

RISKANALYS

Trädgårdsstaden i Bro

BILAGA B

KONSEKVENSBERÄKNINGAR

B.1 INLEDNING

I denna bilaga beräknas konsekvenserna av de olycksrisker (skadescenarier) som bedömts kunna påverka risknivån för ny bebyggelse inom planområdet Trädgårdsstaden.

Beräkningarna beaktar följande olycksrisker, vilka alla förknippas med den angränsande Mälarbanan:

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

Konsekvenserna för skadescenarierna beräknas alternativt bedöms med simuleringsprogram, handberäkningar samt litteraturstudier.

I denna riskanalys används riskmåten *individrisk* och *samhällsrisk*. För att kunna sammanställa individrisken krävs konsekvensberäkningar som redovisar det avstånd från riskkällan inom vilket personer kan omkomma till följd av respektive olycksrisk. För att kunna sammanställa samhällsrisknivån krävs beräkningar/bedömningar av antalet omkomna till följd av respektive olycksrisk.

Beräkningarna har delats in så att först redovisas beräkningarna avseende skadeavstånd och skadeområden för respektive olycksrisk (avsnitt B.2). Därefter redovisas resultatet från beräkningarna av det uppskattade antalet omkomna till följd av respektive olycksrisk (avsnitt B.3).

B.2 BERÄKNINGAR SKADEAVSTÅND/-OMRÅDEN

B.2.1 Klass 1. Explosiva ämnen

Enligt bilaga A begränsas den detaljerade riskanalysen till att studera explosion med ämnen ur riskgrupp 1.1 då det endast bedöms vara dessa olycksrisker som kan påverka personsäkerheten inom utredningsområdet.

Konsekvensberäkningarna kommer att omfatta fyra olika skadescenarier utifrån den uppdelning som redovisas i bilaga A:

- 700 kg (transporter med < 700 kg)
- 2000 kg (transporter med 700-2 000 kg)
- 4000 kg (transporter med 2000-4000 kg)
- 25000 kg (transporter vid >4000 kg)

B.2.1.1 Bedömningskriterier

Vid en explosion i det fria kan personer omkomma antingen direkt av explosionens tryckuppbyggnad eller p.g.a. att de befinner sig i en byggnad som rasar.

En människa tål tryck relativt bra och riskerar i huvudsak att förolyckas p.g.a. kringflygande föremål eller att de trillar omkull av tryckvågen. Med avseende på tryck så går dock gränsen för dödliga skador vid /1/:

- | | | | |
|----------------|---------|----------------|---------|
| • 1 % omkomna | 180 kPa | • 90 % omkomna | 300 kPa |
| • 10 % omkomna | 210 kPa | • 99 % omkomna | 350 kPa |
| • 50 % omkomna | 260 kPa | | |

En byggnad klarar tryck sämre än en människa och byggnader kan vid en omfattande explosion raseras inom ett mycket stort område till följd av att de bärande konstruktionerna slås ut. Risken för att byggnadsdelar eller hela byggnader rasar till följd av en explosion beror på huruvida explosionens maximala övertryck (P_+) och impulstäthet (I_+) överstiger en byggnadsdels karaktäristiska tryck (P_C) och impuls (I_C). För att byggnadsdelen ej ska rasa så ska följande ekvation uppfyllas /1/:

$$\text{Ekvation B.1.} \quad I_C / I_+ + P_C / P_+ \geq 1$$

I tabell B.1 anges karaktäristiska tryck (P_C) respektive impulstäthet (I_C) för olika byggnadsdelar beroende på byggnadsstrategi och bärighet /1/.

/1/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker, FOA, September 1997

Tabell B.1. Karakteristiska tryck (P_C) respektive impuls (I_C) för olika byggnadsdelar.

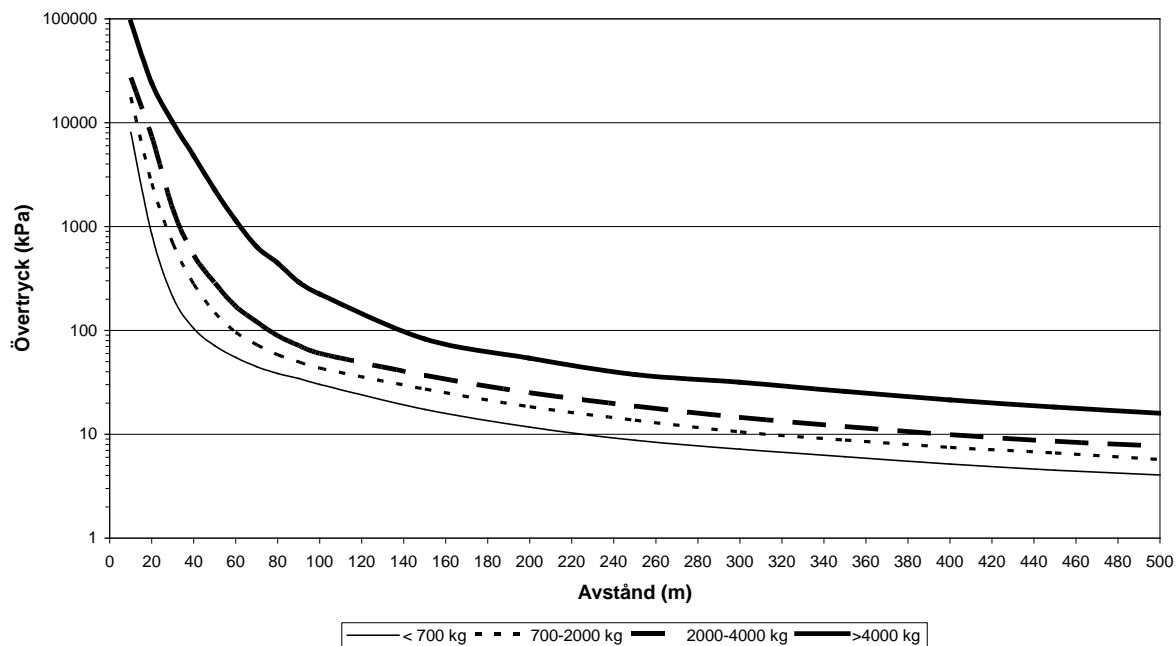
Byggnadsdel	P_C (kPa)	I_C (kPas)
Bärande konstruktioner		
<i>Stomme i platsgjuten betong</i>		
- Bärande ytterväggar av 20 cm betong (och invändiga pelare)	200	2,5
- Bärande tvärväggar och utfackade längsgående ytterväggar	200	2,5
<i>Stomme i monterad betong</i>		
- Pelar/balk-stomme	200	3,1
- Bärande väggar i elementhus	200	3,1
Icke bärande konstruktioner		
- Lätta utfackningsväggar (plåtkassetter) i pelarhus	5	0,5
- Medeltunga utfackningsväggar (regelstomme & fasadtegelskal)	5	1,0

B.2.1.2 Beräkning av infallande tryck, impulstäthet och varaktighet

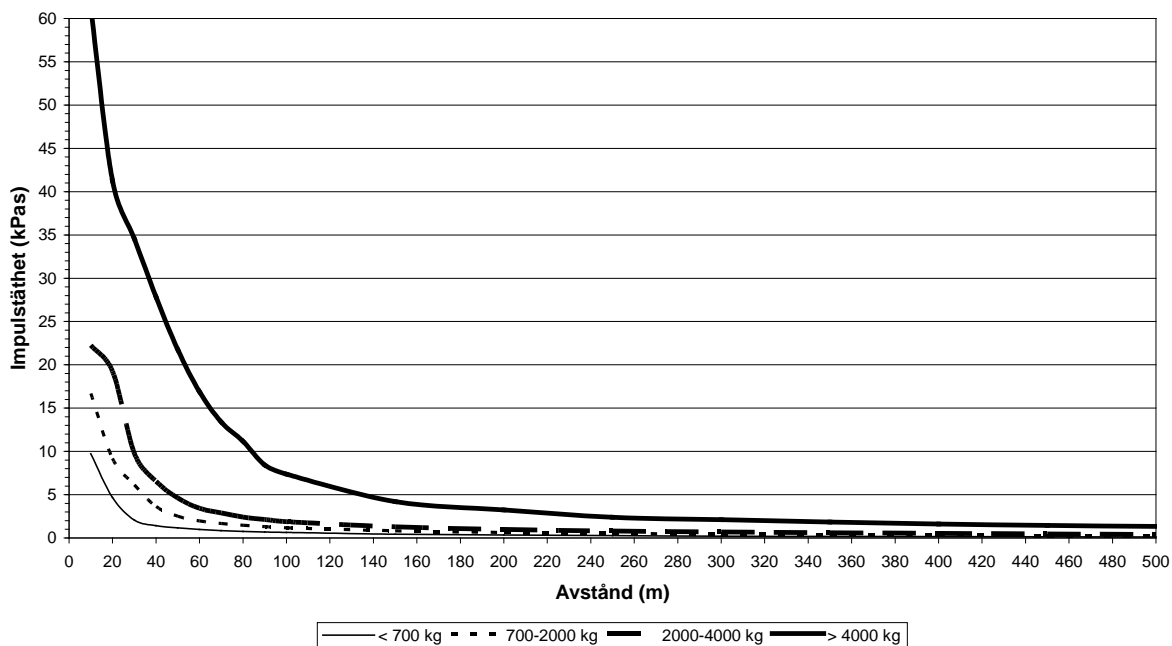
Konsekvensberäkningarna utgår från beräkningar av maximalt övertryck (P_+), impulstäthet (I_+) samt varaktighet (t_+) för de studerade explosionsscenarierna. Beräkningarna följer den metodik som anges i FOA:s kurskompendium *Konsekvenser vid explosioner /2/*. I figur B.1-B.2 redovisas beräkningar avseende tryck respektive impulstäthet som en funktion av avståndet från explosionen. Respektive explosionsscenario förutsätts inträffa på eller nära marken, vilket för en detonation av X kg motsvarar en detonation av $1,8 \cdot X$ kg i fri luft.

För byggnader beaktas tryck och impulstäthet som har beräknats med avseende på ett vinkelrätt tryckinfall. Det reflekterande trycket innebär högre infallande tryck och impulstäthet.

/2/ Konsekvenser vid explosioner – kompendium framtaget i samband med FOAs kurs explosivämneskunskap, FOA, Rickard Forsén 1999-09-03 (Bearbetat av Stefan Olsson 2001-09-16)



Figur B.1. Max övertryck som funktion av avståndet från explosion vid detonation av trotyl på eller nära mark vid vinkelrätt infall.



Figur B.2. Impulstäthet som funktion av avståndet från explosion vid detonation av trotyl på eller nära mark vid vinkelrätt infall.

Explosionens varaktighet t_+ beräknas grovt enligt följande ekvation och blir samma oavsett

$$\text{infallande vinkel } /2/: t_+ = \frac{2 \times I_+}{P_+}$$

B.2.1.3 Beräkning av skadeområde

Utifrån beräkningarna av övertryck, impulstäthet och varaktighet bedöms huruvida olika byggnadsdelar rasar eller ej, som funktion av avståndet, se tabell B.2. Bedömningen görs utifrån ekvationen som redovisas ovan. Byggnadsdelarna har delats upp på bärande byggnadsdelar och icke bärande lätta respektive medeltunga byggnadsdelar. De infallande tryck som redovisas i figur B.1 3 gäller för en punkt (byggnad eller människa) som är helt oskyddad mot riskkällan. Den första byggnaden reducerar med stor sannolikhet det infallande trycket mot bakomliggande byggnader relativt mycket. Det uppskattas grovt att den första byggnaden medför att trycket och impulstätheten mot nästföljande byggnad reduceras med ca 75 % i förhållande till vad som anges i figur B.1 respektive B.2.

I tabell B.2 redovisas även skadeavståndet för oskyddade personer för de aktuella skadescenarierna. Skadeavstånden förutsätter att det inte finns några avskärmande objekt mellan person och explosionen. Då människor är relativt små bedöms inget reflekterande tryck uppstå vilket innebär att man vid bedömning av konsekvensområden studerar strykande tryck (180°).

Tabell B.2. Skadeavstånd för byggnadsras (helt eller delvis), samt oskyddade personer utomhus vid explosion.

Konsekvens	Konsekvensavstånd			
	< 700 kg	700-2000 kg	2000-4000 kg	> 4000 kg
Oskyddad byggnad utan framförliggande bebyggelse				
• Hela byggnaden rasar, inkl. bärande konstruktioner	20-30 m	30-40 m	40-50 m	80-90 m
• Icke bärande lätta ytterväggar samt vissa icke bärande lätta innerväggar rasar	90-100 m	150-200 m	250-300 m	> 500 m
• Icke bärande medeltunga ytterväggar samt vissa icke bärande medeltunga innerväggar rasar	50-60 m	90-100 m	150-200 m	400-450 m
Byggnad som helt, eller delvis är skyddad av framförliggande bebyggelse				
• Hela byggnaden rasar, inkl. bärande konstruktioner	< 10 m	10-20 m	20-30 m	50-60 m
• Icke bärande lätta ytterväggar samt vissa icke bärande lätta innerväggar rasar	20-30 m	50-60 m	70-80 m	150-200 m
• Icke bärande medeltunga ytterväggar samt vissa icke bärande medeltunga innerväggar rasar	20-30 m	30-40 m	50-60 m	100-150 m
Oskyddade personer utomhus				
• 1 % omkomna	22 m	30 m	39 m	71 m
• 50 % omkomna	19 m	27 m	34 m	62 m
• 100 % omkomna	17 m	24 m	30 m	55 m

Sannolikheten för att omkomma är beroende av planerat antal våningsplan i byggnaden och ökar med ökande våningsantal. I riskberäkningarna kommer det uppskattas grovt att ca 80 % av personer som vistas inom totalkollapsade byggnadsdelar omkommer. Inom byggnadsdelar som endast rasar lokalt antas ca 15 % omkomma.

För personer utomhus bedöms sannolikheten att omkomma vara beroende av explosionslasten och uppskattas för ovanstående skadeavstånd innebära följande sannolikhet för att omkomma:

- 500 kg: 10 % omkomna
- 1 000 kg: 25 % omkomna
- 5 000 kg: 50 % omkomna
- 16 000 kg: 80 % omkomna
- 25 000 kg: 100 % omkomna

B.2.2 Klass 2.1. Brännbara gaser

För brännbara gaser kommer tre olika scenarier att studeras, som beror på typen av antändning:

- *Jetflamma*: omedelbar antändning av läckande gas under tryck
- *Gasmolnsexplosion*: fördröjd antändning av gas som hunnit spridas och därmed ej är under tryck
- *BLEVE*: Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion kan uppkomma om tank utan fungerande säkerhetsventil utsätts för en utbredd brand under en längre tid.

B.2.2.1 Indata

För ovanstående skadescenarier har utsläppssimuleringar gjorts med simuleringsprogrammet **Gasol** för att avgöra storleken på de områden inom vilka personer kan förväntas omkomma.

Utsläppssimuleringarna har utförts för järnvägsvagn (ca 40 ton gas). Det antas grovt att samtliga transporter innehåller tryckkondenserad gasol. I tabell B.3 redovisas den indata som anges i **Gasol** med avseende på tankutformning, väder etc.

Tabell B.3. Indata till Gasol för simulering av skadeområden vid jetflamma och gasmoln.

Faktor	Järnvägsvagn
Lagringstemperatur	15°C
Lagringstryck	7 bar övertryck vid 15°C
Tankdiameter	2,5 m
Tanklängd	19 m
Tankfyllnadsgrad	80 %
Tankens tomma vikt	50 000 kg
Designtryck	15 bar övertryck

Bristningstryck	4 x designtrycket
Luftryck	760 mmHg
Väder	15°C, 50 % relativ fuktighet, dag och klart
Omgivning	Många träd, häckar och enstaka hus (tätortsförhållanden)

Skadescenarierna jetflamma respektive gasmolnexplosion har simulerats för följande utsläppsstorlekar /3/:

- Litet utsläpp: 0,09 kg/s
- Stort utsläpp: 11,7 kg/s

Skadeområdena för jetflamma och gasmolnexplosion beror utöver utsläppsstorleken, även på om läckaget utgörs av gasfas, vätskefas eller i gasfas nära vätskeytan. I beräkningarna antas det konservativt att utsläppet sker nära vätskeytan då detta leder till de största skadeområdena.

Skadeområdena för gasmolnexplosion är dessutom beroende av vindstyrkan, där skadeområdet blir större ju lägre vindstyrka. Även här antas det konservativt en relativt låg vindstyrka, ca 3 m/s.

B.2.2.2 Beräkningar och resultat

I tabell B.4 redovisas 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, varför dess bredder även presenteras.

Skadeområdena som anges i tabell B.4 gäller en oskyddad person utomhus och anges i form av området där strålningen är så omfattande att det kan leda till 2:a respektive 3:e gradens brännskada. Cirka 15 % av de som får 2:a gradens brännskador antas få dödliga skador /4/. Det uppskattas grovt att motsvarande för de som får 3:e gradens brännskada är ca 50 %. För respektive scenario har även varaktigheten beräknats.

/3/ Farligt gods – riskbedömning vid transport, Räddningsverket Karlstad, 1996

/4/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, andra reviderade och utökade upplagan, Försvarets Forskningsanstalt, September 1997

Tabell B.4. Beräknade skadeområden vid olika skadescenarier med utsläpp och antändning av brännbar gas vid transport i järnvägstank. Kolumnen Tid utgör för jetflamma dess varaktighet om utsläppet inte stoppas medan tid för gasmolnsexplosion (som betecknas med +) utgör den tid från att utsläppet stoppats som gasmolnet fortfarande kan antändas.

Skadesscenario	Gasmolnsvolym*	Skadeområde utomhus		Tid
		2:a gradens	3:e gradens	
Litet utsläpp (0,09 kg/s) – jetflamma	-	4,8 x 6 m	3,8 x 4 m	Ca 110 h
Litet utsläpp (0,09 kg/s) – gasmolnsexplosion	~ 0,0 m ³	~ 5 x 0 m	~ 5 x 0 m	+ 46 s
Stort utsläpp (11,7 kg/s) – jetflamma	-	44 x 48 m	39 x 34 m	Ca 1 h
Stort utsläpp (11,7 kg/s) – gasmolnsexplosion	4836 m ³	146 x 165 m	141 x 165 m	+ 46 s
BLEVE	-	Radie 266 m	Radie 173 m	13 s

* Gasmolnsvolymer respektive skadeområden har beräknats om med avseende på fel i beräkningsprogrammet Gasol.

B.2.3 Klass 2.3. Giftig gas

Den icke brännbara men giftiga gasen antas mycket konservativt bestå av klor, som är en av de giftigaste gaserna som transporteras i större mängd på järnväg i Sverige. Med simuleringsprogrammet **Spridning i Luft 1.2** beräknas storleken på det område där koncentrationen klor antas vara dödlig (inomhus och utomhus).

B.2.3.1 Indata

Utsläppssimuleringarna har utförts för järnvägsvagn rymmandes ca 65 ton klor. I tabell B.5 redovisas den indata som anges i **Spridning i Luft 1.2** med avseende på tankutformning, omgivningsstruktur och väder etc.

Tabell B.5. Indata till **Spridning i Luft** för simulering av skadeområden vid utsläpp av giftig gas.

Faktor	Järnvägsvagn
Kemikalie	Klor
Emballage	Järnvägsvagn (65 ton)
Bebyggelse	Tät skog/ stad ($\rho = 1,0$)
Lagringstemperatur	15°C
Väder	15°C, vår, dag och klart

Följande, i **Spridning i Luft 1.2** fördefinierade, utsläppsscenarioer har simulerats:

- Litet utsläpp (packningsläckage): 0,45 kg/s
- Stort utsläpp (stor punktering): 112 kg/s

Gasens spridning beror bland annat på vindstyrka, bebyggelse och tid på dygnet. **Spridning i Luft** genererar 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. Skadeområdena för ett utsläpp av giftig gas blir större ju lägre vindstyrkan är. I simuleringarna antas därför vindstyrkan vara relativt låg, ca 3 m/s.

Skadeområdet inomhus är dessutom beroende av på vilken nivå som ventilationsintag är placerade. Det antas att ventilationsintagen är placerade ca 3 meter över järnvägen.

B.2.3.2 Beräkningar och resultat

Vid simulering av gasutsläpp med **Spridning i Luft 1.2** erhålls spridningskurvor samt uppskattningar på hur stor andel av befolkningen i området som förväntas omkomma beroende på avståndet till utsläppskällan. Andelen avtar med avståndet både i längd samt vinkelrätt mot utsläppets riktning. I tabell B.6 redovisas de erhållna skadeområdena vid utsläppssimulering för klor som erhålls efter 30 minuter från utsläppets start.

Tabell B.6. Skadedrabbat område för olika scenarier vid farligt godsolycka med icke brännbar, men giftig gas i lasten. Procentsatserna avser andel som omkommer inom respektive skadeområde.

Scenario	Andel omkomna	Skadeavstånd (L*Bmax) [m]	
		Utomhus	Inomhus
Klor			
Litet utsläpp	100 %	10 x 4	-
	50 %	30 x 20	-
	5 %	50 x 30	15 x 4
Stort utsläpp	100 %	250 x 140	50 x 20
	50 %	430 x 240	260 x 80
	5 %	670 x 360	345 x 190

B.2.4 Klass 3. Brandfarlig vätska

För denna farligt godsklass utgörs skadescenarierna av att tanken skadas så allvarligt att vätska läcker ut och sedan antänds. Vid beräkning av konsekvensen av en farligt godsolycka med brandfarlig vätska antas tanken rymma bensin.

Beroende på utsläppstorleken antas olika stora pölar med brandfarlig vätska bildas vilket leder till olika mängder värmestrålning. Konsekvensberäkningar utförs för följande pölbrandscenarier:

- Liten pölbrand: 100 m²
- Stor pölbrand: 400 m²

B.2.4.1 Bedömningskriterier

Hur hög värmestrålning en person klarar utan att erhålla skador beror bl.a. på dess varaktighet. Detsamma gäller med avseende på hur hög strålning som krävs för att antända olika byggnadsmaterial. Ju längre strålningspåverkan, ju högre sannolikhet för skada.

I tabell B.7 redovisas exempel på strålningsnivåer och vilka skador dessa kan medföra avseende personskada respektive brandspridning. Det uppskattas att ca 15 % av de som får 2:a gradens brännskador kan omkomma /5/.

Tabell B.7. Effekter av olika strålningsnivåer /5, 6/.

Konsekvens	Strålningsintensitet [kW m ⁻²]
Ingen smärta vid långvarig bestrålning av bar hud	≤ 1
2:a gradens brännskada vid bestrålning under 1 minut	
- 100 % sannolikhet	19
- 50 % sannolikhet	7,5
Ingen smärta vid bestrålning av bar hud under 1 minut	< 2,5
2:a gradens brännskada vid bestrålning under 20 sekunder	
- 100 % sannolikhet	43
- 50 % sannolikhet	17
Outhärdlig smärta vid bestrålning av bar hud under 2 sekunder	20
Antändning av lättantändliga material, t.ex. gardiner	
med sticklåga	10
vid långvarig bestrålning	20
Antändning av obehandlat trä	
med sticklåga eller vid bestrålning under 5 minuter	15
vid långvarig bestrålning	30

En person som befinner sig utomhus och upptäcker en större brand försöker med stor sannolikhet sätta sig i säkerhet. Tiden för varseblivning samt beslut och reaktion innebär dock att personen kan utsättas för värmestrålning under en kortare stund innan han/hon reagerar. De strålningsnivåer och effekter som anges i tabell B.7 har i tabell B.8 omvandlats till en uppskattad andel omkomna beroende på strålningsnivå för personer som befinner sig utomhus.

/5/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, andra reviderade och utökade upplagan, Försvarets Forskningsanstalt, September 1997

/6/ Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005

Tabell B.8. Avstånd inom vilken strålningsnivån överstiger $X \text{ kW/m}^2$ vid pölbrand. Utomhus

Strålningsnivå	Andel omkomna
10 kW/m ²	1 %
60 kW/m ²	50 %
80 kW/m ²	100 %

Sannolikheten för att personer som befinner sig inomhus omkommer bedöms utifrån den strålningsnivå som uppskattas vara kritisk med avseende på brandspridning in i byggnaden. Utifrån tabell B.7 så uppskattas den kritiska värmestrålningen vara 15 kW/m² om inga byggnadstekniska åtgärder beaktas. Dock bedöms det inte vara troligt att samtliga personer som befinner sig i en utsatt byggnad omkommer till följd av att en utvändig brand sprids in i byggnaden. Mycket grovt uppskattas det att 5-10 % av de personer som befinner sig inomhus inom det område kring pölbranden där strålningsnivån överstiger 15 kW/m² omkommer.

B.2.4.2 Beräkningsmetodik

Strålningsberäkningarna har genomförts med hjälp av handberäkningar. Beräkningarna av den värmestrålning som det analyserade området utsätts för i händelse av olycka med påföljande brand genomförs utifrån beräkning av följande faktorer:

- brandeffekt
- flammhöjd
- utfallande värmestrålning
- synfaktor
- infallande strålning på olika avstånd från branden

Brandeffekten beräknas för att uppskatta hur mycket energi som avges från branden till omgivningen. Flammans höjd används för att beräkna den så kallade synfaktorn som anger hur mycket av den från branden emitterade strålningen som når olika punkter i omgivningen.

Brandeffekt (Q) – Brandeffekten beräknas utifrån pölarean och ansätts till att 1 MW genereras per kvadratmeter pölarea /7/.

Flammhöjd (H_F) – Flammhöjden (m) kan beräknas som funktion av brandeffekten och pöldiametern (D) enligt följande ekvation /8/: $H_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02D$

Ovanstående förhållande mellan brandeffekt och pölarea innebär att flammhöjden grovt kan uppskattas till $H_F = D / 9$.

/7/ Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005

/8/ Enclosure Fire Dynamics, Karlsson & Quintiere, 2000

Utfallande strålning (I_0) – Den utfallande strålningen (kW/m^2) är beroende av pölbrandens diameter. Upp till en viss pölstorlek ökar strålningen från flammans, men efter en viss nivå minskar effektiviteten i förbränningen med påföljd att rökutvecklingen tilltar och temperaturen i flamzonen sjunker. En del av värmestrålningen absorberas därmed i omgivande rök, vilket innebär att den utfallande strålningen sjunker med ökande värde på pölbrandens storlek. Den utfallande strålningen kan beräknas med följande ekvation /10/:

$$I_0 = 58 \cdot 10^{-0,00823 \cdot D}$$

Synfaktor (F) – Synfaktorn (–) anger hur stor andel av den utfallande strålningen som når en mottagande punkt eller yta (se figur B.3). Vid beräkningen av synfaktorn antas att branden är rektangulär så att flammans diameter är lika stor i toppen som i botten. Detta är ett konservativt antagande då branden i själva verket normalt smalnar av väsentligt upptill.

Synfaktorn $F_{1,2}$ mellan flammans och den mottagande punkten är en geometrisk konstruktion som beräknas enligt /11/:

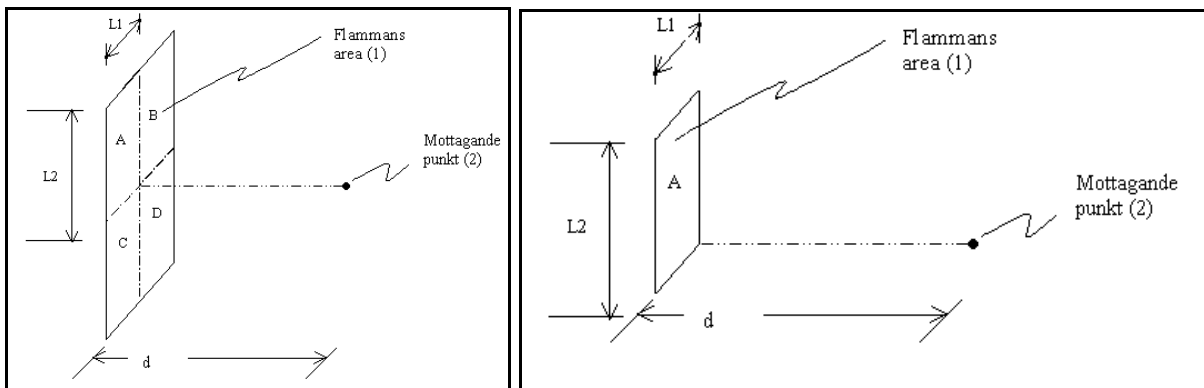
$$\text{Ekvation B.2.} \quad F_{1,2} = F_{A_{1,2}} + F_{B_{1,2}} + F_{C_{1,2}} + F_{D_{1,2}}$$

där $F_{A_{1,2}}$, $F_{B_{1,2}}$, $F_{C_{1,2}}$ och $F_{D_{1,2}}$ beräknas enligt följande:

$$\text{Ekvation B.3.} \quad F_{A_{1,2}} = \int_0^{A_1} \frac{\cos \Theta_1 \cos \Theta_2}{\pi d^2} \cdot dA_1 \quad \text{där}$$

$\theta_1 = \theta_2 =$ infallande vinkel (d.v.s. 0)

$A_1 = L_1 \cdot L_2$ enligt figur B.5.



Figur B.3. Synfaktor.

/9/ Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005

/10/ Radiation from large pool fires, Journal of Fire Protection Engineering, 1 (4), pp 141-150, Shokri & Beyler, 1989

/11/ An Introduction to Fire Dynamics – second edition, Drysdale, University of Edinburgh, UK 1999

Ekvation B.7 kan omvandlas till följande ekvation för beräkning av respektive ytas (A, B, C och D) synfaktor /12/:

$$\text{Ekvation B.4.} \quad F_{A12} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \quad \text{där}$$

$$X = \frac{L_1}{d} \quad \text{och} \quad Y = \frac{L_2}{d} \quad \text{enligt figur B.3.}$$

Infallande strålning (I) – Den från branden infallande värmestrålningen (kW/m^2) som når omgivningen minskar med avståndet från branden och beräknas genom: $I = F \times I_0$

B.2.4.3 Beräkningar och resultat

Med hjälp av ovanstående samband och förutsättningar har brandeffekten, brandens diameter och flammhöjden för de olika pölbrandscenarierna (se tabell B.9).

Tabell B.9. Tabell med beräknade värden på effektutveckling, brandens diameter och flammhöjd samt utfallande värmestrålning.

Scenario	Brinnande yta A_F (m^2)	Utvecklad effekt Q (kW)	Brandens diameter D_f (m)	Flammhöjd H_f (m)
Järnvägsvagn				
Liten pölbrand	100	100 000	11,3	16,8
Stor pölbrand	400	400 000	22,6	26,3

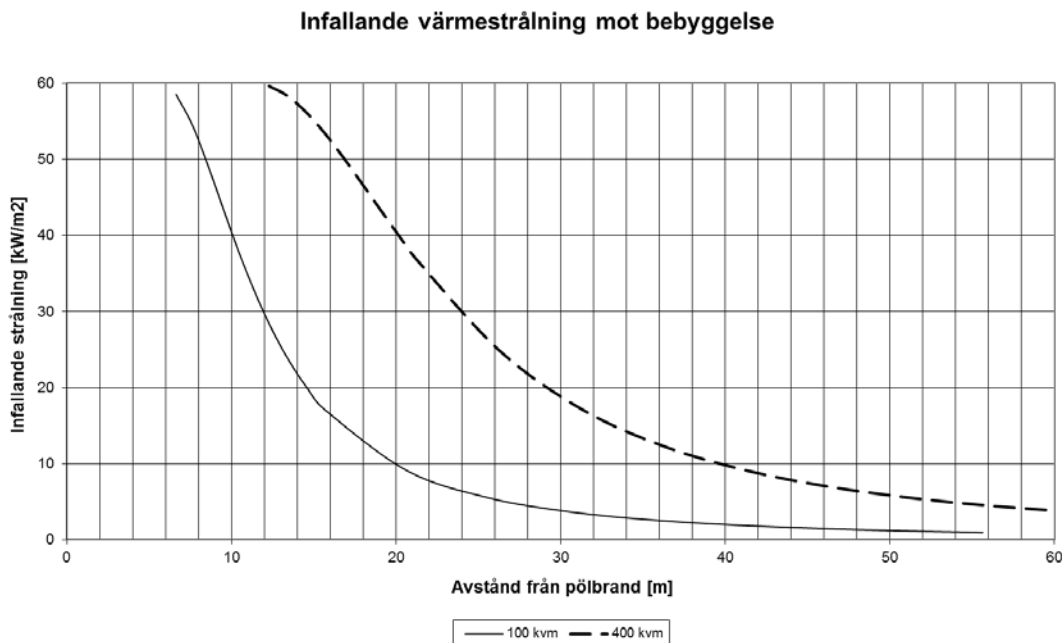
Beräkningarna av den infallande strålningen redovisas i tabell B.10. Strålningen har beräknats på halva flammans höjd. I strålningsberäkningarna används konservativt ett värde på den utfallande strålningen på 60 kW/m^2 för samtliga brandscenarier.

Tabell B.10. Beräkning av strålning och synfaktor på halva flammans höjd för olika avstånd från pölbranden.

Avstånd (m)	100 m^2		400 m^2	
	$F_{1,2}$	q_r''	$F_{1,2}$	q_r''
5	0,61	36,73	0,86	51,7
10	0,29	17,14	0,61	36,7
15	0,15	9,10	0,41	24,9
20	0,09	5,50	0,29	17,1
25	0,06	3,64	0,20	12,3
30	0,04	2,58	0,15	9,1
35	0,03	1,92	0,12	7,0
40	0,02	1,48	0,09	5,5
45	0,02	1,18	0,07	4,4
50	0,02	0,96	0,06	3,6

/12/ Thermal Radiation Heat Transfer, 3rd ed., Seigel & Howell, USA 1992

I figur B.4 redovisas den infallande strålningen som funktion av avståndet från pölbranden. I figuren beaktas även pölens radie, vilket ej beaktas i de avstånd som anges i tabell B.10 som utgår från flammans kant.



Figur B.4. Infallande strålning som funktion av avståndet från pölbrand inkl. pölradie

Utifrån ovanstående beräkningar och de kriterier som anges i avsnitt B.2.4.1 redovisas skadeområdena för respektive brandscenario i tabell B.11 nedan.

Tabell B.11. Sammanställning av skadeområden för kritiska strålningsnivåer vid pölbrand.

Strålningsnivå	Avstånd från brand		Konsekvens
	100 kV	400 kV	
10 kW/m ²	20 m	ca 40 m	1 % antas omkomna utomhus
60 kW/m ²	6-8 m	ca 12 m	50 % antas omkomma utomhus
80 kW/m ²	< 1 m	1-2 m	100 % antas omkomma utomhus
15 kW/m ²	ca 17 m	ca 35 m	10 % antas omkomma inomhus

B.2.5 Klass 5. Oxiderande ämnen och organiska peroxider

En olycka med utsläpp av oxiderande ämnen eller organiska peroxider ska normalt inte leda till något följdscenario som innebär allvarliga personskador. Det finns dock ämnen inom denna farligt godsklass som, om de kommer i kontakt med brännbart, organiskt material (t ex bensin, motorolja etc.), kan leda till självantändning och kraftiga explosionsförlopp. Explosionen kan då liknas vid en explosion av massexplosiva ämnen.

Det antas mycket konservativt att den explosiva blandningen som kan produceras vid ett utsläpp på järnväg motsvarar en explosiv blandning med 25 ton trotyl.

Konsekvensberäkningarna för detta skadescenario motsvarar alltså det scenario som redovisas i avsnitt B.2.1 Klass 1. Explosiva ämnen.

B.2.6 Ursparning

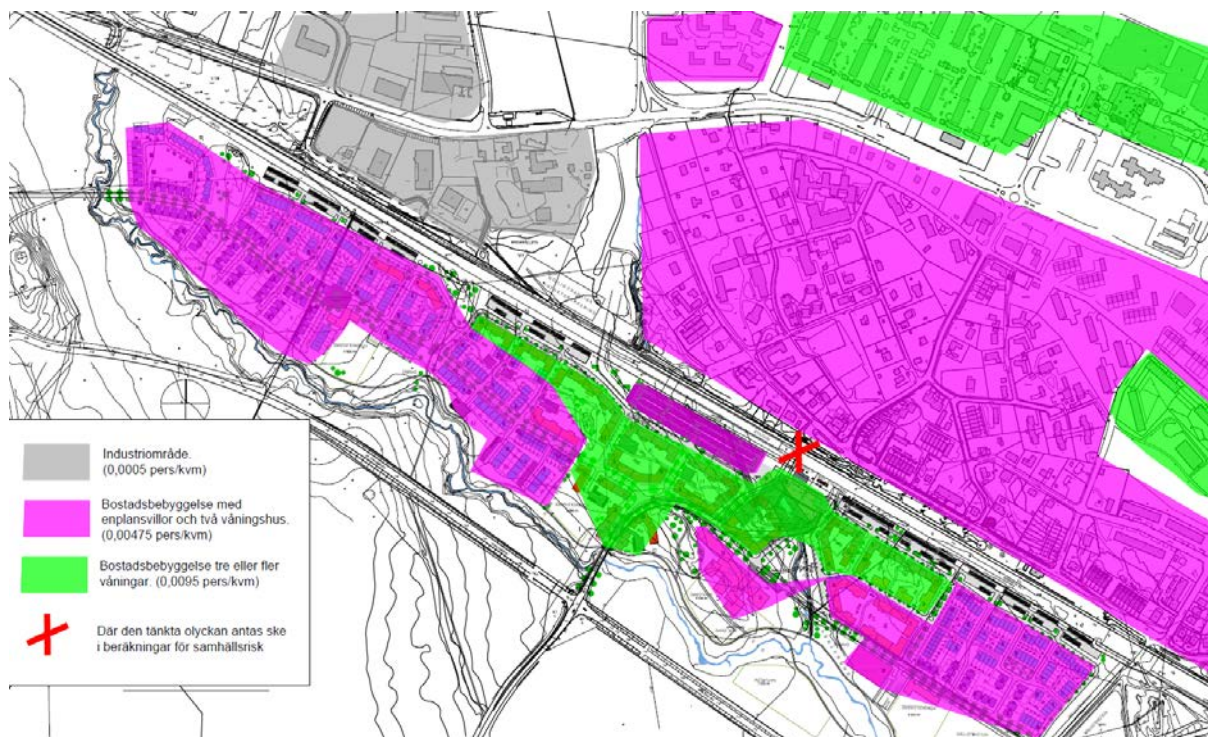
I bilaga A redovisas beräkningar av frekvenser för ursparning som innebär att en järnvägsvagn kolliderar med kringliggande bebyggelse med sådan kraft att byggnaden rasar.

Det antas mycket grovt att personer utomhus omkommer om de vistas inom det avstånd från järnvägsspåret som den ursparade vagnen hamnar. För personer som vistas inomhus antas det grovt att 50 % omkommer av de som vistas i byggnader med fasad inom det avstånd från järnvägen som den ursparade vagnen hamnar.

B.3 BERÄKNINGAR ANTAL OMKOMNA FÖR UNDERLAG TILL BERÄKNING AV SAMHÄLLSRISK

Nedan ges ett kortare resonemang för bedömning av antalet omkomna som underlag för beräkning av samhällsrisk. Händelser som ej redovisas nedan medför så korta skadeområden att de inte påverkar samhällsrisk. Bedömningarna grundar sig på faktorer kopplade till respektive händelse enligt bilaga A, exempelvis skadeavstånd, andel som omkommer och andel av cirkulärt område. Persontätheter som används för att skatta antalet omkomna grundar sig på schablonvärden¹³ enligt figur B.5. Personantalen skattas genomgående konservativt där det största förekommande personantalet används (värsta tänkbara skadetillfälle). Även omkomna i områden utanför själva planområdet har inkluderats. Vidare antas schablonfördelningar över att andelen som befinner sig utomhus (7%). Parkeringsgarage och längor med garage bedöms inte medföra stadigvarande vistelse varför inga personer förväntas finnas här.

¹³ Schablonvärden för persontätheter är hämtade från: *Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from release of hazardous materials. ("The green book")*



Figur B.5. Indelning av samhället Bro baserat på schablonmässiga personintensiteter.

Efter respektive förklaring nedan anges de värden som används för att skapa riskprofilen för samhällsrisk. Endast olyckor som får ett skadeavstånd som är större än 20 meter beaktas i beräkningarna då det inte finns någonting som uppmanar människor att vistas närmre den tänkta platsen för olyckan (endast en cykelparkering finns där).

B.3.1 Sammanställning beräkningar

Utifrån de skadeområden som beräknats i avsnitt B.2 samt ovan angivna förutsättningar så beräknas det förväntade antalet omkomna till följd av respektive skadescenario. I tabellerna nedan redovisas det beräknade skadeområdet och antalet omkomna till följd av de studerade skadescenarierna. I tabellen redovisas även skadeavståndet och hur stor del av skadeområdet som är utanför spårområdet i de olika indelningarna enligt figur B.5. Tredje kolumnen anger då hur stor del av skadeområdet som är bedömt i området med persontäthet 0,0095 pers/kvm (högre) och fjärde kolumnen anger hur stor del av skadeområdet som bedöms ligga över område med persontäthet 0,00475 pers/kvm (lägre). Inget scenario medför påverkan på den tredje typen av område som finns utmarkerat i figur B.5 (industriområde). Hur stor andelen omkomna är för respektive påverkansområde presenteras i bilaga C, tabell C.1 och C.2

- Olycksrisker förknippade med **explosiva ämnen på Mäljarbanan** bedöms medföra stora skadeområden. Bebyggelsestrukturen inom planområdet mildrar dock konsekvenserna då byggnaderna som vetter mot järnvägen skyddar byggnader som ligger innanför.

Händelse och påverkan utomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högpop. omr.	Andel av skadeomr. i lågpop. omr.	Antal omkomna
Explosion (25 ton)	56	9847	0,25	0,11	2

	62	12070	0,35	0,15	2
	75	17663	0,45	0,2	0

Händelse och påverkan inomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högpop. omr.	Andel av skadeomr. i lågpop. omr.	Antal omkomna
Explosion (25 ton)	150	70650	0,4	0,4	100

2. Större olycksrisker förknippade med **brännbar gas på Mäljarbanan** (främst stora gasmolnsexplosioner och BLEVE) bedöms kunna medföra stora konsekvenser inom planområdet. Mindre olycksrisker med brännbar gas bedöms ha en mycket begränsad påverkan på samhällsrisken inom planområdet. Skadepåverkan inomhus påverkas inte av de små olyckorna då avstånden till byggnaderna är tillräckliga. För de större olyckorna bedöms byggnaderna närmst järnvägen fungera som barriärer mot bebyggelse bakom. Skadepåverkan utomhus är markant mindre då endast mindre delar av området påverkas och mortaliteten är låg vid explosioner för personer utomhus.

Händelse och påverkan utomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högpop. omr.	Andel av skadeomr. i lågpop. omr.	Antal omkomna
Liten jetflamma	5	15	0	0	0
Litet gasmoln	5	1	0	0	0
Stor jetflamma	44	1056	0,05	0,05	0
Stort gasmoln	264	21120	0,45	0,45	5
Bleve	173	93977	0,3	0,1	11
	266	222174	0,45	0,45	15

Händelse och påverkan inomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högpop. omr.	Andel av skadeomr. i lågpop. omr.	Antal omkomna
Liten jetflamma	3	8	0	0	0
Litet gasmoln	3	1	0	0	0
Stor jetflamma	22	528	0,15	0	0
Stort gasmoln	132	10560	0,25	0	13
Bleve	87	23494	0,45	0,2	61
	133	55543	0,5	0,2	47

3. Olycksrisker förknippade med **giftig gas på Mäljarbanan** bedöms medföra omfattande skadeområden. Vid utsläpp av giftig gas skyddar byggnaderna närmst järnvägen inte bakomliggande. Spridningen är till stor del beroende av vind och väderförhållanden. Generellt har läckage med giftig gas antagits driva in över de områden som är mest persontäta.

Händelse och påverkan utomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högp. omr.	Andel av skadeomr. i lågp. omr.	Antal omkomna
Litet läckage	10	20	0	0	0
	30	300	0,1	0	0
Stort läckage	50	750	0,24	0	0
	250	17500	0,9	0	10
	430	51600	0,9	0	15
	670	120600	0,9	0	4

Händelse och påverkan inomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högp. omr.	Andel av skadeomr. i lågp. omr.	Antal omkomna
Litet läckage	15	30	0,1	0	0
Stort läckage	50	500	0,45	0	2
	260	10400	0,7	0	35
	345	32775	0,9	0	14

4. Olycksrisker förknippade med **brandfarliga vätskor på Mäljarbanan** bedöms ha en mycket begränsad påverkan på risknivån inom planområdet. Detta beror på de relativt begränsade skadeavstånden. Skadeområdets omfattning i förhållande till bebyggelsestrukturen utmed järnvägen innebär att de aktuella skadescenarierna inte bedöms kunna medföra stora konsekvenser inom planområdet. Placering av byggnader exempelvis garagelängor kan dock medverka till brandspridning om de ligger för nära skadeplatsen. Dock förväntas ingen stadigvarande vistelse ske i garagen varför de inte beaktas ur perspektivet samhällsrisk.

Händelse och påverkan utomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högp. omr.	Andel av skadeomr. i lågp. omr.	Antal omkomna
Liten pölbrand	8	201	0	0	0
	20	1256	0,09	0	0
Stor pölbrand	12	452	0	0	0
	40	5024	0,17	0,4	0

Händelse och påverkan inomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högp. omr.	Andel av skadeomr. i lågp. omr.	Antal omkomna
Liten pölbrand	17	907	0	0	0
Stor pölbrand	35	3847	0,1	0,1	1

5. Olycksrisker förknippade med **oxiderande ämnen på Mäljarbanan** bedöms påverka planområdet och dess omgivning i betydande utsträckning. Skadeavståndet är större inomhus än utomhus då byggnader är känsligare för explosionsartade laster. Konsekvenserna är lika de konsekvenser som uppstår vid olycka med explosionsbenäget ämne.

Händelse och påverkan utomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högp. omr.	Andel av skadeomr. i lågp. omr.	Antal omkomna
Expl. självantänd. motsv. 25 ton trotyl	56	9847	0,25	0,1	2
	62	12070	0,35	0,15	2
	75	17663	0,45	0,2	0

Händelse och påverkan inomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högp. omr.	Andel av skadeomr. i lågp. omr.	Antal omkomna
Expl. självantänd. motsv. 25 ton trotyl	150	70650	0,2	0,2	84

6. Olycksrisker förknippade med **urspårning på Mäljarbanan** bedöms ha en mycket hög påverkan på individrisknivån i järnvägens närhet. Urspårningsrisken påverkar dock inte samhällsrisken inom området då byggnader som kan förväntas medföra stadigvarande vistelse är som minst 25 meter från järnvägen.

Händelse och påverkan utomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högp. omr.	Andel av skadeomr. i lågp. omr.	Antal omkomna
Urspårning pers.tåg	5	79	0	0	0
	10	314	0	0	0
	15	707	0	0	0
Urspårning godståg	5	79	0	0	0
	10	314	0	0	0
	13	498	0	0	0

Händelse och påverkan inomhus	Skadeavstånd (m)	Skadeområde (m ²)	Andel av skadeomr. i högp. omr.	Andel av skadeomr. i lågp. omr.	Antal omkomna
Urspårning pers.tåg	5	79	0	0	0
	10	314	0	0	0
	15	707	0	0	0
	17	907	0	0	0
Urspårning godståg	5	79	0	0	0
	10	314	0	0	0
	15	707	0	0	0