäthet om 8055 personer/km<sup>2</sup> [8]. Då området i princip redan är fullt utbyggt och befolkningen minskat något sedan 2017 bedöms ingen befolkningsökning ske utan den aktuella befolkningstätheten bedöms även kunna användas för horisontåret 2040.



## 4 Riskidentifiering och översiktlig bedömning

I detta avsnitt identifieras och bedöms översiktligt eventuella riskkällor.

### 4.1 Farliga och miljöfarliga verksamheter

---

Närmsta bensinstation är belägen över 600 meter från planområdet. En olycka på bensinstationen förväntas inte påverka planområdet och analyseras därför inte närmare.

Ungefär 2,8 km nordväst om kvarteret Siv ligger Vattenfall Husbyborg värmeverk och ungefär 1,7 km sydost om kvarteret ligger Vattenfall fjärrvärmecentral. Avståndet till verken bedöms som tillräckligt stort för att kunna avskriva dem som risker för kvarteret.

Ungefär 1,3 km ostsydost om kvarteret ligger en Sevesoanläggning i form av GE Healthcare [9]. Med hänsyn till avståndet mellan anläggning och kvarteret bedöms att denna risk inte behöver analyseras närmare.

### 4.2 Järnväg

---

Ostkustbanan ligger på ett avstånd som är mindre än 20 meter från befintlig bebyggelse. Det korta avståndet från kvarteret till järnvägen gör att transporter på järnvägen (bl.a. farligt gods) kan påverka personers hälsa och säkerhet. Om ett tåg spårar ur kan det leda till kollision med byggnader i kvarteret. Om tåget transporterar farligt gods (som omfattas av regelverket RID/RID-S<sup>4</sup>) kan konsekvensen bli mer omfattande. Det finns även planer på att bygga ut järnvägen med ytterligare ett spår på samma sida som det aktuella planområdet, men det finns i dagsläget inget lagakraftvunnet beslut och bedömningen utgår därför utifrån rådande situation.

#### 4.2.1 Farligt gods – begrepp och definition

Med farligt gods avses varor eller ämnen sådana att de kan vara skadliga för människor, miljö eller egendom, om de inte hanteras rätt under transport. Transport av farligt gods omfattas av en genomgripande regelsamling som tagits fram i internationell samverkan. Regelsamlingen fastställer vem som får transportera farligt gods, hur transportererna ska ske, var transporter får färdas, hur godset ska vara emballerat samt vilka krav som ställs på fordon för transport av farligt gods [10]. Farligt gods delas in i 9 olika klasser för ämnen med liknande risker vid transport på väg och järnväg. En kortfattad beskrivning av farligt gods-klasserna (och eventuella risker) återfinns i Tabell 1 nedan.

---

<sup>4</sup> Ett Europa-gemensamt regelverk för transport av farligt gods på järnväg.



Tabell 1. Kategorisering, beskrivning och konsekvensbeskrivning av farligt gods-klasser.

Kategori	Beskrivning	Konsekvensbeskrivning
Klass 1, Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, krut och fyrverkerier med mera.	Stor mängd <u>massexplosiva</u> ämnen kan ge stora konsekvensområden. Övriga explosiva ämnen ger enbart lokala konsekvensområden.
Klass 2, Komprimerade eller kondenserade gaser	Inerta gaser, oxiderande gaser, brännbara gaser (gasol etc.) och icke brännbara, giftiga gaser (klor, svaveldioxid etc.).	Giftigt gasmoln, jetflamma, fördröjd antändning av gasmoln, BLEVE ( <i>Boiling Liquid Expanded Vapour Explosion</i> ). Kan ge stora konsekvensområden.
Klass 3, Brandfarliga vätskor	Bensin, diesel- och eldningsolja etc. Bensin och diesel kan transporteras i tankbil med släp rymmandes ca 40-45 m <sup>3</sup> drivmedel.	Brand, giftig rök. Medelstora konsekvensområden.
Klass 4, Brandfarliga fasta ämnen	Kiseljärn (metallpulver), karbid och vit fosfor.	Brand, giftig rök. Konsekvenserna begränsade till olyckans närområde.
Klass 5, Oxiderande ämnen och organiska peroxider	Ammoniumnitrat, natriumklorat, väteperoxider etc.	Självantändning, explosionsartade brandförlopp.
Klass 6, Giftiga och smittförande ämnen	Arsenik-, bly- och kvicksilversalter, bekämpningsmedel etc.	Giftigt utsläpp. Konsekvenserna begränsade till olyckans närområde.
Klass 7, Radioaktiva ämnen	Medicinska preparat.	Utsläpp. Transporteras i små mängder. Konsekvenserna begränsas till olyckans närområde.
Klass 8, Frätande ämnen	Saltsyra, svavelsyra, salpetersyra, natrium- och kaliumhydroxid.	Utsläpp av frätande ämne. Konsekvenser begränsade till olyckans närområde.
Klass 9, Övriga farliga ämnen och fasta föremål	Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc.	Utsläpp. Konsekvenser begränsade till olyckans närområde.

#### 4.2.2 Transport på Ostkustbanan

Prognos från Trafikverket visar att det längs avsnittet av Ostkustbanan som passerar planområdet vid Kvarter Siv förväntas passera 241,9 persontåg och 7,2 godståg per dygn år 2040 [11]. År 2010 uppskattades att antalet vagnar med farligt gods som transporterades förbi Uppsala Centralstation var 17 670 vagnar per år. Av dessa vagnar innehöll 6 205 flygbränsle som transporterades från Gävle till Arlanda. Ett typiskt godståg är 28–30 vagnar långt medan tåget med flygbränsle är 17 vagnar långt [12].





### 4.2.3 Urspårning

I närheten av planområdet sker tågväxling vilket medför en förhöjd sannolikhet för urspårning. Konsekvensen av en kollision med byggnad till följd av en urspårning kan leda till att personer i byggnaden omkommer. Det kan också leda till fortskridande ras. För att bestämma vilken risk som en urspårning och en eventuell olycka med farligt gods-transport utgör för kvarteret genomförs en fördjupad kvantitativ analys.

### 4.2.4 Farligt gods-olycka på Ostkustbanan

Uppgifter från Trafikverket år 2010 gör gällande att mängden farligt gods som transporteras via Uppsala Centralstation i huvudsak (till ~90 %) utgörs av brandfarlig vätska, bland annat flygbränsle från Gävle till Arlanda<sup>5</sup>. I Tabell 2 presenteras transporterad andel av respektive farligt gods-klass.

**Tabell 2. Antal vagnar (för respektive farligt gods-klass) som transporterades på järnvägen i anslutning till Uppsala Centralstation år 2009-2010. Källa: Trafikverket<sup>5</sup>.**

Farligt gods-klass	Beskrivning	Antal vagnar med farligt gods år 2009-2010	Andel av samtliga vagnar
1	Sprängämnen	4	0,02 %
2	Gaser	94	0,53 %
3	Brandfarliga vätskor	15 645	88,54%
4.1	Brandfarliga fasta ämnen	187	1,05 %
4.2	Självantändande ämnen	15	0,08 %
4.3	Ämnen som vid kontakt med vatten utvecklar brandfarliga gaser	98	0,55 %
5.1	Oxiderande ämnen	741	4,19 %
5.2	Organiska peroxider	26	0,15 %
6.1	Giftiga ämnen	18	0,10 %
6.2	Smittsamma ämnen	0	0 %
7	Radioaktiva ämnen	0	0 %
8	Frätande ämnen	316	1,78 %
9	Övriga farliga ämnen	526	2,98 %
Totalt		17 670	100 %

Trafikuppgifterna i Tabell 2 gäller för Uppsala Centralstation men eftersom inga farligt gods-transporter gör uppehåll på centralstationen antas transportmängderna och fördelningen mellan godstyperna vara lika stor förbi aktuellt planområde.

<sup>5</sup> Hermo, R. (2010-07-06). Statistiker, Trafikverket. (H. Nordenstedt, Intervju)



Med kännedom om mängden gods och med stöd i tidigare utredningar bedöms i kommande stycken sannolikheten för olycka involverande respektive farligt gods-klass och konsekvensen givet en sådan olycka. Om sannolikheten och konsekvensen (d.v.s. risken) sammantaget bedöms vara icke försumbar så underkastas olycksförloppet en fördjupad analys i avsnitt 5.

#### **4.2.5 Olycka med brandfarlig vara klass 1**

Andelen explosiva ämnen som transporteras i anslutning till planområdet är liten, se Tabell 2. En explosion kan dock orsaka stora konsekvenser med flertalet döda och riskkällan behöver därför analyseras närmare.

#### **4.2.6 Olycka med brandfarlig vara klass 2**

Det transporteras en liten mängd tryckkondenserad gas förbi området. Underklassen 2.2 utgör icke-giftiga gaser och bedöms inte ha någon påverkan på området. Klass 2.1 och klass 2.3 har dock potential att orsaka dödsfall. Risken bedöms erfordra en fördjupad kvantitativ analys.

#### **4.2.7 Olycka med brandfarlig vara klass 3**

Med hänsyn till den stora mängden brandfarlig vätska som transporteras och med hänsyn till den potentiella brandpåverkan som en olycka med brandfarlig vätska kan ha på kvarteret behöver denna riskkälla undersökas närmare i en fördjupad kvantitativ analys.

#### **4.2.8 Olycka med brandfarlig vara klass 5**

Eftersom oxiderande ämnen och organiska peroxider kan ge upphov till större bränder vid olyckor och att mängden som transporteras är icke försumbar bedöms att en fördjupad analys behöver göras för olycka med denna klass.

#### **4.2.9 Olycka med brandfarlig vara klass 4, 6, 7, 8 och 9**

På grund av att olyckor med dessa ämnen i huvudsak påverkar den omedelbara omgivningen (Tabell 1) eller transporteras i ytterst små mängder bedöms de ha en marginell påverkan på områdets risknivå och utreds därför inte närmare. Övriga klasser transporteras i väsentligen större mängder och har potential att ge upphov till större konsekvenser varför olyckor som involverar de klasserna kommer att vara dimensionerande för eventuella förslag på riskreducerande åtgärder. Eventuella olyckor med vagnar som transporterar klasserna 4, 6, 7, 8 och 9 beaktas dock sett till den påkörningsrisk dessa vagnar kan utgöra för omgivningen.

### **4.3 Översvämning**

---

Stora delar av centrala Uppsala riskerar att översvämmas vid höga flöden i Fyrisån och denna risk behöver därför beaktas för den aktuella planen.



## 5 Fördjupade analyser

Riskinventeringen och den översiktliga bedömningen visar att det finns behov av att kartlägga områdets förhöjda risknivå med hänsyn till potentiella olyckor på Ostkustbanan samt risken förknippad med översvämning till följd av höga flöden i Fyrån. Fördjupad information rörande beräkningsförfarandet och bakgrundsfakta återfinns i bilagorna.

Konsekvensområden och förslag på lämplig placering av bebyggelse utgår från den spårmit som ligger närmast området. I den fördjupade analysen har det antagits att fördelningen av transporter utefter farligt gods-klass kommer att se likadan ut år 2040.

### 5.1 Olycka på Ostkustbanan

Utgångspunkten vid olycksfrekvensberäkningarna är de trafikdata som presenterats i avsnitt 4.2. Metoden som används för beräkning av olycksfrekvensen utgår från en modell framtagen av Banverket [13]. Beräkningarna grundar sig på händelseförlopp som beskrivs i Bilaga B.1. I samma bilaga återfinns även de olycksfrekvensberäkningar som har gjorts.

Resultatet från frekvensberäkningarna för olycksscenarierna på Ostkustbanan presenteras i Tabell 3. Vid beräkning av risknivå, vars resultat presenteras i senare avsnitt, har en förfinad uppdelning gjorts rörande olyckans omfattning.

**Tabell 3. Olycksfrekvens för identifierade olycksscenarier på Ostkustbanan.**

Scenario	Frekvens [olycka/år]
O(Urspårning)	$1,5 \times 10^{-5}$
O(1)	$9,74 \times 10^{-12}$
O(2.1a) <sup>6</sup>	$1,51 \times 10^{-11}$
O(2.1b) <sup>7</sup>	$4,27 \times 10^{-12}$
O(2.1c) <sup>8</sup>	$5,92 \times 10^{-12}$
O(2.3)	$6,17 \times 10^{-11}$
O(3)	$4,88 \times 10^{-7}$
O(5)	$1,44 \times 10^{-10}$
<b>Summa</b>	<b><math>4,88 \times 10^{-7}</math></b>

Olycksfrekvensen för urspårning längs en 1 km lång sträcka intill kvarteret är således  $1,5 \times 10^{-5}$  eller en gång på 65 000 år. De olyckor som är förknippade med farligt gods förväntas emellertid ske med frekvensen  $4,88 \times 10^{-7}$  eller en gång på 2 050 000 år, varav olyckor med brandfarlig vätska (klass 3) utgör den mest sannolika händelsen.

#### 5.1.1 Konsekvensberäkning

De konsekvensberäkningsmetoder som använts följer vetenskapligt vedertagna praxis. Ingångsdata för beräkning av konsekvensområde för identifierade olycksscenarier återfinns i Bilaga C.1. För att kunna

<sup>6</sup> Olycksscenarioet gäller en olycka i klass 2.1 som leder till en fördröjd antändning av utsläppt gas

<sup>7</sup> Olycksscenarioet gäller en olycka i klass 2.1 som leder till en jetflamma.

<sup>8</sup> Olycksscenarioet gäller en olycka i klass 2.1 som leder till en BLEVE.

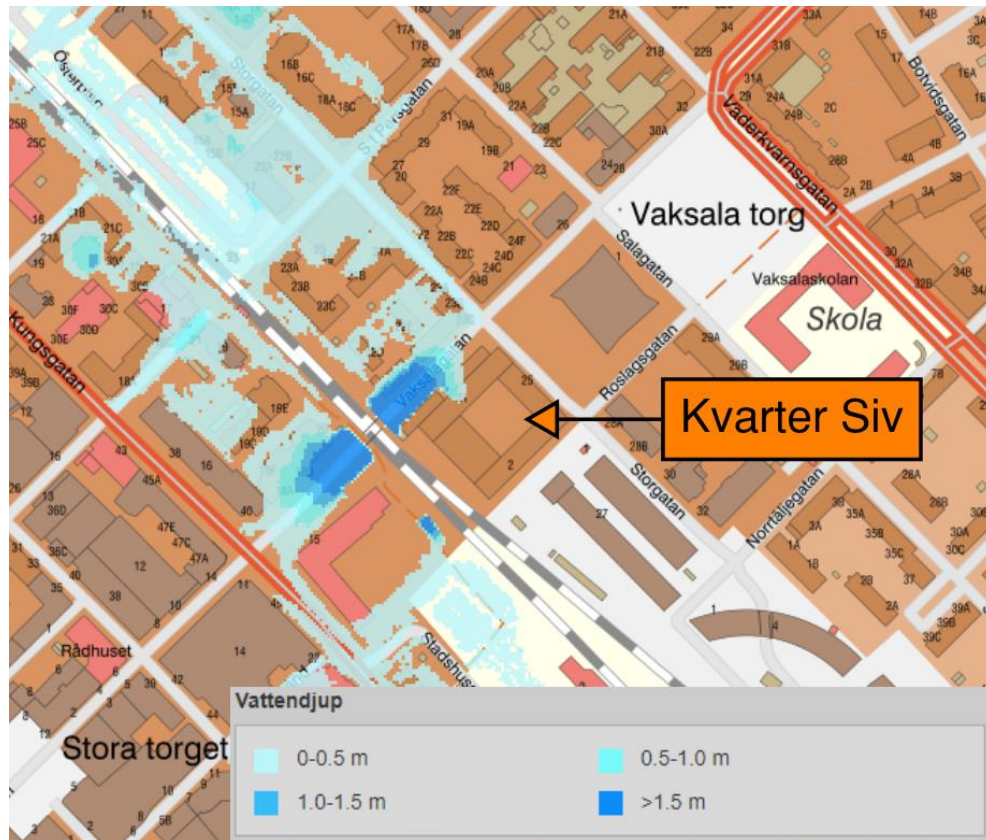


beräkna samhällsriskerna har antalet omkomna inom området beräknats för varje olycksscenario. Beräkningsförfarandet av antalet omkomna presenteras i bilaga E.2.

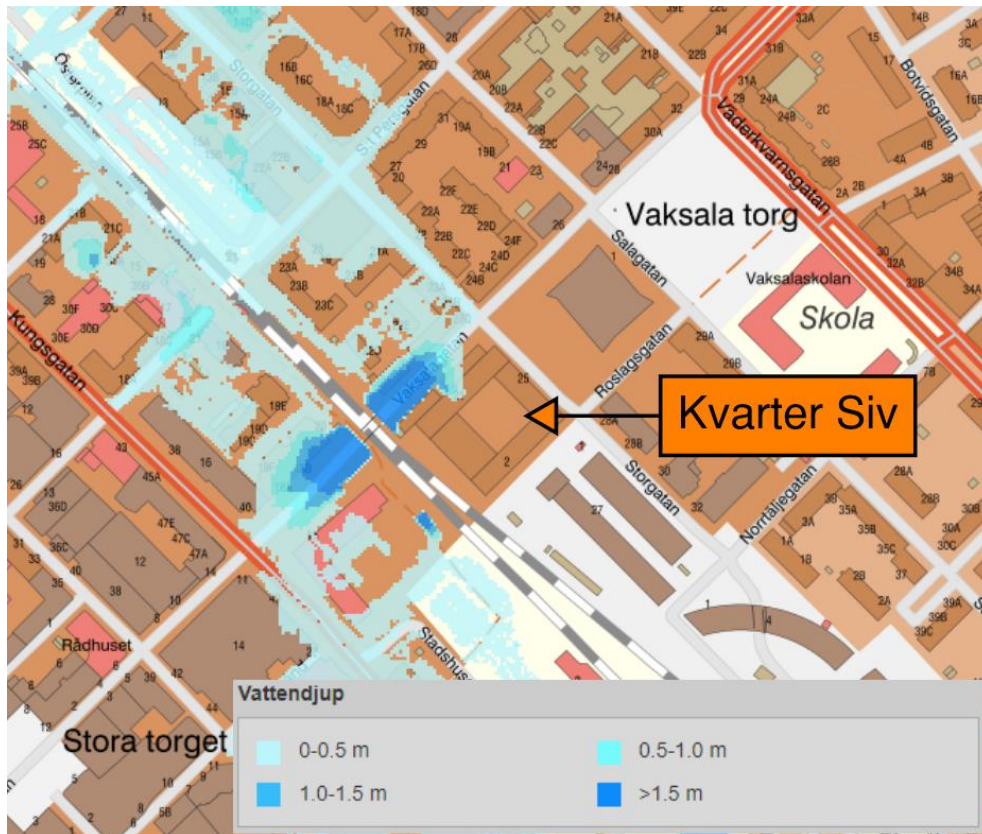
## 5.2 Översvämning

År 2013 publicerades en ny, uppdaterad översvämningsskartering utmed Fyrisån av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap [14]. Skarteringen omfattar sträckan från Vattholma till Mälaren och visar vattendjupet i staden till följd av stora översvämningar. Skarteringen visar den värsta översvämningen som förväntas inträffa var 50:e, 100:e och 200:e år i områden kring Fyrisån. Vattendjupen (för 100- och 200-årsflödet) har anpassats för att ta hänsyn till de kommande klimatförändringarna.

Eftersom skarteringen av 100-årsflödet visar på i stort sett samma vattendjup som 200-årsflödet för planområdet, jämför Figur 5 och Figur 6, analyseras endast översvämningsskarteringen för 200-årsflödet.



Figur 5. Vattendjup för 100-årsflödet [15] (redigerad av Briab).



Figur 6. Vattendjup för 200-årsflödet [15] (redigerad av Briab).

Enligt karteringen förväntas 200-årsflödet ge upphov till vattendjup överstigande 1,5 meter i nordvästra delen av planområdet längs Vaksalagatan i närheten av järnvägen. Detta beror på att Vaksalagatan är delvis planskild från järnvägen och passerar under järnvägen via en viadukt. Översvämningen förväntas ge upphov till vattennivåer ända upp till Storgatan.

I höjd med Storgatan förväntas dock ett mindre vattendjup (0 till 0,5 meter) och sammantaget bedöms vattennivån motsvara en plushöjd om + 6,2 m-





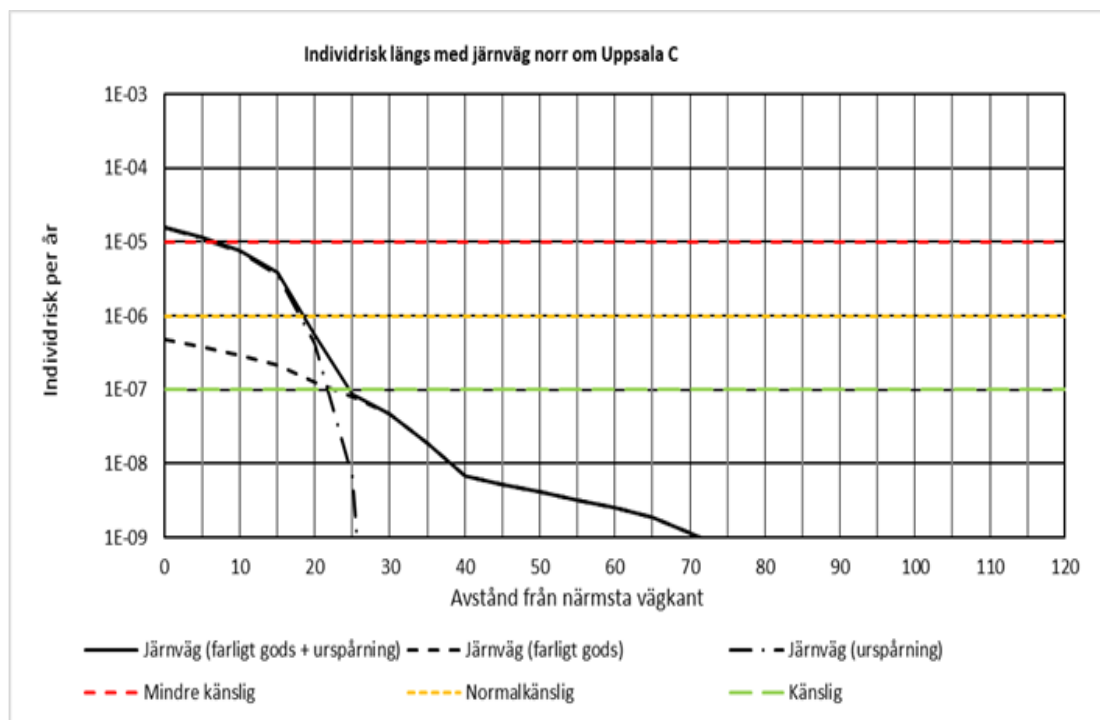
## 6 Resultat

I detta avsnitt presenteras den individ- och samhällsrisk som närheten till Ostkustbanan ger upphov till för planområdet. Individrisken har beräknats genom att addera olycksfrekvensen för de scenarier vars konsekvenser påverkar en person som vistas på området (på en specifik plats och vid ett visst avstånd från närmaste spårmitt) och som orsakar att personen omkommer. Som komplement till individrisk har risknivån för området även beräknats i form av samhällsrisk. Resultatet presenteras enligt gängse normer i ett F/N-diagram där även valda acceptanskriterier framgår.

Resultatet från analysen av översvämningsrisken presenteras separat i slutet av avsnittet.

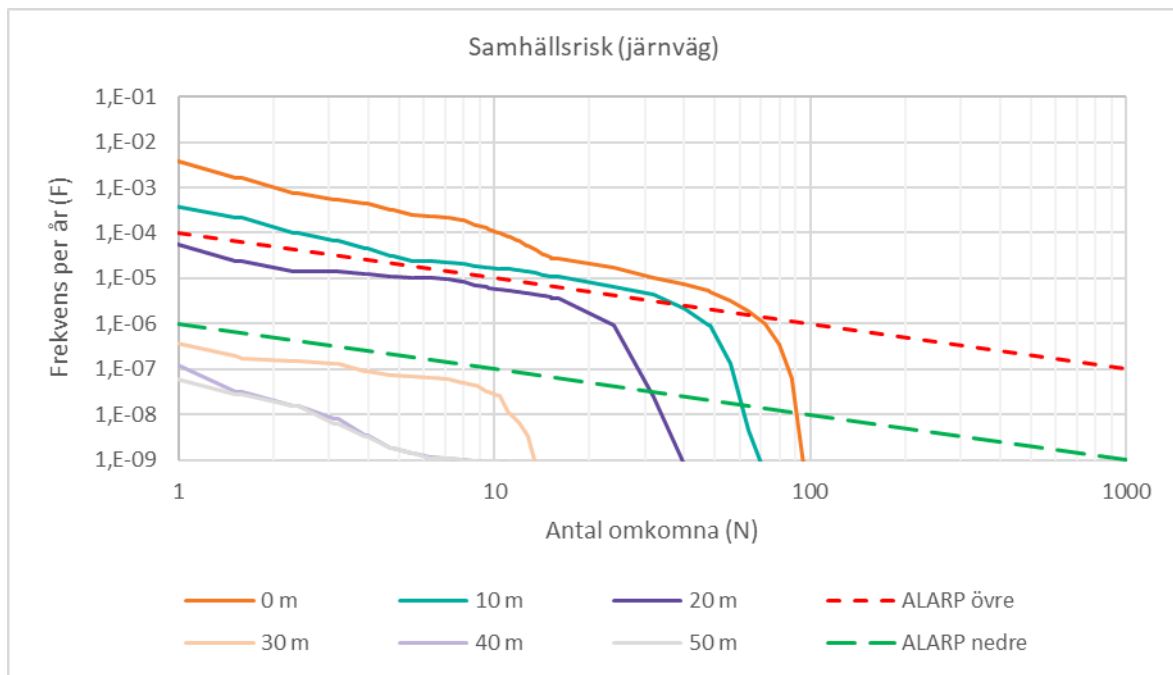
### 6.1 Ostkustbanan – individ- och samhällsrisk

Individrisken intill Ostkustbanan presenteras i Figur 7.



Figur 7. Individrisk intill Ostkustbanan.

F/N-diagrammet i Figur 8 illustrerar samhällsrisken som Ostkustbanan ger upphov till. Utöver de tre gränserna för känslighet så redovisas tre kurvor. Den heldragna linjen visar den totala individrisken, medan de två andra visar endast den individrisk som olycka omfattar farligt gods respektive urspårning.



Figur 8. Beräknad samhällsrisk för samtliga personer inom planområdet (med omgivning) som kan förväntas omkomma till följd av en olycka som inträffar på Ostkustbanan.

## 6.2 Översvämningsrisk

Vattenytan förväntas vid 100- och 200-årsflödet nå plushöjden +6,2 meter och medföra att källarplanet kan komma att svämmas över. Markplan förväntas inte översvämmas i och med att dess plushöjd är +6,5 meter.



## 7 Riskvärdering

I detta avsnitt värderas den beräknade risknivån utifrån acceptanskriterier definierade i avsnitt 2.3.

### 7.1 Värdering av riskbidrag från Ostkustbanan

#### 7.1.1 Individrisk

Enligt genomförda beräkningar ligger individrisken ovanför ALARP-området mellan 0 – 7,5 meter från Ostkustbanan, se Figur 7. Mellan 7,5 – 25 meter är individrisken inom ALARP-området och för att ha stadigvarande vistelse inom detta område ska rimliga riskreducerande åtgärder ha vidtagits. Som det kan utläsas ur individriskkurvan står urspårning för majoriteten riskbidraget inom 25 meter, medan det på större avstånd framförallt är olyckor med farligt gods som utgör risken från Ostkustbanan.

#### 7.1.2 Samhällsrisk

Utifrån genomförda beräkningar framgår det att samhällsrisk är acceptabel utan åtgärder med ett bebyggelsefritt avstånd om 30 meter från Ostkustbanan, inom ALARP-området kring 20 meter från Ostkustbanan och oacceptabel närmre än 10 meter från Ostkustbanan, se Figur 8. Riskreducerande åtgärder erfordras därför för att kunna genomföra den planerade bebyggelsen.

#### 7.1.3 Åtgärdsförslag

För att sänka risknivåerna föreslås följande riskreducerande åtgärder för planområdet:

1. Skydd mot urspårning antingen genom alternativ a **eller** b nedan
  - a. Framtida entréplan mot spårsida dras in så att avståndet mellan byggnadsdelar som kan påverkas vid en eventuell urspårning och befintlig järnvägs närmaste spårmitt blir 20 meter. Med denna utformning bedöms ingen urspårningsräl eller skyddmur krävas.
  - b. Framtida entréplan mot spårsida dras in så att avståndet mellan fasad och befintlig järnvägs närmaste spårmitt blir 20 meter. Bärande element inom 20 meter från närmaste spårmitt skyddas med skyddsmur eller urspårningsräl för att förhindra påverkan vid eventuell urspårning.
2. Inom 25 meter från befintlig järnvägs närmaste spårmitt utformas utomhusytor på marknivå inom detaljplaneområdet för att inte uppmuntra till stadigvarande vistelse. Vistelse på takterass bedöms dock inte medföra oacceptabla risknivåer möjlig inom detta avstånd till följd av en placering som skyddar mot värmestrålning och utsläpp av tunga gaser och kan därför vara möjlig.
3. Nya byggnaders fasader som vetter direkt mot järnvägen och som placeras närmre än 30 meter från närmaste spårmitt utförs i lägst brandteknisk klass EI 30 och fönster i EW 30. Sådana fönster får vara öppningsbara<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Länsstyrelsen i Stockholms län anser att sådana fönster får vara öppningsbara för exempelvis vädring av bostäder då dessa fönster sannolikt hålls stängda majoriteten av tiden (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2016).

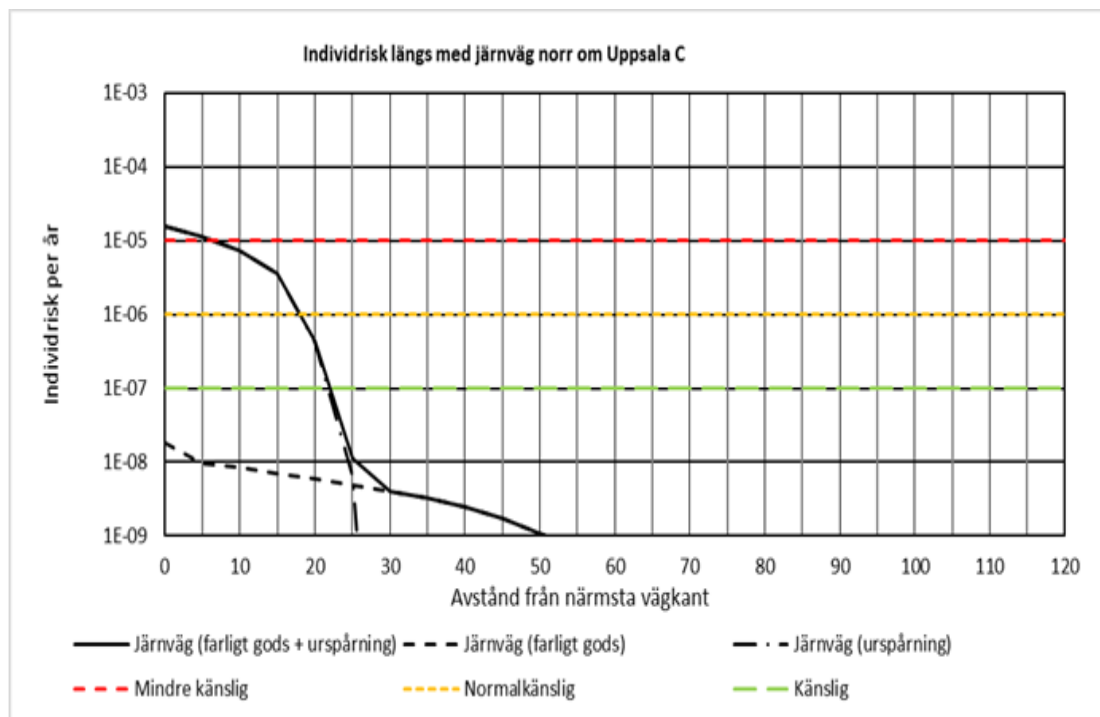




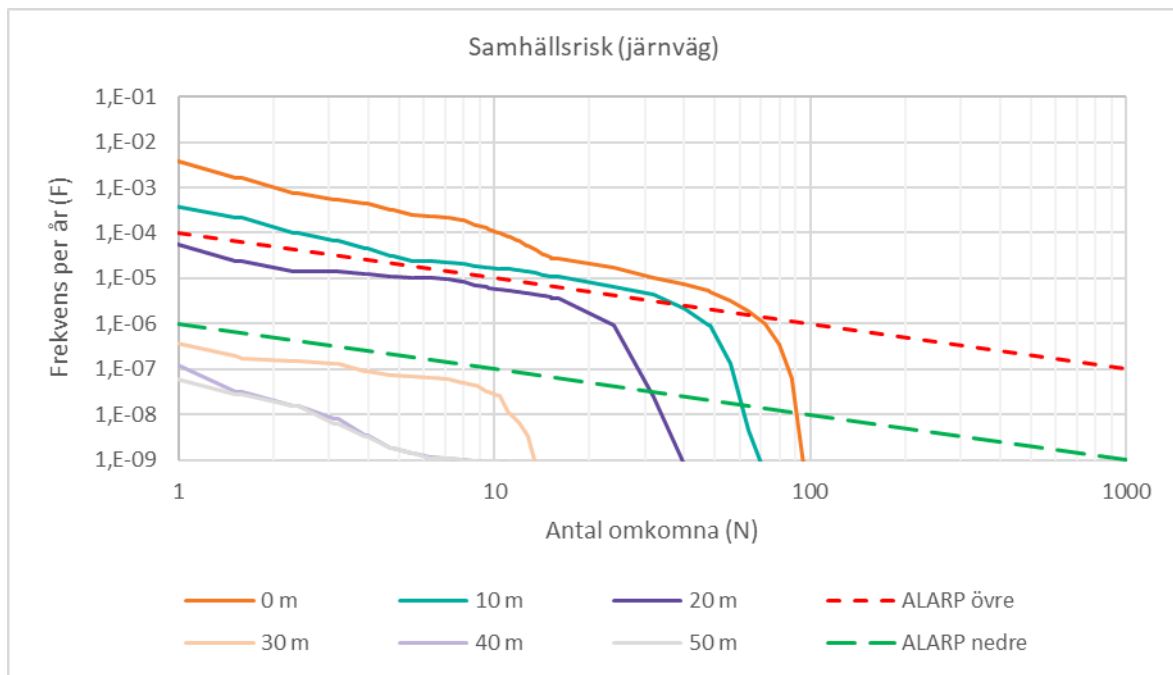
4. Nya byggnader som placeras närmre än 30 meter från närmaste spårmitt utförs med minst en utgång och därmed utrymningsmöjlighet som vetter bort från järnvägen.
5. Tilluftsventilation ska vara gynnsamt placerad som vetter bort från järnvägen med nödavstängningsmöjlighet.

#### 7.1.4 Verifiering av åtgärdsförslag 1 – 5

Nedan redovisas individrisk och samhällsrisk med hänsyn till förväntade effekter av åtgärdsförslag 1 – 5. Den största skillnaden blir den riskreducering som brandklassad fasad bidrar till, som främst minskar konsekvenserna från en som olycka med farligt gods i form av brandfarliga ämnen, se Figur 9 och Figur 10.



Figur 9. Individrisk intill närmaste spårmitt efter att riskreducerande åtgärd (1 – 5) har vidtagits. Efter 7,5 meter är individrisken inom ALARP-området.



**Figur 10. Samhällsrisk för planområdet med omgivning efter att riskreducerande åtgärder (1-5) har vidtagits. Samhällsrisk är acceptabelt låg enligt gällande acceptanskriterier.**

Verifieringen visar att om åtgärderna 1 – 5 vidtas hamnar individrisken i nedre delen av ALARP-området för den del av fasaden som utförs indragen till 20 meter från närmaste spårmit.

Samhällsrisk hamnar inom och under ALARP-området. Eftersom samhällsrisk beräknas för en 1 000 meter lång sträcka, att jämföra med aktuell längd på fastigheten på omkring 70 meter, är aktuell fastighets inverkan på samhällsrisk marginell. Inom aktuell fastighet föreslås ändå att ny bebyggelse skyddas mot just dessa olyckor (skyddsavstånd, brandskydd i fasad och särskilda krav på utrymningsmöjlighet). För att ytterligare sänka samhällsrisk behöver dessa åtgärder vidtas även för övrig bebyggelse i närheten av järnvägen i Uppsala. Detta är inte möjligt att påverka inom ramen för aktuellt detaljplanarbete utan bör beaktas i varje kommande planarbete intill järnvägen i Uppsala. Utifrån detta bedöms samhällsrisk vara acceptabel enligt ALARP-principen.

Riskenivåerna för planområdet bedöms sammantaget kunna accepteras givet att riskreducerande åtgärd 1 – 5 vidtas.

## 7.2 Värdering av översvämningsrisken

Eftersom källarplanet förväntas svämmas över vid 100- och 200-årsflöden i Fyrisån är det inte lämpligt att placera kritiska funktioner i källarplan som behöver fungera i händelse av översvämming. Alternativt kan åtgärder vidtas för att minska vattnets möjligheter att tränga in.



## 8 Diskussion

Briab har tidigare genomfört en riskutredning för det aktuella planområdet för en annan utformning och markanvändning av den aktuella fastigheten. Den tidigare riskutredningen gav ett annorlunda resultat för de beräknade individ- och samhällsriskerna jämfört med den uppdaterade riskutredningen. Detta beror på ett antal olika anledningar, men framförallt på att nya uppdaterade indata blivit tillgängliga och att trafikprognoserna för trafikeringen på Ostkustbanan har förändrats. Den indata som använts i den uppdaterade analysen är mer specifik för planområdet och bedöms därför ge ett mer korrekt resultat. Andra orsaker som gör att resultaten skiljer sig åt är att den använda beräkningsmodellen utvecklats vidare och förfinats samt att utformningen av den aktuella planen har förändrats.

Beräkningsmodellen för samhällsrisk utgår från olyckor som sker längs med en 1 km lång sträcka även om planområdet endast är exponerat för urspårningsolyckor som sker på en mycket kortare sträcka, vilken är mindre än 100 meter. Det går dock att argumentera att urspårningar som kommer påverka omgivningen utanför spårområdet är begränsat till olyckor som sker inom området mellan viadukten vid Vaksalagatan och Uppsala centralstation. Detta på grund av den urspårningsräl som finns vid viadukten och den skyddande effekt som perrongerna har inom stationsområdet. Olyckor som sker bortanför stationen respektive viadukten bedöms inte kunna påverka planområdet. Vid centralstationen kör dessutom tågen oftast i lägre hastighet, vilket minskar sannolikheten för olyckor och den förväntade urspårningslängden från spårområdet. De beräkningar som gjordes för utformning av urspårningsskydd i samband med den tidigare riskutredningen samt de utredningar som gjordes med avseende på urspårningsskydd för Dragarbrunn 25:1 (SH2020) [16] visade att ett urspårningsskydd som är placerat i direkt anslutning till planområdet kommer att ha en begränsad effekt om det ska placeras i enlighet med Trafikverkets krav på fria avstånd från järnvägen. Detta tillsammans med att trafikeringen förbi planområdet är mindre än vad som tidigare antogs och att de nedersta våningarna utförs indragna medför att behovet av påkörningsskydd inte bedöms föreligga.

I anslutning till det aktuella planområdet finns det som tidigare nämnts även planer på att anlägga ytterligare ett spår mellan det befintliga spårområdet och det aktuella planområdet. Den planerade bebyggelsen bedöms inte möjliggöra en sådan utbyggnad. Detta då risken från järnvägen mot det aktuella planområdet fortsatt förväntas ligga inom ALARP -området då avståndet mellan bebyggelsen och det tillkommande spåret fortsatt förväntas vara minst 15 meter. I samband med utbyggnaden finns även en möjlighet att vidta riskreducerande åtgärder inom spårområdet som exempelvis urspårningsräl om det visar sig att olycksrisken är förhöjd. Med en urspårningsräl förväntas sannolikheten för urspårning reduceras i storleksordningen en tiopotens och därmed förväntas risken fortsatt kunna accepteras.

Den tänkta placeringen av den nya bebyggelsen är placerad inom det bebyggelsefria avstånd på 25 meter som länsstyrelsen i Stockholm rekommenderar i sina riktlinjer. Den nya bebyggelsen kommer dock som tidigare nämnts inte placeras närmare spåret än befintlig bebyggelse utan placeras på ett större eller liknande avstånd som befintlig bebyggelse. Dessutom kommer den planerade utformningen av de första planen innebära att risken minskar för den nya bebyggelsen jämfört med befintlig bebyggelse vilket innebär att risken kommer att minska jämfört med nuvarande situation. Den planerade markanvändning i form av hotell, kontor och centrumbebyggelse bedöms även vara mindre känslig än befintlig bebyggelse som bland annat utgörs av bostäder och är därmed mer lämplig än befintlig verksamhet. Vidare innebär lokaliseringen mellan stationen och viadukten att hastigheten förbi planområdet kommer vara lägre än på generella tågsträckor samt att viadukten och perrongerna medför ett skydd mot urspårning. Sammantaget medför detta att riskerna för den aktuella



---

sträckningen är mindre än för de flesta övriga järnvägssträckor och därmed är behovet av skyddsavstånd är mindre.

Den föreslagna placeringen av de olika verksamheterna inom den planerade byggnaden innebär bland annat att hotellverksamhet planeras i den del av byggnaden som ligger närmast spåret. Hotellverksamhet betraktas normalt sett som känsligare verksamhet än kontorsverksamhet till följd av att den innehåller sovande personer som inte kan förutsättas ha fullständig kännedom om de aktuella lokalerna och nödutrymningsvägar. Boverkets byggregler ställer dock högre krav på skydd i hotell än i kontor och bostäder, vilket innebär att skyddsnivån i lokalerna förväntas vara högre och att skillnaden i riskbild därmed är att anse som begränsad och därmed kan den föreslagna placeringen av de olika verksamheterna inom byggnaden accepteras.



## 9 Slutsatser

Den olycksrisk som planområdet exponeras av från Ostkustbanan utgörs framförallt av urspårning och den mekaniska påverkan på byggnaden som dessa olyckor kan medföra. Genom att utföra byggnaden med en indragen entré och undre våning kommer sannolikheten för påverkan att minska jämfört med riskbilden för befintlig bebyggelse. Detta då avståndet mellan byggnadsdelar som kan påverkas av mekanisk påverkan och befintliga spår kommer att öka. Den näst största risken utgörs av en olycka med brandfarlig vätska klass 3. För detta scenario är det främst brännskador till följd av strålning som är konsekvensen. Denna risk reduceras genom ett skyddsavstånd till tillkommande bebyggelse, att byggnadsdelar inom 30 meter från spår mitt utförs i brandteknisk klass samt att det finns utrymningsmöjlighet som vetter bort från järnvägen. De föreslagna åtgärderna kan sammanfattas enligt följande:

1. Skydd mot urspårning antingen genom alternativ a **eller** b nedan
  - a. Framtida entréplan mot spårsida dras in så att avståndet mellan byggnadsdelar som kan påverkas vid en eventuell urspårning och befintlig järnvägs närmaste spår mitt blir 20 meter. Med denna utformning bedöms ingen urspårningsräl eller skyddmur krävas.
  - b. Framtida entréplan mot spårsida dras in så att avståndet mellan fasad och befintlig järnvägs närmaste spår mitt blir 20 meter. Bärande element inom 20 meter från närmaste spår mitt skyddas med skyddsmur eller urspårningsräl för att förhindra påverkan vid eventuell urspårning.
2. Inom 25 meter från befintlig järnvägs närmaste spår mitt utformas utomhusytor på marknivå inom detaljplaneområdet för att inte uppmuntra till stadigvarande vistelse. Vistelse på takterass bedöms dock inte medföra oacceptabla risknivåer möjlig inom detta avstånd till följd av en placering som skyddar mot värmestrålning och utsläpp av tunga gaser och kan därför vara möjlig.
3. Nya byggnaders fasader som vetter direkt mot järnvägen och som placeras närmre än 30 meter från närmaste spår mitt utförs med fasader i lägst brandteknisk klass EI 30 och fönster i EW 30. Sådana fönster får vara öppningsbara<sup>10</sup>.
4. Nya byggnader som placeras närmre än 30 meter från närmaste spår mitt utförs med minst en utgång och därmed utrymningsmöjlighet som vetter bort från järnvägen.
5. Tilluftsventilation ska vara gynnsamt placerad med nödavstängningsmöjlighet.

Genom dessa åtgärder så reduceras de två klart största riskerna och både individ- och samhällsrisk bedöms sammantaget vara inom den lägre delen av ALARP-området. Därmed kan risken accepteras utifrån att rimliga skyddsåtgärder har vidtagits.

Sammantaget medför de vidtagna åtgärderna att olycksriskerna för den planerade bebyggelsen blir lägre än för befintlig bebyggelse.

### Översvämningsrisk

Med anledning av kvarterets närhet till Fyrisån förväntas vattenytan i kvarterets nordvästra sida mot Vaksalagatan hamna som högst +6,2 meter var 200:e år. För att begränsa översvämningsens skador behöver källarplan dimensioneras för vatten som når upp till plushöjden +6,2 meter. Ställverksrum,

<sup>10</sup> Länsstyrelsen i Stockholms län anser att sådana fönster får vara öppningsbara för exempelvis vädring av bostäder då dessa fönster sannolikt hålls stängda majoriteten av tiden (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2016).



elrum och liknande vitala funktioner för byggnadens drift bör därför förläggas över plushöjden +6,2 m. Om detta ej är möjligt kan dessa funktioner placeras på en lägre plushöjd under förutsättning att åtgärder vidtas som förhindrar att de påverkas vid en översvämning.

Med föreslagen layout är sannolikheten för att markplan ska påverkas låg med hänsyn till dess plushöjd på +6,5 meter.



## 10 Referenser

- [1] Räddningsverket, "Värdering av risk," Statens Räddningsverk, Karlstad, 1997.
- [2] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riktlinjer för riskanalyser som beslutsunderlag," Länsstyrelsen i Stockholms län, Stockholm, 2003.
- [3] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riskanalyser i detaljplaneprocessen – vem, vad, när & hur?," Länsstyrelsen i Stockholms län, Stockholm, 2003b.
- [4] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer. Samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods," Stockholm, 2000.
- [5] Länsstyrelserna i Skåne län, Stockholms län, Västra Götalands län, "Riskhantering i detaljplaneprocessen – Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods," 2006.
- [6] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods," 2016.
- [7] Google, "Google Maps," 01 09 2014. [Online]. Available: <http://maps.google.com>.
- [8] Uppsala kommun, "Statistik om Uppsala kommun 2019," Uppsala kommun, Uppsala, 2019.
- [9] Lantmäteriet, "Geodataportalen," 2017. [Online]. Available: <http://www.geodata.se/GeodataExplorer/index.jsp?loc=sv&site=AdvancedUser>.
- [10] MSB, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Transport av farligt gods - Väg och järnväg 2019/2020, Karlstad: DanagårdLiTHO, 2019.
- [11] Trafikverket, "Tabell A1. Trafikuppgifter prognos 2040," Trafikverket, 2019.
- [12] Briab, "Stationshuset Uppsala," Briab, 2010.
- [13] S. Fréden, "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Rapport 2001:15," Banverket, Stockholm, 2001.
- [14] MSB, "Översvämningskartering utmed Fyrisån," Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Karlstad, 2013.
- [15] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB, "Översvämningsportalen," Plansystem: Sweref 99 TM, © översvämningskarteringar MSB, © bakgrundskarta Lantmäteriet, [Online]. Available: <https://gisapp.msb.se/Apps/oversvamningsportal/avancerade-kartor/hot-och-riskkartor/upsala/hotkartor.html>. [Använd 05 08 2019].
- [16] Briab, "Dragarbrunn 25:1, Uppsala - Riskutredning för detaljplan. Version 8," Briab, 2017.
- [17] SFS 2010:900, "Plan- och bygglag (SFS 2010:900)," 2010.
- [18] Regionförbundet Uppsala län, "Regionförbundet Uppsala län," 12 09 2011. [Online]. Available: <http://www.regionfakta.com/Uppsala-lan/Uppsala-lan/Uppsala/Geografi/Areal-och-befolkningstathet/>. [Använd 08 03 2012].



- [19] Trafikverket, "Prognos för godstransporter 2030. Trafikverkets basprognos 2014.," 2014c. [Online]. Available: [http://publikationswebbutik.vv.se/upload/7325/2014\\_066\\_Prognos\\_for\\_godstransporter\\_2030\\_trafikverkets\\_basprognos\\_2014.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/7325/2014_066_Prognos_for_godstransporter_2030_trafikverkets_basprognos_2014.pdf).
- [20] NOAA, "ALOHA Areal Locations of Hazardous Technical Documentation: [http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ALOHA\\_Tech\\_Doc.pdf](http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ALOHA_Tech_Doc.pdf)," DEPARTMENT OF COMMERCE • National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) , Seattle, WA, 2013.
- [21] SIS, "SS-EN 1991-1-7:2006 Eurokod 1 - Laster på bärverk - Del 1-7: Allmänna laster - Olyckslast," SIS Swedish Standards Institute, Stockholm, 2011.
- [22] Trafikverket, "TRVK Bro 11," 2011.
- [23] Statistiska centralbyrån, SCB, "Invånare per kvadratkilometer efter region och vart 5:e år," [Online]. Available: [http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_\\_MI\\_\\_MI0810\\_\\_MI0810A/LandareaITatort/table/tableViewLayout1/?rxid=b285018a-ec55-4aa1-8740-29e588410a4e](http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0810__MI0810A/LandareaITatort/table/tableViewLayout1/?rxid=b285018a-ec55-4aa1-8740-29e588410a4e). [Använd 05 08 2019].
- [24] Trafikverket, "Trafikuppgifter avsedda för bullerberäkning," 2019.
- [25] G. Nilsson, "Vägtransporter med farligt gods - Farligt gods i vägtrafikolyckor," VTI rapport, 1994.
- [26] HMSO, "Major Hazard aspects of the transport of dangerous substances," Advisory Committee on Dangerous Substances Health & Safety Commission, Londo, 1991.
- [27] Räddningsverket, "Farligt gods - riskbedömning vid transport- Handbok för riskbedömning av transporter med fatligt gods på väg och järnväg," Räddningsverket, Karlstad, 1996.
- [28] G. Purdy, "Risk analysis of the transport of dangerous goods by road and rail," Journal of Hazardous Materials, vol 3, p. 229-259, 1993.
- [29] Länsstyrelsen Stockholms län, "Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer," 2000.
- [30] UIC, "UIC Code 777-2, Structures built over railway lines, 2nd edition," International Union och Railways, 2002.
- [31] Trafikverket, "Jvgdata STH A/B/S-tåg," 2017. [Online]. Available: [http://geo-baninfo.trafikverket.se/MapService/wms.axd/BanInfo?layers=STH\\_A\\_tag](http://geo-baninfo.trafikverket.se/MapService/wms.axd/BanInfo?layers=STH_A_tag).
- [32] Uppsala kommun, "Detaljplan för Kv Siv, samråd, 2016-05-26, Uppsala kommun," 2016.
- [33] P. D. Moyer, R. W. James och C. H. Bechara, "Safety of High Speed Guided Ground Transportation Systems Intrusion Barrier Design Study," U.S. Department of Transportation, Washington DC, 1994.





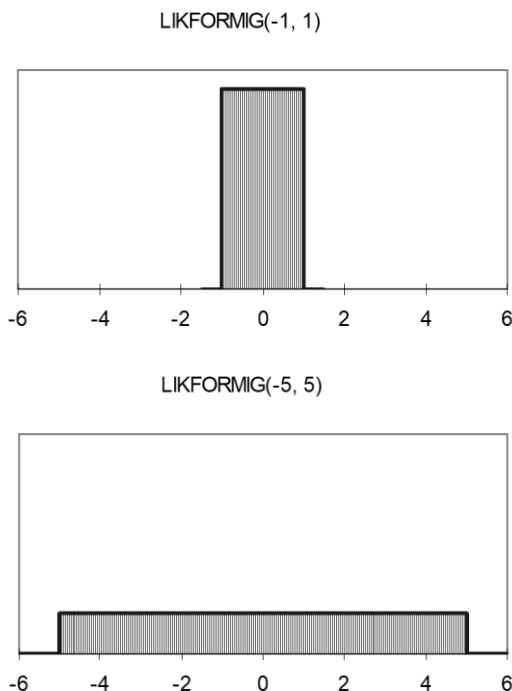
## Bilaga A – Statistik- och sannolikhetsteori

Vid beskrivning av modellerna för frekvens- och konsekvensberäkningar används genomgående ett antal statistiska och sannolikhetsteoretiska begrepp, vilka förklaras i detta kapitel.

*Väntevärdet*,  $\mu$  uttrycks även som medelvärdet och är det värde som utgör tyngdpunkten i en statistisk fördelning längs x-axeln. Väntevärdet är ett lägesmått.

*Standardavvikelsen*,  $\sigma$  är ett mått på en fördelnings spridning. Osäkerheten i en variabls värde uttrycks med dess standardavvikelse. Två variabler kan ha samma väntevärde men olikartade fördelningar, se Figur 11 nedan.

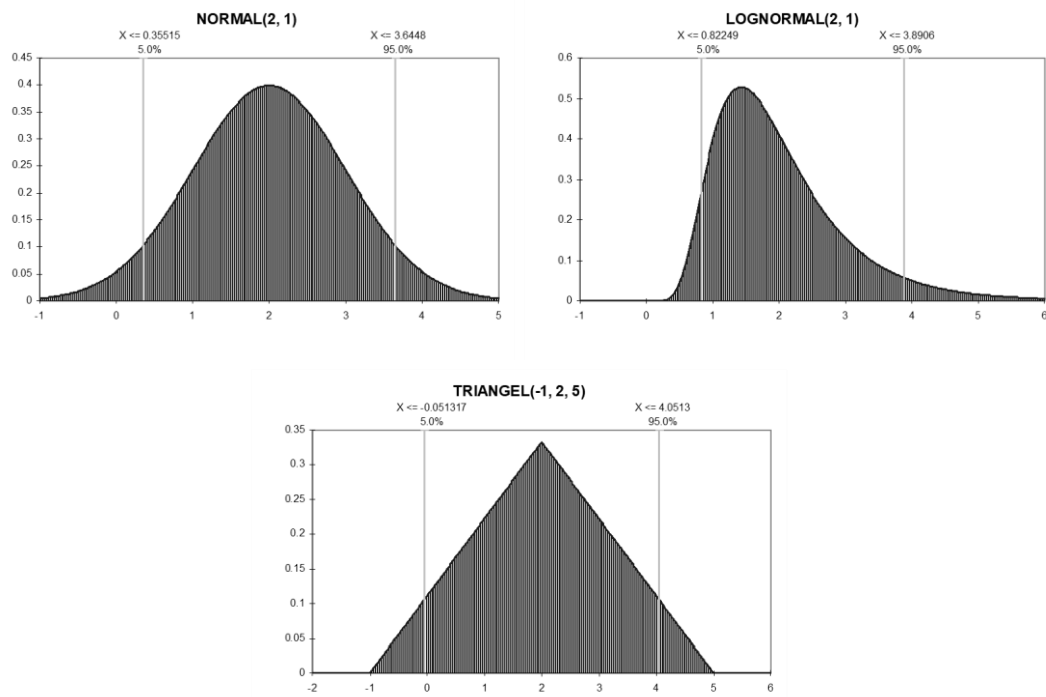
*Variationskoefficienten*, VK, utgörs av kvoten mellan standardavvikelsen och väntevärdet, dvs.  $VK = \sigma/\mu$ . Variationskoefficienten anges ofta i procent.



**Figur 11.** Om man jämför två likformiga fördelningar där den ena går från  $-1$  till  $1$  och den andra från  $-5$  till  $5$  inses att båda har väntevärdet  $0$ , men det är uppenbart att den senare har en mer utspridd fördelning än den förra.

Statistiska fördelningar används för att beskriva osäkerheten i indata. Frantzich<sup>11</sup> anger att det första som måste göras när dessa fördelningar skall skattas är att definiera fördelningens största och minsta värde. Därefter uppskattas väntevärde och varians. Slutligen skall en fördelning väljas som ger bästa tänkbara representation av variabeln. Vanliga fördelningar är *normalfördelningen*, *lognormalfördelningen* och *triangelfördelningen*. En grafisk illustration av dessa fördelningar visas i Figur 12.

<sup>11</sup> Frantzich, H., *Uncertainty and risk analysis in fire safety engineering*, Rapport 1016, Avdelning för Brandteknik, Lunds universitet, 1998.



Figur 12. Exempel på normalfördelning, lognormalfördelning och triangelfördelning.



# Bilaga B – Frekvenser för olyckor med farligt gods

## B.1 Generella indata

### B.1.1 Olycksriktning

Med "olycksriktning" menas att hänsyn måste tas i vilken riktning som olyckan breder ut sig. Flertalet av scenarierna som kan inträffa är beroende av omgivningsförhållanden som vindriktning, men även olycksförloppets karakteristiska gör att den inte har en cirkulär påverkan. I Tabell 4 redovisas vilken reduktion som måste göras i samband med beräkning av risk.

Tabell 4. Korrektion för olyckans riktning.

Scenario	Beskrivning	Korrigering
Giftmoln	Utbredning i vindriktningen <sup>12</sup> (22°)	22 / 360 = 0,061
BLEVE	Cirkulär utbredning	1,0
UVCE	Utbredning i vindriktningen <sup>12</sup> (22°)	22 / 360 = 0,061
Jetflamma	Riktning uppåt, mot eller bort <sup>13</sup>	2/3 = 0,67
Pölbrand	Cirkulär utbredning	1,0
Frätande ämne	Riktning mot eller bort <sup>14</sup>	1/2 = 0,50
Urspårning	På båda sidor om spåret	1,0

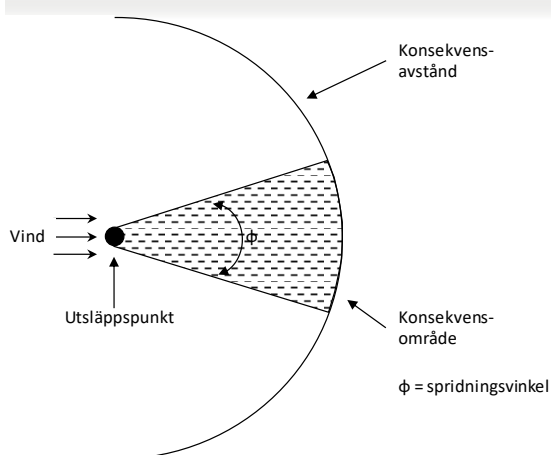
### B.1.2 Spridningsvinkel

Giftmoln driver iväg med vinden. Gasen sprids i huvudsak längs med vindriktningen, men även till viss del i sidled. Spridningen i sidled bestäms av en spridningsvinkel, vilken i första hand beror på vindhastigheten. I Figur 13 visas en schematisk bild av spridningsförloppet. Spridningsvinkeln kan beräknas med en metod som visas i Figur 14.

<sup>12</sup> I avsnitt B.1.2 redovisas hur spridningsvinkeln beräknats.

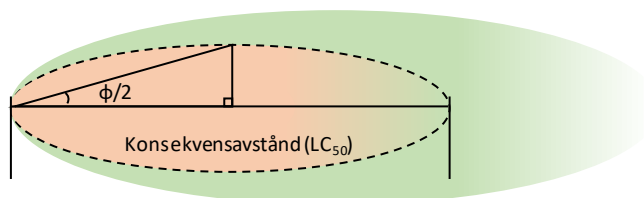
<sup>13</sup> Jetflamman antas kunna vara riktad mot området, bort från området eller uppåt. Flammor som är riktade bort från området tas inte med i analysen.

<sup>14</sup> Utsläpp av frätande ämne antas kunna ske mot eller bort från området. Utsläpp som riktas bort tas inte med i analysen.



**Figur 13. Illustration av konsekvensavstånd, konsekvensområde och spridningsvinkel vid spridning av giftmoln.**

Vid halva avståndet till LC<sub>50</sub> (se Figur 14) längs utsläppets centrumlinje mäts avståndet i sidled ut till samma koncentration. Denna sträcka är den motstående kateten till halva spridningsvinkeln.



**Figur 14. Illustration hur spridningsvinkeln kan beräknas med utgångspunkt i gasspridningsmodellen.**

Spridningsvinkeln har beräknats för olika väder- och vindförhållanden och redovisas i Tabell 5. Beräkningar har utförts med metodiken redovisad i bilaga D.

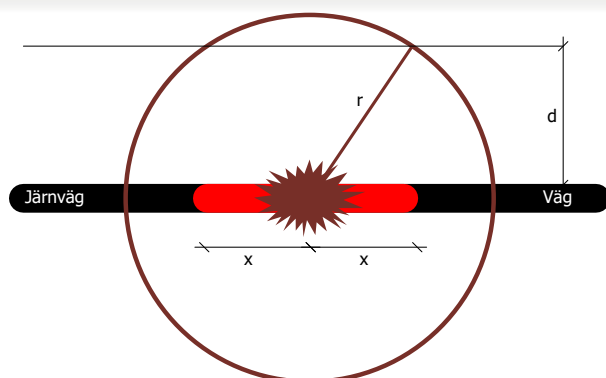
**Tabell 5. Sammanställning av spridningsvinkel för olika väder- och vindförhållanden.**

Stabilitetsklass	Vindhastighet	Spridningsvinkel
Instabil	1–4 m/s	29–31°
Neutral	2–8 m/s	15–29°
Stabil	1–4 m/s	11–33°

Spridningsvinkeln blir smalare ju mer det blåser och vinkeln antar sitt högsta värde när vindhastigheten är 1 m/s. Med hjälp av statistisk analys som bygger på indata relevant för spridning i luft (se bilaga D) kan det konstateras att spridningsvinkeln kommer vara 22° eller lägre i 95 % av fallen. 22° används som dimensionerande värde i riskanalysen.

### **B.1.3 Korrigeringsfaktor för att bedöma frekvensen att specifik olycka påverkar en punkt på ett givet avstånd från transportleden**

Olycksfrekvenserna som beräknas i avsnitt B.4 utgår från en sträcka på 1 km. Eftersom de flesta olyckor endast påverkar en liten del av denna sträcka så är det nödvändigt att korrigera för hur ofta en olycka som har en given utbredning, påverkar en punkt på ett visst avstånd från transportleden. Detta kan göras med en modell som bygger på den som redovisas i Figur 15.



**Figur 15. Modell för beräkning av frekvensen att en olycka påverkar ett visst avstånd från transportleden.**

Om olyckan har utbredningen  $r$  så måste olyckan inträffa på sträckan  $2x$  för att ge en påverkan på avståndet  $d$  från transportleden. Notera att det endast är intressant att studera de fall där  $d \leq r$ , eftersom om  $d > r$  blir det ingen konsekvens. Med hjälp av Pythagoras sats<sup>15</sup> kan  $x$  beräknas och sannolikheten att olyckan med utbredningen  $r$  påverkar avståndet  $d$  vid en olycksfrekvens angiven per kilometer blir således:

$$2\sqrt{r^2 - d^2} / 1000$$

I Tabell 6 redovisas den korrigeringsfaktor som olycksfrekvensen per km ska multipliceras med för att bestämma frekvensen för att en olycka med en viss utbredning påverkar en punkt på ett givet avstånd från transportleden.

<sup>15</sup> Pythagoras sats anger sambandet mellan sidorna i en rätvinklig triangel där kvadraten på hypotenusan är lika med summan av kvadraterna på kateterna.

Tabell 6. Korrigeringsfaktor för att hantera att en olycka med en viss utbredning (r) påverkar en punkt på ett givet avstånd (d) från transportleden.

Olyckan när (r), m	Avstånd (d) som studeras, m																									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150
5	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,03	0,03	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,04	0,04	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,06	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,09	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
95	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,08	0,06	-	-	-	-	-	-	-
100	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,06	-	-	-	-	-	-
110	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,11	0,09	-	-	-	-	-
120	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	0,10	-	-	-	-
130	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,14	0,10	-	-	-
140	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,17	0,14	0,10	-	-
150	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,25	0,25	0,24	0,23	0,22	0,20	0,18	0,15	0,11	-

160	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,15	0,11
170	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,30	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,19	0,16
180	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31	0,30	0,28	0,27	0,25	0,23	0,20
190	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28	0,26	0,23
200	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,35	0,35	0,33	0,32	0,30	0,29	0,26
220	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,32
240	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,43	0,42	0,40	0,39	0,37
260	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42
280	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,50	0,48	0,47
300	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52
320	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,61	0,60	0,59	0,58	0,58	0,57
340	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61
360	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65
380	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71	0,71	0,70
400	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,76	0,75	0,74

Tabell 6. Korrigeringsfaktor för att hantera att en olycka med en viss utbredning (r) påverkar en punkt på ett givet avstånd (d) från transportleden. (forts.)

Olyckan när (r), m	Avstånd (d) som studeras, m														
	160	170	180	190	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	0,16	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
190	0,20	0,17	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	0,24	0,21	0,17	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
220	0,30	0,28	0,25	0,22	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	0,36	0,34	0,32	0,29	0,27	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
260	0,41	0,39	0,38	0,35	0,33	0,28	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-
280	0,46	0,44	0,43	0,41	0,39	0,35	0,29	0,21	-	-	-	-	-	-	-
300	0,51	0,49	0,48	0,46	0,45	0,41	0,36	0,30	0,22	-	-	-	-	-	-
320	0,55	0,54	0,53	0,51	0,50	0,46	0,42	0,37	0,31	0,22	-	-	-	-	-
340	0,60	0,59	0,58	0,56	0,55	0,52	0,48	0,44	0,39	0,32	0,23	-	-	-	-
360	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,57	0,54	0,50	0,45	0,40	0,33	0,24	-	-	-
380	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,62	0,59	0,55	0,51	0,47	0,41	0,34	0,24	-	-
400	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,67	0,64	0,61	0,57	0,53	0,48	0,42	0,35	0,25	-





## B.2 Transportstatistik

### B.2.1 Transport på järnväg

Riskanalysen utgår från prognoserat antal tåg på Ostkust- och Dalabanan som passerar Uppsala C. Uppgifter om transport av farligt gods på berörda järnvägar används som är mer tillförlitlig än nationell statistik.

### B.3 Scenarier

Nedan redogörs för de olika scenarier som kan inträffa. Dessa är baserade på uppdelningen mellan olika RID-klasser, kännedom om "underklasser", sannolikhet för utsläpp och vilken typ av olycka som inträffar.

#### *Explosivämnen (ADR/RID-klass 1)*

Explosivämnen kan detonera pga. stötar i samband med olycka, vid värmepåverkan i samband med fordonsbrand eller pga. felaktiga förpackningar.

- ♦ Andel massexplosiva varor är 25 % för järnväg.

#### *Gaser (ADR/RID-klass 2)*

Gaser delas in i tre huvudgrupper – de som är brännbara, de som är giftiga och de som inte utgör någon fara för omgivningen. För brännbara gaser gäller att ha kännedom om vilka olyckor som inträffar.

- ♦ Andelen giftiga gaser är 60 % för järnväg.
- ♦ Andelen brännbara gaser är 10 % för järnväg. Om utsläpp sker kan följande inträffa<sup>16,17,18</sup>:
  - Ingen antändning, 30 %.
  - UVCE, 50 %.
  - BLEVE, 1 %.
  - Jetflamma, 19 %.
- ♦ Resterande andel utgörs av gaser som inte anses farliga, t.ex. kvävgas samt olika inerta gaser.

#### *Brandfarliga vätskor (RID-klass 3)*

Brandfarliga vätskor delas in i tre grupper; brandfarliga, brandfarliga och giftiga samt brännbara. En brandfarlig vätska definieras med att den kan antändas under normala temperaturer (< 30° C). Diesel är ett exempel på en brännbar, men ej brandfarlig vätska då den inte kan antändas vid temperaturer < 55 °C. Beroende av om och när antändning sker samt om vätska är giftig eller inte sker olika olyckstyper.

- ♦ Andelen brandfarliga produkter utan giftiga egenskaper är 75 % för väg och järnväg. Följande olyckor beaktas<sup>16,17</sup>:
  - Ingen antändning, 94 %

- Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %
- ◆ Andelen brandfarliga produkter med giftiga egenskaper är 8 % för väg och järnväg. Följande olyckor beaktas<sup>16,17</sup>:
  - Ingen antändning med resulterande giftmoln, 94 %
  - Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %

*Oxiderande ämnen och organiska peroxider (RID-klass 5) som kan orsaka explosion vid blandning med brännbara vätskor*

Oxiderande ämnen i klass 5 utgör normalt ingen påtaglig risk för omgivningen. Under särskilda omständigheter kan en explosion inträffa, vilket sker om vissa typer av oxiderande ämnen blandas med brännbar vätska. De ämnen inom RID-klass 5 som kan leda till kraftiga brand- och explosionsförlopp är i huvudsak ej stabiliserade väteperoxider, vattenlösningar av väteperoxider med över 60 % väteperoxid samt organiska peroxider.

- ◆ Andelen oxiderande ämnen och organiska peroxider som kan orsaka explosion vid blandning med brännbar vätska på järnväg är 5 %<sup>19</sup>.
- ◆ Det uppskattas att oxiderande ämne och brandfarlig vätska kommer i kontakt med varandra i 50 % av olyckorna och att det är en sannolikhet på 10 % att explosion sker efter kontakt<sup>20</sup>.

*Giftiga ämnen (RID-klass 6)*

Giftiga ämnen i klass 6 transporteras antingen i flytande eller fast form. Ämnen i fast form utgör normalt ingen akut påverkan på omgivningen.

- ◆ Andelen flytande giftiga ämnen på järnväg är 72 %.

*Frätande ämnen (RID-klass 8)*

Samtliga läckage av ämnen i klass 8 kan orsaka skada på omgivningen.

## B.4 Olyckor på järnväg

### B.4.1 Olycksfrekvens

Fredén<sup>21</sup> har utvecklat en modell för att uppskatta frekvensen för tågurspärning och kollision. Modellen bygger på trafikintensiteten ofta uttryckt i antal vagnaxelkilometer, tåghastigheten, spårkvaliteten, etc. Betydelsefulla indata redovisas i Tabell 7 nedan. Dimensionerande tågtrafik redovisas i avsnitt B.2.1.

**Tabell 7. Indata för beräkning av olycksfrekvens på järnväg.**

Parameter	Uppsala C - Norrut
Totalt antal tåg per år	82640
Totalt antal vagnar per år	291920
Totalt antal vagnaxlar per år	658840

<sup>21</sup> Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001.

I genomsnitt deltar 3,5 vagnar i en urspårning och 5,5 % av vagnarna antas medföra farligt gods. Sannolikheten att en eller flera av dessa vagnar medför farligt gods är  $1 - (1 - 0,055)^{3,5} = 24\%$ .

I Tabell 8 sammanställs de olika olyckstyperna, intensitetsfaktorerna, exponering och frekvens per år enligt Fredéns modell<sup>21</sup>. Beräkningarna har utförts med antagandet att det sker 0 växelpassage och 0 passager av plankorsning på den studerade sträckan.

**Tabell 8. Beräkning av olycksfrekvens för Ostkust- och Dalabanan.**

Olyckstyp	Intensitetsfaktor	Exponering	Frekvens/år
Rälsbrott	5,0E-11 / vagnaxelkm	658840	3,3E-05
Solkurva	1,0E-5 / spårkm	1	1,0E-05
Spårlägesfel	5,9E-10 / vagnaxelkm	658840	5,3E-04
Växel sliten	5,0E-10 / passage	3	1,2E-03
Vagnfel	3,1E-9 / vagnaxelkm	658840	2,0E-03
Lastförskjutning	4,0E-10 / vagnaxelkm	658840	2,6E-04
Annan orsak	5,7E-8 / tågkm	82640	4,7E-03
Okänd orsak	1,4E-7 / tågkm	82640	1,2E-02
Kollision i plankorsning	5,0E-8 / tågpassage	0	0,0E+00

I Tabell 9 visas en sammanställning av olycksfrekvenserna för berörda järnvägsbanor.

**Tabell 9. Sammanställning av olycksfrekvenser.**

Olycksfrekvens per år	Uppsala C - Norrut
Urspårning (total)	0,0204
Urspårning (resandetåg)	0,0193
Urspårning (godståg)	0,0011
Urspårning (godståg med farligt gods)	0,0002

### B.4.2 Index för farliggodsoolycka

Fredén anger ett index för farligt godsolycka på 0,3, vilket anger sannolikheten för utsläpp av farligt gods, givet att en järnvägsolycka inträffar när tåget framförs i den för banan eller fordonet högsta tillåtna hastigheten. Tjockväggiga tankar (RID-klass 2) har ett index för farligt godsolycka på 0,01.

Explosivämnen i RID-klass 1 kan inte hanteras på samma sätt som övrigt farligt gods. Detta beror på att sannolikheten för en detonation inte är direkt relaterad till det faktum att det sker en olycka där farligt gods läcker ut. Detonation av explosivämnen kan ske antingen genom vagnbrand, genom kollisionsvåld eller genom defekt material/förpackning. Statistik från Storbritannien visar på en frekvens för detonation på  $1,1 \cdot 10^{-9}$  per vagnkilometer<sup>22</sup>.

### B.4.3 Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

Informationen i avsnitt B.1.1 samt B.4.1-B.4.2 används för att beräkna frekvenserna för resp. scenario enligt nedanstående modell:

$$F_{\text{scenario}} = OF \cdot T \cdot N_{\text{ADR-X}} \cdot N_{\text{ADR-X.X}} \cdot I_{\text{FaGo-olycka}} \cdot P_{\text{konslADR-X.X}} \cdot K_{\text{riktn}}$$

där:

<sup>22</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

$OF$  är olycksfrekvensen, se avsnitt B.4.1.

$N_{ADR-X}$  är andelen av farligt gods i huvudklass RID 1–9, se avsnitt B.2.1.

$N_{ADR-X.X}$  är andelen inom resp. RID-klass.

$I_{FaGo-olycka}$  är index för farligt godsolycka, se avsnitt B.4.2.

$P_{konstADR-X.X}$  är sannolikheten att ett visst scenario inträffar givet utsläpp i en specifik underklass, se avsnitt B.3

$K_{riktn}$  är en korrigeringsfaktor som tar hänsyn till i vilken riktning olyckan breder ut sig, se avsnitt B.1.1.

I Tabell 10 sammanställs frekvensen för resp. scenario.

**Tabell 10. Frekvenser per år för respektive scenario vid järnvägstransport.**

<b>Scenario</b>	<b>Uppsala C - Norrut</b>
Klass 1 detonation	1,3E-10
Klass 2 BLEVE	9,3E-12
Klass 2 jetflamma	1,2E-10
Klass 2 UVCE	1,2E-10
Klass 2 giftmoln	3,4E-10
Klass 3 pölbrand (direkt)	7,7E-06
Klass 3 pölbrand (fördröjd)	3,9E-06
Klass 3 giftmoln	1,6E-07
Klass 5 detonation	5,7E-10
Klass 6 giftmoln	2,3E-09
Klass 8	4,7E-07
<b>Summa:</b>	<b>1,2E-05</b>

De enskilda scenariernas frekvenser i Tabell 10 är den data som frekvensmodellen lämnar över till "riskmodellen". I riskmodellen används ovanstående frekvenser tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna i bilaga D. För järnvägstransport står pölbränder vid utsläpp av RID-klass 3 som kan ge brännskador och brandspridning för 94,8 % av de tänkbara farligt godsolyckorna.

# Bilaga C – Konsekvenser av olyckor med farligt gods

## C.1 Beräkning av konsekvenser

I detta avsnitt redovisas de modeller som har använts för beräkning av olyckornas konsekvenser. Syftet med avsnittet är att visa vilka modeller som använts på en övergripande nivå. Huvudreferens för detta avsnitt är:

Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.

Om inget annat anges kommer beräkningsmetodik och ekvationer från ovanstående referens.

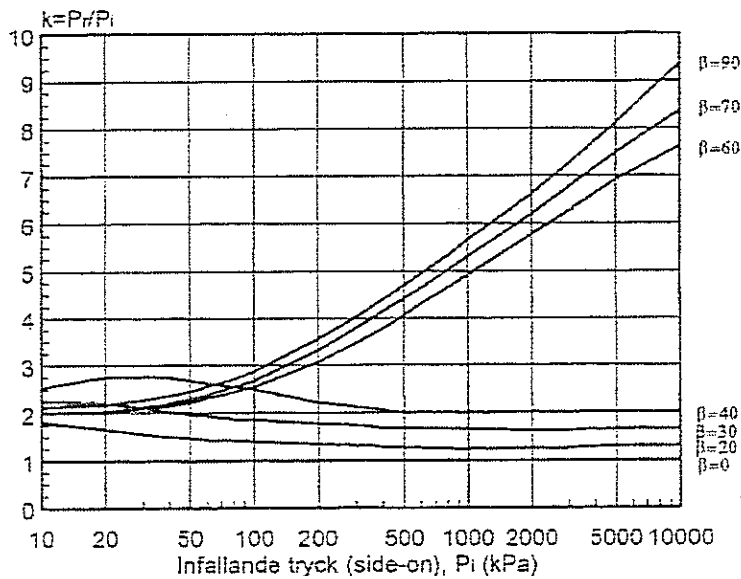
### C.1.1 Detonation

Beräkning av tryckverkan vid detonation av explosivämne i RID-klass 1 och RID-klass 5 utförs enligt nedanstående metodik<sup>23</sup>:

- ♦ Inledningsvis beräknas laddningsvikten, vilken är en statistisk fördelning relaterat till förekommande transporter av farligt gods. Laddningsvikten ökas 1,8 ggr för att ta hänsyn till att explosionen sker nära mark (och ej fritt i luften).
- ♦ Det skalade avståndet ( $r/Q^{1/3}$ ) beräknas där  $r$  är avståndet till laddningen och  $Q$  är den omräknade laddningsvikten.
- ♦ Med hjälp av information i Figur 16 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.

---

<sup>23</sup> Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



Figur 16. Maximalt övertryck respektive kvot mellan reflekterat- och infallande tryck där  $\beta = 90$  innebär vinkelrätt tryckinfall (dimensionerande värde).

### C.1.2 Avdunstning

Massflödet vid avdunstning behöver bedömas för att kunna uppskatta effekterna av spridning i luft vid utsläpp av giftig brandfarlig vätska i RID-klass 3. Massflödet beror på karakteristiska för utsläppt ämne (ångtryck, densitet, molekylvikt), vind samt utsläppets area. Beräkningen av massflödet görs genom att utnyttja det dimensionslösa masstransporttalet  $B$  med ekvationer<sup>24</sup> enligt nedan. Traditionellt används alternativa metoder inom andra ingenjörsciensdiscipliner, men jämförande beräkningar visar att de olika metoderna överensstämmer väl<sup>24</sup>. Nedanstående ekvationer gäller för vätskor vars kokpunkt är högre än omgivningens temperatur.

$$Y_{FW} = \frac{1}{\left[1 + \left[\left(\frac{p}{p_F} - 1\right)\left(\frac{M_{luft}}{M_F}\right)\right]\right]} \quad (1)$$

$$B = \frac{(Y_{F_\infty} - Y_{FW})}{(Y_{FW} - Y_{FR})} \quad (2)$$

$$Re = u \cdot D_{eq} / \nu \quad (3)$$

$$Nu = 0,037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr_{luft}^{1/3} \quad (4)$$

$$h = Nu \cdot k_{luft} / D_{eq} \quad (5)$$

$$Q'' = \frac{(h / C_{p_{luft}}) \cdot \ln(1 + B)}{1000} \quad (6)$$

$$Q = Q'' \cdot A \quad (7)$$

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (8)$$

där

<sup>24</sup> Andersson, B., *Introduktion till konsekvensberäkningar, några förenklade typfall*, Institutionen för Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1992.

$Y_{FW}$	= Massfraktion bränsle vid ytan i gasfas.
$Y_{F_\infty}$	= Massfraktion bränsle i luften ovanför bränsleytan.
$Y_{FR}$	= Massfraktion bränsle i vätskepölen.
$p$	= Lufttryck = 101,3 kPa.
$p_F$	= Ångtryck för bränsle i kPa.
$M_{luft}$	= Molekylvikt för luft = 28,85 g/mol.
$M_F$	= Molekylvikt för bränsle i g/mol.
$B$	= Dimensionslöst masstransporttal.
$Re$	= Reynolds tal, dimensionslöst.
$Nu$	= Nusselts tal, dimensionslöst.
$Pr_{luft}$	= Prandtl's tal för luft, dimensionslöst = 0,71.
$u$	= Vindhastighet, m/s.
$D_{eq}$	= Pölens ekvivalenta diameter <sup>25</sup> , m.
$A$	= Pölens area, m
$\nu$	= Kinematisk viskositet för luft = $15,08 \cdot 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s.
$h$	= Konvektivt värmeövergångstal, W/m <sup>2</sup> K.
$k_{luft}$	= Konduktivitet för luft = 0,02568 W/mK.
$Q''$	= Massflöde från ytan, kg/m <sup>2</sup> s.
$Q$	= Massflöde från ytan, kg/s.
$C_{P_{luft}}$	= Värmekapacitet för luft = 1 J/gK.

Det är även möjligt att beräkna hur lång tid det tar för hela pölen att förångas. Förångningshastigheten (massflödet) används sedan som indata till spridningsmodellen. Om den avdunstande vätskan antänds gäller inte denna modell, utan modellen för beräkning av konsekvensen av en pölbrand (se avsnitt C.1.7).

### C.1.3 Utströmning av gas (i vätskefas)

Vid utsläpp av tryckkondenserade gaser krävs kännedom om källstyrka (kg/s) och den initiala spridningsmodellen vilken är en s.k. turbulent jet (fri cirkulär jet i medvind).

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{\rho_f}} \quad (9)$$

---

<sup>25</sup> Den ekvivalenta diametern används för att skapa en cirkel med samma area som själva vätskepölen.

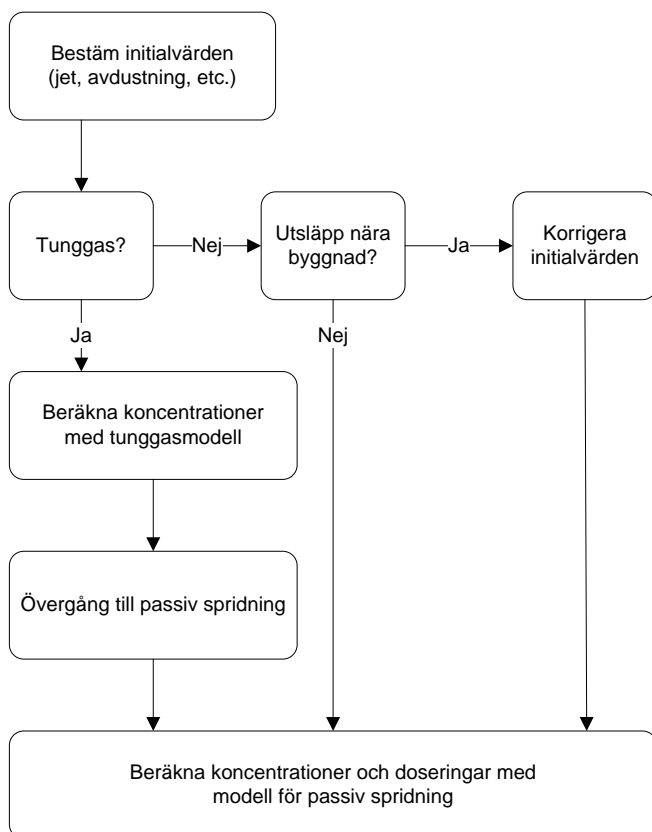
$$F = \frac{Q^2 v_f}{C_d A} \quad (10)$$

där,

- $Q$  = Massflödet, kg/s.
- $C_d$  = Kontraktionsfaktor för vätskeutströmning.
- $A$  = Hålstorlek, m<sup>2</sup>.
- $P_0$  = Tanktryck, Pa.
- $P_a$  = Atmosfärstryck, Pa.
- $v_f$  = Specifik volym hos vätskefas, m<sup>3</sup>/kg.
- $F$  = Rörelsemängdsflöde i jetstråle, N.

### C.1.4 Spridning i luft

Följande flödesschema<sup>26</sup> för utsläpp används för att uppskatta spridning i luft:



Figur 17. Flödesschema<sup>26</sup> för kontinuerliga utsläpp

<sup>26</sup> Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Forsvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



#### C.1.4.1 Källmodell

Källmodellen kan antingen vara modellen för avdunstning i avsnitt C.1.2 eller modellen för bestämning av källstyrka vid utsläpp av tryckkondenserade gaser i avsnitt C.1.3.

#### C.1.4.2 Bestäm initialvärden

Värden för den initiala utspädningsprocessen<sup>26</sup> bestäms med följande ekvationer:

*Avdunstning*

= 0 i pölens kant uppströms i vindriktningen

$$\sigma_{y0} = 0,25 \cdot D_{eq} \quad (11)$$

$$\sigma_{z0} = 0,05 \cdot D_{eq} \quad (12)$$

där

$\sigma_{y0}, \sigma_{z0}$  = Initiala utspädningskoefficienter i y- resp. z-led.

*Tryckkondenserad gas*

Utströmning av tryckkondenserad gas sker med en s.k. turbulent jet för vilken följande initiala dimensionsmått erhålls:

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = 0,44R(x_{tr}) \quad (13)$$

#### C.1.4.3 Tunggas?

Nästa steg blir att avgöra om det finns ett tunggassteg eller inte vid beräkning av koncentrationer. Om tunggassteget inte existerar kan modellen för passiv spridning användas direkt. Tunggaseffekterna är försumbara när molnets tillväxt i sidled nått ner till samma värde som för passiv spridning. Detta kan uttryckas som ett avståndsvillkor för tunggasmodellens giltighet:

$$x \leq \frac{0,037L_b}{(\sigma'_{yp})^3} - \frac{\sigma_{y0}^{3/2}}{0,35L_b^{1/2}} = x_{\max} \quad (14)$$

$$\sigma'_{yp} = \beta \left( \frac{z_0}{z_{03}} \right)^{0,2} \quad (15)$$

$$L_b = g \left( 1 - \frac{M_{luft}}{M_{F_{eff}}} \right) \cdot \frac{Q}{\rho_a u^3} \quad (16)$$

$$M_{F_{eff}} = M_F \left[ 1 + \frac{c_{pg}(T_a - T_{g0})}{c_{pa}T_a} \right] \quad (17)$$

där

$T_{g0}$  = Gasens temperatur före luftinblandning, K

Eftersom gasens temperatur innan inblandning av luft är densamma som efter luftinblandning är  $M_{F_{eff}} = M_F$ . Tunggasmodellen ska tillämpas i intervallet  $0 \leq x \leq x_{\max}$  varefter en övergång till modell för passiv spridning ska göras. Om  $x_{\max}$  är mindre än noll så ska tunggasmodellen överhuvudtaget inte användas.

#### C.1.4.4 Beräkning av koncentrationer med tunggasmodell

I intervallet  $0 \leq x \leq x_{\max}$  har plymen en maximal koncentration i vindriktningen enligt nedanstående ekvation.

$$X_{\max}(x) = X(x, 0, 0) = \frac{85Q \cdot K_r^{-1} \cdot K_s}{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}}\right)^2 \cdot u} \quad (18)$$

$$K_r = \left(\frac{z_0}{z_{01}}\right)^{0,2} \quad (19)$$

där

$X_{\max}$  = Maximal koncentration i vindriktningen, kg/m<sup>3</sup>.

$K_r$  = Korrektionsfaktor för skrovlighet (ytråhet).

$K_s$  = Korrektionsfaktor för atmosfärsstabilitet.

$z_{01}$  = Referenslängd för skrovlighet (ytråhet) = 0,01 m.

Plymens bredd- och höjdmått beräknas med följande ekvationer.

$$\sigma_y(x) = \left[\sigma_{y0}^{3/2} + 0,35L_b^{1/2}x\right]^{2/3} \quad (20)$$

$$\sigma_z(x) = \frac{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}}\right)^2}{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_y(x)} \quad (21)$$

där

$\sigma_y(x)$  = Standardavvikelse för masskoncentration i y-led, m.

$\sigma_z(x)$  = Standardavvikelse för masskoncentration i z-led, m.

#### C.1.4.5 Övergång till passiv spridning

Vid  $x_{\max}$  är inte längre tunggasmodellen tillämpbar. Plymen har då fått standardavvikelser enligt ekvationerna (20) och (21) med  $x = x_{\max}$  och dessa värden på  $\sigma_y$  och  $\sigma_z$  används som initiala värden ( $\sigma_{y0}$  och  $\sigma_{z0}$ ) i modellen för passiv spridning.

#### C.1.4.6 Beräkning av koncentrationer med modell för passiv spridning

För den passiva spridningsfasen rekommenderas en gaussisk spridningsmodell i stället för en mindre realistisk boxmodell. Spridningsmodellen ger koncentrationen av gas på ett givet avstånd från utsläppspunkten med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (22)$$

där

$X(x, y, z)$  = Koncentrationen på avståndet x, y och z, kg/m<sup>3</sup>.

$Q$  = Utsläppets källstyrka, kg/s.

$\sigma_y, \sigma_z$  = Dispersionskoefficienter i sid- och höjddled

$u$  = Vindhastigheten, m/s.

$H$  = Utsläppets höjd, m

Dispersionskoefficienterna som styr spridning i sid- och höjddled beräknas enligt nedan.

$$\sigma_y = \frac{a_y (x + x_{y0})}{(1 + b_y (x + x_{y0}))^{\gamma_y}} K_{rp} K_{yt} \quad (23)$$

$$\sigma_z = \frac{a_z (x + x_{z0})}{(1 + b_z (x + x_{z0}))^{\gamma_z}} K_{rp} \quad (24)$$

där  $a$ ,  $b$ , och  $\gamma$  är parametrar som beror på rådande stabilitet;  $x_{y0}$  och  $x_{z0}$  är avstånden till s.k. virtuella källor, dvs. de koordinatförskjutningar som är nödvändiga för att plymen ska få rätt bredd och höjd initialt.  $K_{rp}$  anger en korrigering för underlagets skrovlighet och  $K_{yt}$  för samplingstidens (medelvärdesbildningstidens) påverkan på den horisontella spridningen. För bebyggt område är  $K_{rp} = 1$  och  $K_{yt}$  antar ett värde på 1,0 då den önskade medelvärdesbildningstiden är densamma som medelvärdestiden (500 s).

Stabilitetsklass	$a_y$	$b_y$	$\gamma_y$	$a_z$	$b_z$	$\gamma_z$
A	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5
B	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5
C	0,22	0,0004	0,5	0,20	0	0
D	0,16	0,0004	0,5	0,14	0,0003	0,5
E	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5
F	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5

Nedanstående ekvationer används för beräkning av  $x_{y0}$  och  $x_{z0}$ .

$$x_{y0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y + \frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp} K_{yt}}\right)^2 b_y^2 + 4a_y^2}}{2a_y^2} \quad \text{för } \gamma_y = 0,5 \quad (25)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)}{a_z - b_z \left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)} \quad \text{för } \gamma_z = 1 \quad (26)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z + \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z^2 + 4a_z^2}}{2a_z^2} \quad \text{för } \gamma_z = 0,5 \quad (27)$$

$$x_{z0} = \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp} a_z} \quad \text{för } \gamma_z = 0 \quad (28)$$

$$x_{z0} = \frac{\sqrt{1 + \frac{4 \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} (\sqrt{2} - 1) b_z}{a_z} - 1}}{2(\sqrt{2} - 1) b_z} \text{ för } \gamma_z = -0,5 \quad (29)$$

$\sigma_{y0}$  och  $\sigma_{z0}$  är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån riktlinjerna i avsnitt C.1.4.2

### C.1.5 BLEVE

En BLEVE ger upphov till ett stort eldklot och beräknas med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$D = 6,48m^{0,325} \quad (30)$$

$$t_{BLEVE} = 0,825m^{0,26} \quad (31)$$

$$F_{21} = \frac{D^2}{4X^2} \quad (32)$$

$$\tau = 2,02(p_w X)^{-0,09} \quad (33)$$

$$q_r = \frac{X_E m \Delta h_c}{\pi D^2 t_{BLEVE}} \quad (34)$$

$$q_x = \tau q_r F_{21} \quad (35)$$

där

$D$  = Eldklotets diameter, m.

$m$  = Utsläppt massa brännbar vätska, kg.

$t_{BLEVE}$  = Eldklotets varaktighet, s.

$F_{21}$  = Synfaktor

$X$  = Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.

$\tau$  = Andel av strålningen som transmitteras genom luften.

$p_w$  = Vattens ångtryck, Pa

$q_r$  = Avgiven strålning, kW/m<sup>2</sup>.

$X_E$  = Strålningsandel.

$\Delta h_c$  = Förbränningsvärme, kJ/kg.

$q_x$  = Mottagen strålning, kW/m<sup>2</sup>.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt C.2.3. Sedan har eldklotets radie lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

### C.1.6 Jetflamma

Jetflamman är en "svetslåga" som uppkommer vid direkt antändning av en kondenserad brandfarlig gas. Följande ekvationer används för att beräkna riskavståndet vid en jetflamma.

$$R_{x,50} = 1,9t^{0,4}Q^{0,47} \quad (36)$$

där

- $R_{x,50}$  = Riskavstånd till 50 % dödlighet, m
- $t$  = Exponeringstid vid strålningspåverkan, s
- $Q$  = Utsläppets källstryka, kg/s (se avsnitt C.1.3)

### C.1.7 Pölbrand

Strålningen från en pölbrand kan beräknas med nedanstående ekvationer.

$$Q = m'' \Delta h_c A_p \quad (37)$$

$$q_r = X_e Q \quad (38)$$

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi X^2} \quad (39)$$

$$q_x = \tau q_r F_{12} \quad (40)$$

där:

- $Q$  = Brandens effekt, kW.
- $m''$  = Förbränningshastighet per ytenhet, kg/s/m<sup>2</sup>.
- $\Delta h_c$  = Förbränningsvärme, kJ/kg.
- $A_p$  = Pölens area, m<sup>2</sup>.
- $q_r$  = Avgiven strålning, kW/m<sup>2</sup>.
- $X_e$  = Strålningsandel.
- $F_{12}$  = Synfaktor
- $X$  = Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.
- $q_x$  = Mottagen strålning, kW/m<sup>2</sup>.
- $\tau$  = Andel av strålningen som transmitteras genom luften, se avsnitt C.1.5.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt C.2.3. Sedan har pölens diameter lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

### C.1.8 Stänk

Frätande ämnen kan orsaka svåra skador och dödsfall om det finns personer i tankens omedelbara närhet vilka får stänk över sig. Det finns inga kvantitativa modeller för att

uppskatta effekterna av stänk med frätande vätska, utan det antas att människor som befinner sig inom 10 m från tanken utsätts för dödliga skador.

## C.2 Indata

### C.2.1 Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden har betydelse när konsekvenserna av utsläpp av gaser (brännbara eller giftiga) ska bedömas. I Tabell 11 redovisas de värden som använts vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 11. Dimensionerande väder- och vindförhållanden.

Stabilitetsklass	Sannolikhet	Vindhastighet (medelvärde)
Instabil	10 %	1,7 m/s
Neutral	50 %	4,4 m/s
Stabil	40 %	2,4 m/s

### C.2.2 Ämnesspecifika data

I nedanstående tabeller ges väsentliga indata, vilka är de samma som använts i Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer<sup>27</sup>. En förklaring till statistiska begrepp och sannolikhetsfördelningar ges i bilaga A.

Tabell 12. Generella indata till konsekvensberäkningarna.

Variabel	Enhet	Värde
Atmosfärstryck	[Pa]	101 325
Flödeskoefficient	[-]	Likformig (0,65; 0,80)
Höjd på vätskepelare	[m]	Likformig (1,0; 2,0)

Tabell 13. Fördelning av hålstorlek. Källstyrkan avser utsläpp av gasol

Håltyp	Håldiameter	Källstyrka	Sannolikhet, järnväg
Litet	10 mm	1 kg/s	62.5 %
Medel	30 mm	12 kg/s	20.8 %
Stort	110 mm	160 kg/s	16.7 %

Sannolikheten för de olika hålstorlekarna kommer från Räddningsverket<sup>28</sup>, medan de olika hålstorlekarna bygger på uppskattningar från bland annat Cox<sup>29</sup> och CPQRA<sup>30</sup>.

<sup>27</sup> Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

<sup>28</sup> Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

<sup>29</sup> Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, M.L., *Classification of Hazardous Locations*, ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire 1990.

<sup>30</sup> Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.

Tabell 14. Ämnesspecifika indata.

Variabel	Enhet	Propylen-oxid	Dimetyl-sulfat	Svavel-dioxid	Gasol	Bensin
Molvikt	[g/mol]	58,1	126	64	76,53	
Densitet vätska	[kg/m <sup>3</sup> ]	830	1330	1460	605	750
Utsläppt mängd	[ton]	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
Förbränningsvärme	[kJ/kg]	34845	-	-	46000	45000
Strålningsandel	[-]	0,30	-	-	0,30	0,30
Ångtryck	[kPa]	60	0,067		833	
Kokpunkt	[°C]	34	188			
Tanktryck	[kPa]			230	535	
Förbränningshastighet	[m/s]					0,0001
Förbränningshastighet	[kg/m <sup>2</sup> /s]					0,048

Trotyl, vilket är det representativa ämnet för explosioner i klass 1 och klass 5 har ett värmevärde på 4,2 MJ/kg och den massa som deltar i explosionen är hämtad från HMSO<sup>31</sup> och antar en fördelning enligt Tabell 15 nedan och gäller för både väg och järnväg.

Tabell 15. Massa som deltar i explosion i klass 1.

Massa, kg	Ack. sannolikhet	Massa, kg	Ack. sannolikhet
50	1,1 %	1 047	21,4 %
61	1,2 %	1 095	22,3 %
126	1,2 %	1 778	86,5 %
204	3,8 %	2 399	86,8 %
316	20,8 %	16 000	100,0 %
562	21,3 %		

Vid en olycka med klass 5 på väg kan lasten blandas med fordonets egna drivmedel, vilket antas ha ett medelvärde på 400 kg och ett minsta resp. ett största värde på 100 resp. 500 kg. En explosiv oxidator-bränsleblandning innehåller ca 13 % bränsle, vilket för 400 kg drivmedel ger  $400/0,13 = 3\,080$  kg explosiv blandning<sup>32</sup>.

Massan som deltar i explosionen är direkt relaterad till hur stor mängd bränsle som blandas med det oxiderande ämnet. För järnväg kan en tank med 25 ton oxiderande ämne kollidera med en vagn innehållande en stor mängd brandfarlig vätska. Den blandning som kan bildas motsvarar ca 25 ton massexplosiv vara.

### C.2.3 Skadekriterier

Risikanalysen berör skador på människor och de skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck som används redovisas i Tabell 16 nedan. Skadekriterierna representerar LC<sub>50</sub>-värden, dvs. den koncentration där 50 % av en population förväntas omkomma, vilka beräknats med probitfunktion för angiven exponeringstid.

<sup>31</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

<sup>32</sup> Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilaga 2, 1997.

Tabell 16. Skadekriterier för giftiga gaser, värmestrålning<sup>33</sup> och tryck.

Skadeverkan	Kritisk påverkan
Explosion – tryck <sup>34</sup>	260 kPa
Explosion – värmestrålning <sup>35</sup>	43 kW/m <sup>2</sup>
Värmestrålning – BLEVE <sup>35</sup>	31 kW/m <sup>2</sup>
Värmestrålning – brandfarliga varor <sup>35</sup>	14 kW/m <sup>2</sup>
Toxicitet – giftig gas <sup>36</sup>	2 200 mg/m <sup>3</sup> (860 ppm)
Toxicitet – lättflyktig, giftig vätska <sup>37</sup>	4 900 mg/m <sup>3</sup> (2 000 ppm)
Toxicitet – giftig vätska <sup>38</sup>	186 mg/m <sup>3</sup> (35 ppm)

## C.3 Resultat

Modeller, indata, skadekriterier samt väder- och vindförhållanden används för att beräkna konsekvensen av ett utsläpp. Konsekvensen antas inträffa i det område där koncentrationen, trycket eller värmestrålningen överskrider ett visst gränsvärde för dödlighet. Gränsvärdet för dödlighet bestäms av den påverkan som bedöms orsaka en dödlighet på 50 % av en population. För att avgöra vid vilket avstånd detta inträffar översätts 50 % dödlighet med hjälp av s.k. probitfunktioner till en fysikalisk parameter (toxisk koncentration (LC<sub>50</sub>) eller kritisk värmestrålning).

Ytterligare en förenkling är nödvändig för att kunna genomföra beräkningarna. Det ansätts att inom området 100 till 50 % dödlighet omkommer alla människor och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Denna förenkling är nödvändig för att kunna ta fram de olika riskmått. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom riskområdet komma att överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt och följer principerna i CPQRA<sup>39</sup>. Ytterligare en nödvändig förenkling är att förutsätta att samtliga personer befinner sig oskyddade, i fri siktlinje med olycksplatsen. Då flertalet av variablerna beskrivs med sannolikhetsfördelningar i stället för punktvärden, utgör också resultatet statistiska fördelningar.

### C.3.1 Konsekvensområde, enbart skyddsavstånd

I Figur 18 visas konsekvensområdet i form av en statistisk fördelning när olyckans utbredning inte påverkas av någon säkerhetshöjande åtgärd.

<sup>33</sup> Strålningsnivåerna gäller oskyddad hud och någon skyddseffekt av kläder har inte tagits hänsyn till vid beräkning av skadekriterierna.

<sup>34</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

<sup>35</sup> Eldklotets varaktighet för explosion är ca 7 s och för BLEVE ca 11 s. För värmestrålning från pölbränder gäller en exponeringstid på 30 s. Beräkningar av kritisk strålning sker enligt metodik redovisas i "CPR 16E, *Methods for the determination of possible damage*. Committee for the prevention of disasters, The Netherlands, 1992".

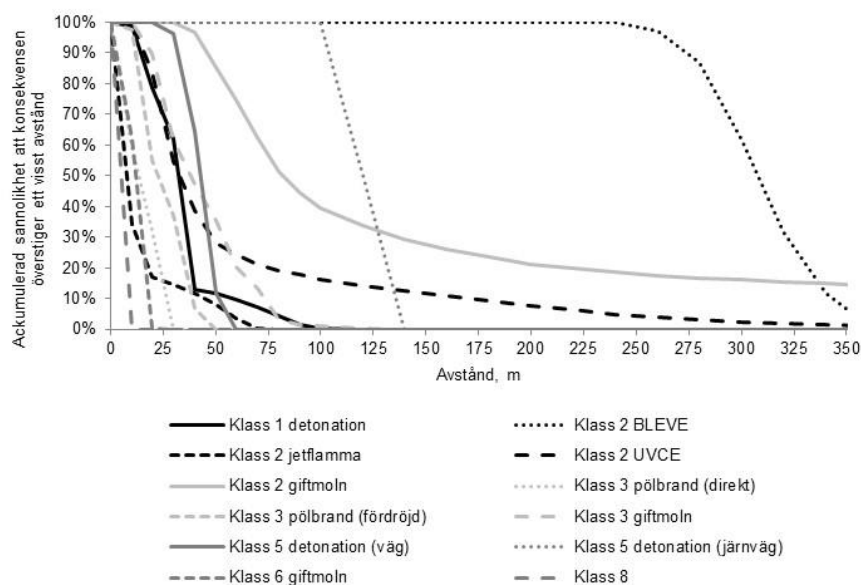
<sup>36</sup> Representeras av svaveldioxid, 30 min exponering.

<sup>37</sup> Representeras av propylenoxid, 30 min exponering.

<sup>38</sup> Representeras av dimetylsulfat, 30 min exponering (TEEL-3).

<sup>39</sup> CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.





**Figur 18. Konsekvensområde vid olycka med farligt gods. Figuren visar en fördelning av konsekvensområdet vid olyckor av en viss typ. Exempelvis ger en BLEVE alltid ett skadefall som överstiger 240 m och 10 % av olyckorna som orsakar en BLEVE når 340 m eller längre.**

Informationen i Figur 18 kan översättas till ett medelvärde för olyckan samt med ett konfidensintervall, inom vilket det är 95 % säkerhet att konsekvens inträffar. I Tabell 17 redovisas dessa värden.

**Tabell 17. Medelvärde, samt en bedömning av konfidensintervallets övre gräns för de olika olycksscenariernas utbredning.**

Scenario	Riskområde i meter	
	50 %	95 %
Klass 1 detonation → tryck	40	80
Klass 2 BLEVE → brännskada	300	330
Klass 2 jetflamma → brännskada	5	60
Klass 2 UVCE → brännskada	30	240
Klass 2 giftmoln → förgiftning	90	1000
Klass 3 pölbrand (direkt) → brännskada	10	30
Klass 3 pölbrand (fördröjd) → brännskada	20	40
Klass 3 giftmoln → förgiftning	40	90
Klass 5 detonation → tryck	30	50
Klass 6 giftmoln → förgiftning	5	10
Klass 8 → frätskada	5	10

Syftet med Tabell 17 är endast att beskriva spridningen i konsekvensens utbredning på ett tydligare sätt. Störst avvikelse från medelvärdet (50 %) har olyckor som medför spridning till luft (UVCE och giftmoln). Detta beror på att koncentrationen i en given punkt kan variera mycket beroende på källstyrka, vindhastighet och atmosfärsförhållanden. I riskanalysmodellen används sannolikhetsfördelningen för resp. scenario, vilken redovisas i Tabell 18. Notera att en sannolikhetsfördelning är en typ av histogram som visar hur stor andel av utfallen som hamnar i ett speciellt intervall. Sannolikhetsfördelningen indikerar variabelns minimi-, maximi- och medelvärde på ett tydligt sätt.

Tabell 18. Sannolikhetsfördelning för resp. olycksscenario.

Avstånd	Klass 1, detonation	Klass 2, BLEVE	Klass 2, jetflamma	Klass 2, UVCE	Klass 2, giftmoln	Klass 3, pölbrand (direkt)	Klass 3, pölbrand (fördröjd)	Klass 3, giftmoln	Klass 5, detonation	Klass 5, detonation (järnväg)	Klass 6, giftmoln	Klass 8, frätskada
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,4%	-
10	1,2%	-	65,7%	-	-	40,8%	2,4%	-	-	-	29,8%	100,0%
15	0,0%	-	8,2%	1,0%	-	10,0%	37,5%	0,2%	-	-	34,3%	-
20	20,0%	-	9,1%	7,3%	-	16,9%	5,1%	1,5%	-	-	27,2%	-
25	0,2%	-	1,3%	19,2%	-	24,7%	7,6%	6,3%	0,0%	-	0,3%	-
30	16,7%	-	1,1%	17,6%	-	7,6%	10,2%	4,8%	3,7%	-	-	-
35	32,2%	-	1,3%	9,0%	-	0,0%	15,1%	6,1%	10,6%	-	-	-
40	16,6%	-	1,5%	5,9%	-	-	15,1%	3,7%	21,4%	-	-	-
45	0,6%	-	1,7%	6,7%	0,0%	-	6,7%	3,8%	29,3%	-	-	-
50	0,9%	-	2,0%	4,2%	0,3%	-	0,2%	3,3%	23,3%	-	-	-
55	1,0%	-	2,2%	2,5%	1,5%	-	-	4,2%	11,1%	-	-	-
60	1,1%	-	2,5%	1,9%	1,2%	-	-	6,9%	0,5%	-	-	-
65	1,2%	-	2,2%	1,6%	2,0%	-	-	7,1%	-	-	-	-
70	1,3%	-	1,0%	1,5%	3,7%	-	-	6,9%	-	-	-	-
75	1,3%	-	0,3%	1,2%	3,4%	-	-	5,7%	-	-	-	-
80	1,5%	-	0,0%	0,9%	2,7%	-	-	4,6%	-	-	-	-
85	1,4%	-	-	0,8%	2,9%	-	-	2,9%	-	-	-	-
90	1,2%	-	-	0,7%	2,3%	-	-	1,8%	-	-	-	-
95	0,7%	-	-	0,7%	2,0%	-	-	1,7%	-	-	-	-
100	0,7%	-	-	0,5%	2,1%	-	-	1,7%	-	-	-	-
110	0,2%	-	-	1,1%	4,2%	-	-	3,1%	-	12,5%	-	-
120	-	-	-	1,0%	3,1%	-	-	3,0%	-	37,5%	-	-
130	-	-	-	0,9%	3,8%	-	-	2,5%	-	25,0%	-	-
140	-	-	-	0,8%	3,2%	-	-	2,1%	-	25,0%	-	-
150	-	-	-	0,7%	3,3%	-	-	2,4%	-	-	-	-
160	-	-	-	0,7%	2,9%	-	-	3,1%	-	-	-	-
170	-	-	-	0,7%	4,2%	-	-	3,3%	-	-	-	-
180	-	-	-	0,8%	4,2%	-	-	3,0%	-	-	-	-

Avstånd	Klass 1, detonation	Klass 2, BLEVE	Klass 2, jetflamma	Klass 2, UVCE	Klass 2, giftmoln	Klass 3, pölbrand (direkt)	Klass 3, pölbrand (fördröjd)	Klass 3, giftmoln	Klass 5, detonation	Klass 5, detonation (järnväg)	Klass 6, giftmoln	Klass 8, frätskada
190	-	-	-	0,8%	4,1%	-	-	2,6%	-	-	-	-
200	-	-	-	0,8%	3,9%	-	-	1,6%	-	-	-	-
220	-	-	-	1,6%	6,6%	-	-	0,4%	-	-	-	-
240	-	0,0%	-	1,3%	3,8%	-	-	-	-	-	-	-
260	-	3,0%	-	1,2%	1,7%	-	-	-	-	-	-	-
280	-	10,1%	-	0,9%	1,2%	-	-	-	-	-	-	-
300	-	25,4%	-	0,8%	1,0%	-	-	-	-	-	-	-
320	-	29,5%	-	0,6%	1,0%	-	-	-	-	-	-	-
340	-	20,1%	-	0,5%	0,9%	-	-	-	-	-	-	-
360	-	10,3%	-	0,5%	0,9%	-	-	-	-	-	-	-
380	-	1,5%	-	0,3%	0,9%	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	0,2%	0,9%	-	-	-	-	-	-	-



# Bilaga D – Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning

## D.1 Frekvens för urspårning

Alla urspårningar leder inte till negativa konsekvenser för omgivningen. Huruvida personer i omgivningen skadas eller ej beror på hur långt ifrån rälsen en vagn hamnar efter urspårning. I Tabell 20 visas fördelningen för avstånd från spår som vagnar förväntas hamna efter urspårning. Det viktade värdet bygger på uppgifter i bilaga C där godståg står för 5,5 % av urspårningarna.

Tabell 20. Avstånd från spår för urspårade vagnar (basprognosen)<sup>40</sup>.

Avstånd från spår	0-1 m	1-5 m	5-15 m	15-25 m	>25 m
Resandetåg	77,5%	18,0%	2,3%	2,2%	0,0%
Godståg	70,3%	19,8%	5,5%	2,2%	2,2%
Viktat värde	77,1%	18,1%	2,5%	2,2%	0,1%

Enligt Tabell 20 varierar sannolikheten för respektive konsekvensavstånd något beroende på vilken tågtyp som går på det aktuella spåret. En sammanvägning (viktning) av dessa sannolikheter används tillsammans med den totala urspårningsfrekvensen för både gods- och resandetåg (se bilaga C) för att beräkna riskbidraget från urspårande tåg.

## D.2 Konsekvenser av urspårning

I samband med urspårningar antas dödlig påverkan uppstå på alla människor som befinner sig inom det avstånd på vilket tåget hamnar. Riskerna för mekanisk påverkan på människor eller byggnader är oberoende av om det rör sig om persontåg eller godståg. Riskerna begränsas till området närmast banan, cirka 25–30 m, vilket är det avstånd som urspårade vagnar i de flesta fall hamnar inom.

---

<sup>40</sup> Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001

# Bilaga E – Risknivåer utmed transportleder för farligt gods

## E.1 Modell för beräkning av individrisk

### E.1.1 Beskrivning

Nedan följer en översiktlig beskrivning av den metodik som används för att kombinera frekvenser och konsekvenser till ett mått på individrisken.

#### *Olyckor med farligt gods*

Frekvenserna för resp. scenario finns angivna i bilaga C. Dessa frekvenser kombineras med sannolikhetsfördelningen för konsekvensens utbredning redovisad i bilaga D och sannolikheten att ett område påverkas från bilaga C. Beräkningsgången exemplifieras i avsnitt E.1.2 och E.1.3.

#### *Urspårningsolyckor*

För urspårningsolyckor används frekvensen för järnvägsolycka tillsammans med sannolikheten att ett område påverkas från bilaga C. Beräkningsgången är lika den som exemplifieras i avsnitt E.1.2 och E.1.3.

### E.1.2 Sannolikheten att en olycka når en viss punkt som en funktion av avståndet från transportleden

I bilaga C redovisas sannolikhetsfördelningar för resp. olycksscenario och samt en faktor för att korrigera olycksfrekvensen per km till den faktiska påverkan på ett visst avstånd från transportleden. Denna information kombineras genom korsvis multiplikation för att ta kunna ta fram en sannolikhetsfördelning som en funktion av avståndet från transportleden. Nedan visas ett exempel på beräkning avseende transport av explosivämnen i klass 1, Figur 19.

De två översta matriserna hämtas ur bilaga D och C. Den nedersta matrisen skapas genom att multiplicera de med varandra. För överblickbarhetens skull redovisas endast studerade avstånd 0–120 m. Naturligtvis sker den korsvisa multiplikationen för alla avstånd mellan 0 till 1000 m som redovisas i tabellerna. Slutligen summeras värdena i resp. kolumn i den resulterande matrisen, vilket redovisas i Tabell 21 nedan.

Avstånd	Klass 1, detonation	Olyckan när	Avstånd som studeras					Olyckan när	Avstånd som studeras				
			0	5	10	15	20		0	5	10	15	20
0	0,0%	0	0,01	-	-	-	-	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
5	1,2%	5	0,02	0,02	-	-	-	5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
10	0,0%	10	0,03	0,03	0,02	-	-	10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
15	20,0%	15	0,04	0,04	0,03	0,03	-	15	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
20	0,2%	20	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	20	0,8%	0,8%	0,7%	0,5%	0,0%
25	16,7%	25	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	25	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
30	32,2%	30	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	30	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	0,7%
35	16,6%	35	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	35	2,3%	2,2%	2,2%	2,0%	1,8%
40	0,6%	40	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	40	1,3%	1,3%	1,3%	1,2%	1,2%
45	0,9%	45	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	45	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
50	1,0%	50	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	50	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
55	1,1%	55	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	55	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
60	1,2%	60	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	60	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
65	1,3%	65	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	65	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
70	1,3%	70	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	70	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
75	1,5%	75	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	75	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
80	1,4%	80	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	80	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
85	1,2%	85	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	85	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
90	0,7%	90	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	90	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
95	0,7%	95	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	95	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
100	0,2%	100	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	100	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
110	0,0%	110	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	110	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
120	0,0%	120	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	120	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Figur 19. Exempel på beräkning av sannolikhetsfördelning avseende transport av explosivämnen i klass 1.

Tabell 21. Sannolikheten att en olycka på en sträcka av 1 km når ett visst avstånd från transportleden.

Avstånd	Klass 1, detonation	Klass 2, BLEVE	Klass 2, jetflamma	Klass 2, UVCE	Klass 2, giftmoln	Klass 3, pölbrand (direkt)	Klass 3, pölbrand (fördröjd)	Klass 3, giftmoln	Klass 5, detonation	Klass 5, detonation (järnväg)	Klass 6, giftmoln	Klass 8, frätskada
0	7,4%	63,6%	3,6%	13,2%	25,5%	3,5%	5,3%	16,6%	8,9%	25,2%	2,8%	2,0%
5	7,3%	63,6%	3,4%	13,2%	25,5%	3,3%	5,1%	16,6%	8,9%	25,2%	2,6%	1,7%
10	7,0%	63,6%	2,2%	12,9%	25,4%	2,4%	4,7%	16,5%	8,7%	25,2%	1,7%	0,0%
15	6,6%	63,5%	1,8%	12,6%	25,4%	1,8%	3,6%	16,2%	8,4%	25,1%	0,7%	0,0%
20	5,6%	63,5%	1,5%	11,9%	25,2%	1,1%	3,2%	15,9%	8,0%	24,9%	0,0%	0,0%
25	5,0%	63,4%	1,4%	10,8%	25,1%	0,3%	2,5%	15,3%	7,3%	24,7%	0,0%	0,0%
30	3,8%	63,3%	1,3%	9,9%	24,9%	0,0%	1,8%	14,7%	6,4%	24,5%	0,0%	0,0%
35	2,3%	63,2%	1,1%	9,3%	24,7%	0,0%	1,0%	14,1%	5,1%	24,3%	0,0%	0,0%
40	1,6%	63,1%	1,0%	8,8%	24,4%	0,0%	0,3%	13,5%	3,5%	23,9%	0,0%	0,0%
45	1,5%	63,0%	0,8%	8,3%	24,1%	0,0%	0,0%	12,9%	1,8%	23,6%	0,0%	0,0%
50	1,3%	62,7%	0,6%	8,0%	23,7%	0,0%	0,0%	12,2%	0,5%	23,2%	0,0%	0,0%
55	1,2%	62,7%	0,4%	7,7%	23,3%	0,0%	0,0%	11,5%	0,0%	22,7%	0,0%	0,0%
60	1,0%	62,5%	0,2%	7,5%	22,8%	0,0%	0,0%	10,6%	0,0%	22,2%	0,0%	0,0%
65	0,9%	62,3%	0,1%	7,2%	22,2%	0,0%	0,0%	9,8%	0,0%	21,6%	0,0%	0,0%
70	0,7%	62,0%	0,0%	7,0%	21,6%	0,0%	0,0%	9,0%	0,0%	21,0%	0,0%	0,0%
75	0,5%	61,8%	0,0%	6,8%	20,9%	0,0%	0,0%	8,3%	0,0%	20,3%	0,0%	0,0%
80	0,4%	61,6%	0,0%	6,7%	20,3%	0,0%	0,0%	7,7%	0,0%	19,5%	0,0%	0,0%
85	0,2%	61,3%	0,0%	6,5%	19,7%	0,0%	0,0%	7,3%	0,0%	18,6%	0,0%	0,0%
90	0,1%	61,0%	0,0%	6,3%	19,2%	0,0%	0,0%	6,9%	0,0%	17,6%	0,0%	0,0%
95	0,1%	60,7%	0,0%	6,2%	18,6%	0,0%	0,0%	6,5%	0,0%	16,5%	0,0%	0,0%
100	0,0%	60,4%	0,0%	6,0%	18,0%	0,0%	0,0%	6,2%	0,0%	15,2%	0,0%	0,0%
110	0,0%	59,7%	0,0%	5,7%	16,9%	0,0%	0,0%	5,4%	0,0%	11,4%	0,0%	0,0%
120	0,0%	58,9%	0,0%	5,4%	15,7%	0,0%	0,0%	4,7%	0,0%	6,1%	0,0%	0,0%
130	0,0%	58,0%	0,0%	5,1%	14,5%	0,0%	0,0%	4,0%	0,0%	2,6%	0,0%	0,0%
140	0,0%	57,1%	0,0%	4,8%	13,4%	0,0%	0,0%	3,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%





### E.1.3 Beräkning av individrisk

Individrisken beräknas med en upplösning om 5 m, dvs. beräknas var femte meter från väggkanten genom att multiplicera olycksfrekvensen för en olycka med en viss ADR/RID-klass med sannolikheten för att en olycka sker på en sträcka av 1 km när ett visst avstånd. För att ta fram den sammanlagda individrisken adderas slutligen individrisken för vart olycksscenario på alla studerade avstånd och ritas ut i ett individrisk-diagram (se avsnitt 5).

Nedan presenteras ett exempel på hur individriskberäkningar för ett enskilt scenario, *detonation av explosivt ämne i klass 1*, kan se ut givet att olycksfrekvensen för scenariot är  $2,2 \times 10^{-10}$  per kilometer och år. Denna frekvens multipliceras med sannolikheten för att konsekvensen från olyckan ska nå det studerade avståndet för att få fram individrisken i punkten från vart scenario.

Tabell 22. Beräkning av individrisk för transport av explosiva ämnen i RID-klass 1.

Avstånd, m	Sannolikhet att konsekvensen når ett visst avstånd vid olycka på en sträcka av 1 km	Järnväg
0	0,077	1,7E-11
10	0,074	1,7E-11
20	0,061	1,4E-11
30	0,044	9,9E-12
40	0,017	3,8E-12
50	0,014	3,1E-12
60	0,011	2,5E-12
70	0,008	1,8E-12
80	0,004	9,0E-13
90	0,002	4,5E-13
100	0,0003	6,7E-14

## E.2 Modell för beräkning av samhällsrisk

Beräkningar av samhällsrisk syftar till att försöka uppskatta skadeutfallet när en olycka väl inträffar. Skadeutfallet styrs av vilket scenario (se avsnitt 4.2) som inträffar samt hur många människor som befinner sig utomhus i anslutning till olyckan vid den aktuella tidpunkten. Samhällsriskberäkningarna kan inte göras med sådan precision att de visar på faktisk risk, utan de måste göras schablonmässigt utifrån ett antal givna förutsättningar.

### E.2.1 Indata

Modellen för beräkning av samhällsrisk är uppbyggd med en iterativ process där statistiska fördelningar används för att ta fram skadeutfallet för tänkbara olyckor. Modellen bygger på följande huvudsakliga indata.

#### Befolkningstäthet

Befolkningstätheten utmed transportleden karakteriseras med följande schablonvärde för Stadsbebyggelse – 5 000 invånare/km<sup>2</sup>.

När befolkningstätheten är känd krävs information om hur många människor som vistas utomhus under dagtid respektive på natten. En holländsk vägledning anger att 93 % befinner sig inomhus under dagtid och 99 % är inomhus på natten<sup>41</sup>. Dagtid antas råda mellan 08:00-18:30 och natt mellan 18:30-08:00. Dessa värden bedöms vara relevanta även för planområdet.

<sup>41</sup> TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

### Påverkansområde

Kännedom om olyckornas utbredning i form av statistiska fördelningar används för att bestämma hur stor yta som olyckan påverkar. De finns tre olika typer av påverkansområde:

- ◆ Cirkulär utbredning, t.ex. bränder och explosioner.
- ◆ Konformad utbredning, t.ex. utsläpp av giftig gas.
- ◆ Rektangulär utbredning vid urspårning.

Påverkansområdet ( $m^2$ ) vid cirkulär utbredning bestäms genom att använda olyckans utbredning som radie och därefter beräkna den yta ( $A = \Pi r^2$ ) som påverkas. Om det finns ett bebyggelsefritt område ska beräknat påverkansområde minskas med ytan som detta område upptar. Vid konformad utbredning beräknas konsekvensområdet på liknande sätt efter kännedom om spridningsvinkeln<sup>42</sup> ( $A = \varphi \Pi r^2$ ).

### E.2.2 Beräkning av samhällsrisk

Beräkningen av samhällsrisk sker med hjälp av statistisk simulering där värden slumpas fram från de fördelningar som representerar indata till modellen. Modellen består av ett antal "frågor", vilka besvaras med hjälp av de fördelningar som beskriver indata, se Tabell 23. En iteration består av att samtliga frågor i Tabell 23 besvaras.

Tabell 23. Modell för beräkning av samhällsrisk.

Fråga	Svarsalternativ	Kommentar
Vilken tidpunkt?	Dag Natt	Bestämmer hur många människor som är utomhus. Se bilaga F.
Vilket scenario?	Urspårning Klass 1 detonation Klass 2 BLEVE Klass 2 jetflamma Klass 2 UVCE Klass 2 giftmoln Klass 3 pölbrand (direkt) Klass 3 pölbrand (fördröjd) Klass 3 giftmoln Klass 5 detonation Klass 6 giftmoln Klass 8	Se bilaga C för information om frekvenser.
Riskområde?	0 - 1 000 m	Bestämmer hur långt från olycksplatsen som dödsfall kan inträffa. Information finns i bilaga D.
Påverkansområde?	Cirkulärt Konformat Rektangulärt	Avgör hur stor yta som påverkas av olyckan. Se bilaga F.

<sup>42</sup> Mer information om spridningsvinkeln ( $\varphi$ ) finns i bilaga C.

Efter en iteration finns således information om hur befolkningstätheten i anslutning till olyckan samt hur stort påverkansområde som olyckan har. Därmed är det möjligt att beräkna antalet omkomna med följande uttryck.

$$\text{Antal döda} = \text{Befolkningstäthet (pers / km}^2\text{)} \cdot \text{Påverkansområde (km}^2\text{)}$$

Antalet iterationer (upprepningar) är högt (1 000 000) för att säkerställa att alla möjliga kombinationer av olycksscenarioer, tidpunkter och olycksplacering kommer med i resultatet. För varje iteration sparas information om "antal döda" och när simuleringen är klar kan en statistisk fördelning för antalet döda tas fram. Denna fördelning används sedan tillsammans med frekvensen för olycka för att plotta en s.k. FN-kurva.

Notera att varje gång som påverkansområdet antar ett positivt värde, dvs. då riskområdet är större än det bebyggelsefria avståndet antas att minst 1 människa omkommer. Konsekvensen (antal döda) avrundas alltid uppåt till närmsta heltal. Detta ger en viss överskattning av samhällsrisk för  $N = 1$ , men samtidigt finns det inget enkelt sätt att avgöra om det finns minst en människa i påverkansområdet. Därför måste det förutsättas att så är fallet.

Samtliga personer som vistas utomhus inom påverkansområdet antas omkomma. För personer som befinner sig inomhus omkommer en viss andel av personerna. I Tabell 24 redovisas de bedömningar som använts för att uppskatta andelen omkomna inomhus<sup>43,44</sup>.

**Tabell 24. Andel av personer inomhus som omkommer vid viss skadeverkan.**

Skadeverkan	Andel inomhus som omkommer
Urspårning	50 %
Tryckskada	50 %
Brännskada (pölbrand)	0 %
Brännskada (övrigt)	5 %
Förgiftning	10 %
Frätskada	0 %

Samhällsriskberäkningar utförs för samtliga vägar och järnvägar utan hänsyn till andra säkerhetshöjande åtgärder än själva skyddsavståndet. För vissa transportleder där samhällsrisk i grundfallet ligger i området där risker inte kan beaktas som små görs kompletterande samhällsriskberäkningar för att undersöka effekten av ytterligare säkerhetshöjande åtgärder.

---

<sup>43</sup> TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

<sup>44</sup> Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilagor 1-5. 1997.

# Bilaga F – Känslighetsanalys

Riskanalysen utförs med en analysteknik som bygger på en omfattande och detaljerad hantering av den variation och osäkerhet som kan förknippas med riskbedömningar. Metodiken följer det arbetssätt som använts för underlaget till Länsstyrelsens i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM)<sup>45</sup> och i de fall där specifika indata saknas har värden, fördelningar och annan betydelsefull information hämtats från RIKTSAM.

## F.1 Olycksfrekvenser

### F.1.1 Trafikeringsalternativ

Riskbedömningen utgår från basprognosen för år 2040. Basprognosen är den trafikering som Trafikverket utgår från i bl.a. kapacitetsbedömningar. Någon ytterligare ökning bedöms inte vara motiverad.

## F.2 Konsekvenser av olyckor med farligt gods

### F.2.1 Beräkningsmodeller

Modellerna som används för att beräkna konsekvenser av olyckor bygger i huvudsak på information som finns tillgänglig i den s.k. FOA-handboken<sup>46</sup>. I stort är det samma modeller som Länsstyrelsen i Skåne läns "RIKTSAM"<sup>47</sup> bygger på, med undantag av vissa förbättringar. Bl.a. modelleras utsläpp av giftiga gaser med både jet- och tunggassteg, vilket RIKTSAM inte gör. Detta ger mer realistiska (och längre) konsekvensområden i föreliggande riskanalys.

### F.2.2 Indata

Val av indata har stor betydelse för konsekvensberäkningarna och i många fall är indata förknippade med stor variation eller osäkerhet. Indata där variationen spelar roll är exempelvis väder- och vindförhållanden och indata som är förknippad med stor osäkerhet är t.ex. hålstorlek vid utsläpp.

#### *Väder- och vindförhållanden*

Väder- och vindförhållanden baseras på generisk statistik för Sverige. Statistiken gör det möjligt att ta fram diskreta sannolikhetsfördelningar för atmosfärens stabilitet och kontinuerliga fördelningar för vindhastigheten för resp. stabilitetsklass.

---

<sup>45</sup> Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

<sup>46</sup> Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker.* Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.

<sup>47</sup> Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

### Generella indata och ämnesspecifika uppgifter

Exempel på generella indata är flödeskoefficienter och höjd på vätskepelare (i tanken), samt de hålstorlekar som kan uppkomma vid en olycka. Hålstorlekarna är de samma som i RIKTSAM, med sannolikheter från VTI<sup>48</sup>:

- ♦ Litet hål (62,5 %), 10 mm diameter, 1 kg/s.
- ♦ Medelstort hål (20,8 %), 30 mm diameter, 12 kg/s.
- ♦ Stort hål (16,7 %), 110 mm diameter, 160 kg/s.

Dessa hålstorlekar är betydligt större än de som redovisas av Räddningsverket<sup>49</sup> där håldiametrar på 3, 9 resp. 31 mm används, vilket ger källstyrkor på 0,1–20 kg/s. En brittisk studie<sup>50</sup> använder 2 resp. 35 kg/s i sina beräkningar.

### Skadekriterier

Risken analysen berör skador på människor och använder olika skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck. Konsekvensområdet bestäms av avståndet från utsläppskällan till en punkt där en dödlighet på 50 % inträffar. En förenkling som görs i enlighet med metodik redovisad i CPQRA<sup>51</sup> är att anta att alla människor omkommer inom området 100 till 50 % dödlighet och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom konsekvensområdet överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt.

Den exponering som ger 50 % dödlighet kallas även för LC<sub>50</sub>-värde. LC<sub>50</sub>-värdet kan bestämmas med kännedom om exponering och tid. CPR 18E<sup>52</sup> har använts som inspiration för de exponeringstider som används, vilka är 30 min för giftig gas och 30 s för brännskada.

## F.2.3 Beräkningsresultat

Eftersom flertalet av variablerna beskrivs med sannolikhetsfördelningar i stället för punktvärden, utgör också resultatet statistiska fördelningar, vilka kan redovisas med medelvärde, standardavvikelse och ett konfidensintervall.

Tabell 25 Medelvärde och konfidensintervall för konsekvensberäkningarna.

Scenario	Medel	5 %	95 %
Klass 1 detonation → tryck	35 m	20 m	77 m
Klass 2 BLEVE → brännskada	308 m	268 m	352 m
Klass 2 jetflamma → brännskada <sup>53</sup>	15 m	6 m	57 m
Klass 2 UVCE → brännskada	63 m	17 m	240 m
Klass 2 giftmoln → förgiftning	187 m	42 m	800 m
Klass 3 pölbrand (direkt) → brännskada	15 m	7 m	26 m

<sup>48</sup> Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, rapport nr 387:4, 1994.

<sup>49</sup> Räddningsverket, *Farligt gods – riskbedömning vid transport*, 1996.

<sup>50</sup> HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

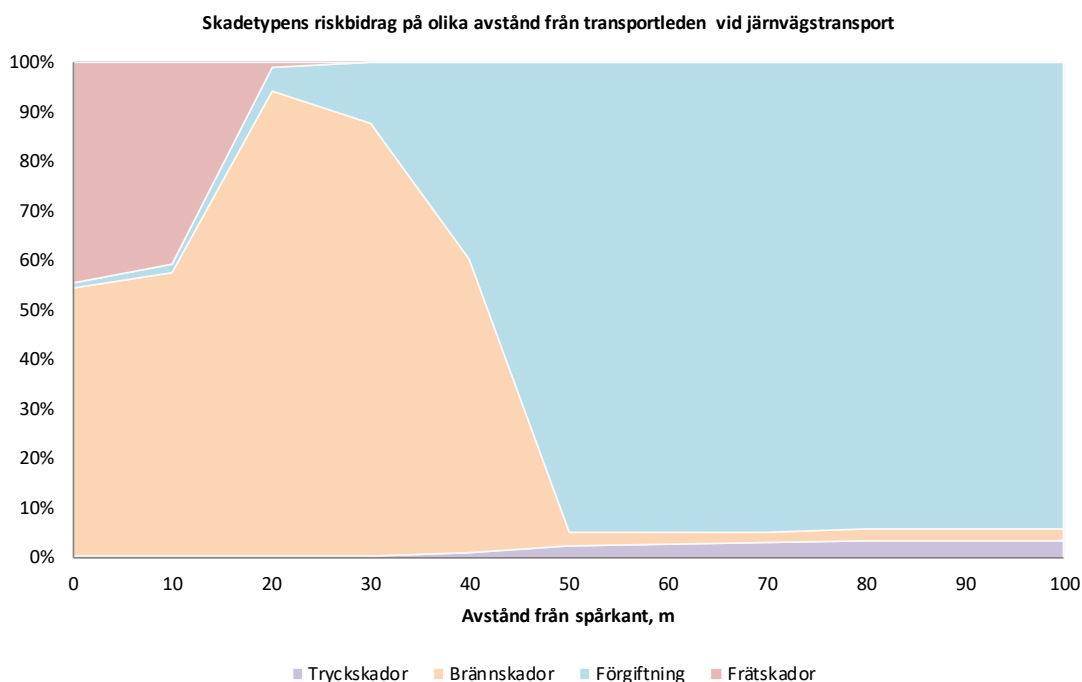
<sup>51</sup> Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.

<sup>52</sup> TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

<sup>53</sup> Notera att nivåskillnaden mellan väg E 22 och planområdet gör att konsekvenserna av en jetflamma inte kan påverka intilliggande bebyggelse.

Klass 3 pölbrand (fördröjd) → brännskada	24 m	10 m	41 m
Klass 3 giftmoln → förgiftning	42 m	15 m	77 m
Klass 5 detonation → tryck	42 m	31 m	52 m
Klass 6 giftmoln → förgiftning	12 m	5 m	18 m
Klass 8 → frätskada	10 m	10 m	10 m

Tabellen ovan visar att några av scenarier har ett relativt stort konfidensintervall där 95 %-värdet avviker stort från medelvärdet. För att kunna göra ett urval av de variabler som har störst betydelse för beräknat konsekvensområde studeras resp. olycksscenarios betydelse för risknivån, se Figur 20.



**Figur 20. Olycksscenariots betydelse för risknivån. Figuren inkluderar inte risker med urspårning.**

Figur 20 visar att det i huvudsak är två scenarier som bestämmer individriskens värde i det studerade avståndsintervallet (upp till 40 m). Dessa är brännskador till följd av utsläpp av brandfarlig vätska samt förgiftning till följd av utsläpp av giftig vätska eller gas. Således är det osäkerheter förknippade med dessa olyckor som är av störst betydelse för fortsatt analys.

Konsekvensområdet för pölbränder bestäms i huvudsak av antagen hålstorlek och till viss del av antagen strålningsandel. Hålstorleken har drygt 5 ggr så stor påverkan på resultatet i jämförelse med strålningsandelen.

Det är tre variabler som har störst betydelse för konsekvensområdet för gasutsläpp som driver iväg med vinden – hålstorleken, vindhastigheten och stabilitetsklassen. Variablernas inbördes betydelse är 6,5 - 1,6 - 1, vilket innebär att det är hålstorleken som dominerar konsekvensområdets storlek. Kunskapsunderlaget för val av källstyrkor är sparsamt, men valda värden är konservativa i förhållande till andra modeller och riktlinjer.

### F.3 Slutsatser

De variabler som påverkar riskbedömningen mest är utsläppets källstyrka (hålstorlek), vindhastighet och atmosfärens stabilitet. De två sistnämnda variablerna har bestämts med hjälp av generell väderstatistik och bedöms vara robusta i sammanhanget. Källstyrkan bygger på antaganden med ett

relativt begränsat kunskapsunderlag. I föreliggande riskanalys används dock källstyrkor som klart överstiger värden som går att finna i andra vägledningar och rekommendationer. Rekommendationerna i rapporten bedöms vara tillräckligt robusta inte nödvändiga att justera.

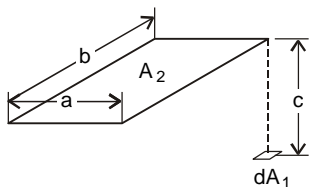


# Bilaga G – Säkerhetshöjande åtgärder

## G.1 Skydd mot brandspridning

En pölbrand uppkommer vid utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor. Strålningsvärmen från dessa bränder är intensiv samtidigt som den avtar exponentiellt med avståndet. Strålningsnivån ska understiga det värde på 14 kW/m<sup>2</sup> som ger upphov till 2:a gradens brännskador resp. det värde på 15 kW/m<sup>2</sup> som ger brandspridning till byggnader<sup>54</sup>.

För att kunna bedöma på vilket avstånd som det finns risk för brandspridning görs beräkningar av värmestrålning för en dimensionerande pölbrand<sup>55</sup> på 200 m<sup>2</sup>, vilket ger en flamma som är 21 m hög och 16 m bred. Utgående strålning från branden är 43 kW/m<sup>2</sup> och för att brandspridning/brännskador inte ska ske måste synfaktorn understiga 0,33. Synfaktorn understiger detta värde på ca 15 m avstånd från branden. Beräkningarna redovisas nedan och gäller för motstående ytor (fasader parallella med spårområdet). Notera att avståndet (c) är det som söks för att synfaktorn (F<sub>d1-2</sub>) inte ska överstiga 0,33.



$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \tan^{-1} \left( \frac{b}{\sqrt{a^2 + c^2}} \right) + \frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}} \tan^{-1} \left( \frac{a}{\sqrt{b^2 + c^2}} \right) \right]$$

$$a/2 = 8 \text{ m}$$

$$b/2 = 10,5 \text{ m}$$

$$c = 15 \text{ m}$$

$$4 \times F_{d1-2} = 4 \times 0,079 = 0,32$$

Beräkningarna ovan visar att ett skyddsavstånd på 15 m är tillräckligt för att undvika brandspridning och brännskador. Men, då avståndet ska mätas från pölens närmsta kant mot byggnaden uppstår några osäkerheter. Det är rimligt att anta att pölen breder ut sig mot planområdet och dess diameter är i storleksordningen 10 till 20 m. Om byggnader inom 30 m från transportleden skyddas mot brandspridning fås ett skydd som är tillfredsställande i de allra flest fall. Avståndet kan kortas till 20 m om det finns en vall el. dyl.

## G.2 Högt placerade luftintag

Många av de giftiga gaser som transporteras på väg och järnväg är s.k. tunga gaser, vilket betyder att de har högre densitet än den omgivande luften och sprider ut sig längs marknivån. Efterhand som att gasmolnet blandas upp med luft minskar densiteten och till slut är densitetsskillnaden mellan omgivande luft och molnet försumbar. I avsnitt C.1.4 beskrivs flödesschemat för spridning i luft. Det s.k. tunggassteget har i 90 % av fallen en räckvidd på mindre än 200 m, vilket medför att en säkerhetshöjande åtgärd som högt placerade luftintag i teorin kan vara effektiv för att minska hur mycket gas som kommer in i en byggnad.

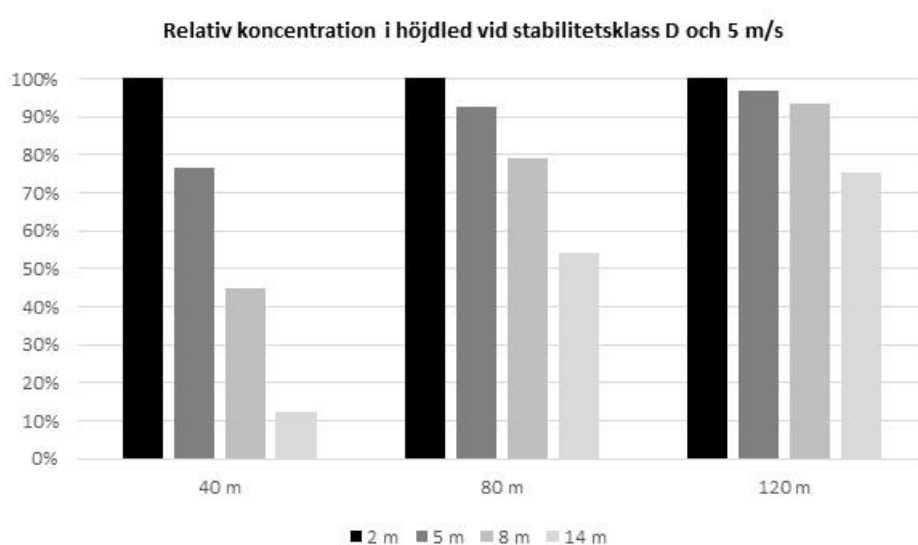
Med hjälp av modellen "Spridning Luft", version 1.4.3 tillgänglig via programpaketet RIB som ges ut av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, undersöks hur koncentrationen varierar i höjdlängd på

<sup>54</sup> Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader, BBRAD3, BFS 2011:27 med ändringar t.o.m. 2013:12.

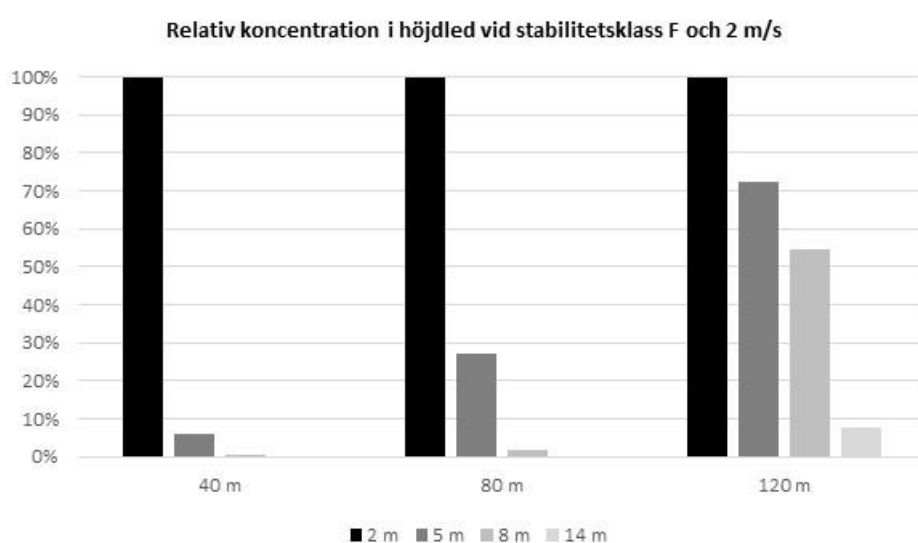
<sup>55</sup> Brandens yta på 200 m<sup>2</sup> motsvarar ytan som ett stort läckage av en hel tank, ca 20 m<sup>3</sup>, resulterar i. Kolväten brinner med en förbränningshastighet på 0,1 kg/m<sup>2</sup>s, vilket ger en effektutveckling på ca 370 MW för en pöl på 200 m<sup>2</sup>.

tre avstånd (40, 80 samt 120 m från utsläppspunkten). Tre olika höjder studeras (2 m, 8 m och 14 m ovan mark), vilka är representativa för byggnader med varierande våningsantal. Beräkningarna utförs för stabilitetsklass D och en vindhastighet på 5 m/s samt för stabilitetsklass F och en vindhastighet på 2 m/s. Gasen utgörs av svaveldioxid och källstyrkan 4,0 kg/s motsvarar ett rörbrott.

Resultatet redovisas i Figur 21 och Figur 22 där koncentrationen 2 m ovan mark utgör ett referensfall och det värde som övriga resultat normeras mot. Ett värde större än 100 % innebär att koncentrationen på den studerade höjden är högre än den för referensfallet och ett värde på mindre än 100 % innebär att koncentrationen är lägre än referensfallet.



**Figur 21. Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass D och 5 m/s.**



**Figur 22. Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass F och 2 m/s.**

Båda figurerna visar att högt placerade luftintag skulle ge en påtaglig minskning av koncentrationen inomhus vid ett utsläpp med giftig gas. Effekten blir större ju närmre utsläppspunkten som byggnaden är placerad och ju högre luftintaget är placerat. Men, det är framförallt aktuella väder- och vindförhållanden som styr. Vid stabil skiktning så trycks gasmolnet ner mot marken av den ovanliggande luften, vilket ger mindre utblandning i höjdlid. För detta fall har luftintagets placering mycket stor betydelse inom hela riskhanteringsområdet. Sammanfattningsvis ger en placering av luftintag på ca 8 m höjd ovan mark möjlighet till en påtaglig riskminskning.