

## BILAGA C – KONSEKVENSBERÄKNINGAR

De riskmått som används i denna riskbedömning är individrisk och samhällsrisk. Indata till beräkningar är bl.a. avståndet inom vilka personer antas omkomma, med avseende på respektive skadescenario.

Alla konsekvensavstånd för olyckor med farligt gods har beräknats utifrån att olyckan inträffar på spåret, från vilket alla konsekvensavstånd sedan uppskattas. Vid beräkning av mekanisk skada orsakad av urspårning har dock de urspårande vagnarnas avstånd från spåret beaktats.

### C.1 Mekanisk skada vid urspårning

I samband med urspårningar antas dödlig påverkan uppstå på alla människor som befinner sig inom det avstånd på vilket tåget hamnar.

### C.2 Bedömda konsekvensområden för olyckor med farligt gods

Eftersom egenskaperna hos ämnena i de olika farligt gods-klasserna skiljer sig mycket från varandra har olika metoder använts för att uppskatta konsekvenserna för de scenarier som beskrivs i Bilaga B. Litteraturstudier, simuleringsprogram och handberäkningar är exempel på olika metoder som har använts. Följande kriterier för bedömning av konsekvensområde där personer antas omkomma har använts:

- Explosion: Gränsen för direkt dödliga skador går vid 180 kPa tryck<sup>1</sup>.
- Giftig gas: Gränsvärde för dödliga skador (LC<sub>50</sub>) för klor är 250 ppm<sup>1</sup>.
- Värmestrålning: Nivåer över 15 kW/m<sup>2</sup> orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering<sup>2</sup>.

#### C.2.1 RID-klass 1 – Explosiva ämnen

Gränsen för direkt dödliga skador går vid 180 kPa tryck. Vid en explosion av 15-25 ton explosiva ämnen kan detta tryck uppnås 60 meter från olycksplatsen. Samtliga personer som vistas utomhus bedöms då omkomma. Denna typ av olycka bedöms även leda till att människor inne i byggnader omkommer. En modern byggnad utförd i betong med sammanhållen stomme klarar av ett tryck på ca 40 kPa. Vid en explosion av 25 ton explosiva ämnen kan detta tryck uppnås på en fasad, som vetter mot en olycksplats, 250 meter bort och för övriga fasader 150 meter bort. Det senare värdet kan oftast användas för att avgränsa det område där byggnader kan rasa, eftersom explosionen inträffar i en punkt som endast är riktad vinkelrätt mot en liten del av fasaden. En olycka med en liten mängd explosiva ämnen i lasten, exempelvis 50-100 kg ammunition, antas endast kunna orsaka en lokal skada, konsekvensområde < 25 meter<sup>3</sup>.

#### C.2.2 RID-klass 2 – Gaser

Gaser indelas i brännbara och giftiga gaser med möjliga konsekvenser enligt nedan.

### Brännbar gas

Konservativt antas att det är tryckkondenserad gasol i samtliga vagnar, eftersom gasol har en låg brännbarhetsgräns, vilket antas medföra att antändning kommer att kunna inträffa på ett längre avstånd från olycksplatsen. Den maximala mängden gas i en järnvägsvagn antas till ca 40 ton<sup>4</sup>.

Utsläppsstorlekarna (för jetflamma och gasmoln) benämns: punktering (hålstorlek 20 mm) och stort hål (hålstorlek 100 mm). För respektive utsläppsstorlek beräknas, med simuleringsprogrammet *Gasof*, dels eventuell jetflammas längd vid omedelbar antändning och dels det brännbara gasmolnets volym samt området som påverkas vid en BLEVE. För jetflamma och brinnande gasmoln varierar skadeområdet med läckagestorlek, direkt alternativt fördröjd antändning samt vindhastighet. Beroende på om läckage inträffar i tanken i gasfas, i gasfas nära vätskefas eller i vätskefas kan utsläppets storlek och konsekvensområde variera. De värsta konsekvenserna bedöms uppstå om utsläppet sker nära vätskeytan och därför antas konservativt att detta är fallet.

De indata som använts i Gasol för att simulera konsekvensområden för jetflamma och gasmoln presenteras nedan:

- Lagringstemperatur: 15°C
- Lagringstryck: 7 bar övertryck
- Utströmmingskoefficient (Cd): 0,83 (Rektangulärt hål med kanterna fläktade utåt)
- Tankdiameter: 2,5 m (jvg)
- Tanklängd: 19 m (jvg)
- Tankfyllnadsgrad: 80 %
- Tankens vikt tom: 50 000 kg
- Designtryck: 15 bar övertryck
- Bristningstryck: 4\*designtrycket
- Luftryck: 760 mmHg
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Relativ fuktighet: 50 %
- Molnighet: Dag och klart
- Omgivning: Tätortsförhållanden

I Tabell C1 visas de avstånd inom vilka personer antas omkomma, för respektive scenario vid olika typer av utsläpp. För jetflamma och brinnande gasmoln blir inte skadeområdet cirkulärt, runt olycksplatsen utan mer plymformat. För brinnande gasmoln antas det att gasmolnet antänds då det fortfarande befinner sig vid tanken och inte har hunnit spädas ut ytterligare. Det brännbara molnets volym bedöms där vara som störst. Det skadedrabbade området, med avseende på brinnande gasmoln, uppskattas vara molnets storlek plus avståndet där tredje gradens brännskada kan uppnås från gasmolnsfronten.

**Tabell C1. Konsekvensavstånd där personer förväntas omkomma, för olika scenarier vid farligt gods-olycka med brännbar gas i lasten.**

Scenario	Läckagestorlek	Antändning	Konsekvensavstånd (m)
BLEVE	-	-	Cirkulärt 200 m radie
Hål i tank nära vätskeyta	Punktering (2,4 kg/s)	Jetflamma	18
		Gasmoln	18
	Stort hål (60 kg/s)	Jetflamma	91
		Gasmoln	21

En BLEVE inträffar inte plötsligt. En tank måste värmas under en längre tid för att BLEVE ska kunna inträffa. Med anledning av detta antas trefjärdedelar av de personer som befinner sig på området under dagtid att ha evakuerats innan en BLEVE inträffar. Nattetid är det svårare att evakuera personer. Nattetid antas endast hälften av personerna i området ha evakuerat innan en BLEVE inträffar.

### Giftig gas

Den icke brännbara men giftiga gasen antas vara klor, som är en av de giftigaste gaserna som transporteras på järnväg i Sverige. Antagande om klor är ett konservativt antagande, jämfört med exempelvis ammoniak eller svaveldioxid. Med simuleringsprogrammet *Spridning luft*<sup>6</sup> beräknas storleken på det område där koncentrationen klor antas vara dödlig (inomhus och utomhus). Mängden i en järnvägsvagn antas till 65 ton<sup>6</sup>. Utsläppsstorlekarna uppskattas till litet läckage (punktering 0,45 kg/s) och stort läckage (stort hål 112 kg/s)<sup>6</sup>.

Gasens spridning beror bland annat på vindstyrka och bebyggelse. *Spridning luft* visar spridningskurvor och uppskattningar av hur stor andel av befolkningen inom området som förväntas omkomma. Denna andel avtar med avståndet både i längd med och vinkelrätt mot gasmolnets riktning, se Tabell C2 nedan.

De indata som använts i *Spridning luft* för att simulera konsekvensområden för utsläpp av giftig gas presenteras nedan. Vindstyrkan kommer att varieras från 3-8 m/s och simuleringar kommer att göras med olika stora utsläppsmängder, men i övrigt hålls faktorerna konstanta:

- Kemikalie: Klor
- Emballage: Järnvägsvagn (65 000 kg)
- Bebyggelse: Bebyggt
- Lagringstemperatur: 15°C
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Molnighet: Vår, dag och klart

**Tabell C2. Konsekvensavstånd där personer förväntas omkomma, för olika scenarier vid farligt godsolycka med giftig gas i lasten.**

Scenario	Vindstyrka (m/s)	Konsekvensavstånd utomhus (m)
Punktering (0,45 kg/s)	3	38
	8	34
Stort hål (112 kg/s)	3	755
	8	880

Gällande personer som befinner sig inomhus kommer konsekvenserna att bli lindrigare än för de som befinner sig utomhus. Detta på grund av att koncentrationerna av giftig gas ofta inte når upp till lika höga nivåer inomhus. Utomhusluften strömmar in i en byggnad genom ventilationssystemet relativt långsamt då gasmolnet passerar byggnaden. Det anges att skyddsfaktorn som uppstår då man befinner sig inomhus kan vara mellan en faktor 2 och 10<sup>7</sup>, jämfört med utomhus. Med anledning av detta antas endast ¼ av personerna som befinner sig inomhus omkomma. Konservativt antas 90 % av personerna på området vara inomhus nattetid och 50 % av personerna antas vara inomhus under dagtid.

### C.2.3 RID-klass 3 – Brandfarliga vätskor

För brandfarliga vätskor gäller att skadliga konsekvenser kan uppstå först när vätskan läcker ut och antänds. Det avstånd, inom vilket personer förväntas omkomma direkt alternativt som följd av brandspridning till byggnader, antas vara fram till där värmestrålningsnivån överstiger 15 kW/m<sup>2</sup>. Detta är den strålningsnivå som orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering (cirka 2-3 sekunder) samt den strålningsnivå som bör understigas i minst 30 minuter utan att särskilda åtgärder vidtas i form av brandklassad fasad.

Vid beräkning av konsekvensen av en farligt gods-olycka med brandfarlig vätska antas tanken rymma bensin. Detta antas vara jämförbart med den stora mängd flygbränsle som transporteras på sträckan. Uppskattningsvis rymmer en järnvägsstank ca 45 ton bensin. Vanligtvis är tankar dock uppdelade i mindre fack och därför är sannolikheten för att all bensin läcker ut mycket liten. Beroende på utsläppsstorleken antas olika stora pölar med brandfarlig vätska bildas vilket leder till olika mängder värmestrålning. Ett stort läckage antas bilda en 400 m<sup>2</sup> pöl medan en punktering grovt antas bilda en 100 m<sup>2</sup> pöl.

Strålningsberäkningarna har genomförts med hjälp av handberäkningar. Använda formler och samband är etablerade och har använts under många år vid bedömning av olika typer av brandförlopp<sup>8</sup>.

I Tabell C3 redovisas skadeområden inom vilka personer kan omkomma vid olika pölareor. Eftersom strålningsberäkningarna utgår från pölens kant är det viktigt att även räkna med pölradien för att få det aktuella avståndet med utgångspunkt från olycksplatsen eftersom den brandfarliga vätskan kan spridas över ett relativt stort område beroende på topografi med eventuella diken osv. I detta fall antas konservativt att pölen breddas ut cirkulärt med centrum vid olycksplatsen på spåret.

**Tabell C3. Skadedrabbat område, inom vilket personer förväntas omkomma, för olika scenarier vid farligt godsolycka med brandfarlig vätska i lasten.**

Scenario	Pölradie	Avstånd från pölkant till kritisk strålningsnivå	Konsekvensområde
Liten pölbrand bensin (100 m <sup>2</sup> )	5,6 m	16,5 m	22 m
Stor pölbrand bensin (400 m <sup>2</sup> )	11 m	29 m	40 m

### C.2.4 RID-klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

Vid olycka med oxiderande ämne antas personer omkomma endast om det oxiderande ämnet kommer i kontakt med organiskt material och ger upphov till förbränning. Förbränning antas leda till explosionsartade förlopp med 3 ton explosiv blandning. En explosiv oxidator-bränsleblandning på 3 ton bedöms ge konsekvensavstånd ca 70 meter från olycksplatsen för byggnader.

### C.3 Personantal

Berörda kommuner har persontätheter enligt Tabell C4 nedan.

**Tabell C4. Persontätheter för respektive kommun.**

Personer/km <sup>2</sup>	Nuläge	2030
Kommun		
Sundbyberg	4500	5900
Stockholm	4300	5600

### C.4 Bedömning av antal omkomna

Vid bedömningen av antal omkomna har personantalet enligt avsnitt C.3 använts, tillsammans med konsekvensavstånden för de olika farligt gods-olyckorna enligt avsnitt C.2. I samhällsriskberäkningen har inga personer antagits omkomma vid scenarier med konsekvensområden upp till 5 meter från järnväg.

### Referenser Bilaga C

<sup>1</sup> FOA. Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – Metod för bedömning av risk, FOA, 1997

<sup>2</sup> Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg, VTI-rapport 387:4, Väg- och transportforskningsinstitutet, 1994.

<sup>3</sup> Översiktplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, bilagor 1-5, Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, 1997.

<sup>4</sup> Åtgärder vid olycka under gasoltransporter, Svenska gasföreningen, 2004-04-20.

<sup>5</sup> Dataprogrammet Gasol, LTH Brandteknik

<sup>6</sup> Spridning luft, Simulering av kemikalieutsläpp, version 1.1.0.19887, en del av Räddningsverkets informationsbank, RIB, Statens räddningsverk.

<sup>7</sup> Fischer m.fl. (1997). Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – Metoder för bedömning av risker. Tumba: Försvarets forskningsanstalt, Avdelningen för vapen och skydd.

<sup>8</sup> Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005.