

Dokumenttyp	<b>BILAGA B – KONSEKVENSBERÄKNINGAR</b>
	Vega DP 2 och 4
Datum	2013-11-01
Status	Planeringsunderlag
Handläggare	Rosie Kvål Tel: 08-588 188 84 E-post: rosie.kval@brandskyddslaget.se
Internkontroll	Erik Hall Midholm
Uppdragsledare	Rosie Kvål
Uppdragsgivare	Haninge kommun
Uppdragsnummer	106713

## 1 INLEDNING

---

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

- Olycka med farligt gods
  - Explosion vid transport av massexplodivt ämne (klass 1.1.)
  - Utsläpp och antändning av brännbar gas (klass 2.1)
  - Utsläpp av giftig gas (klass 2.3)
  - Utsläpp och antändning av brandfarlig vätska (klass 3)
  - Explosionsartat brandförlopp vid utsläpp av oxiderande ämne (klass 5.1) eller organiska peroxider (klass 5.2)
- Urspårning

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

I riskanalysen används riskmått *individrisk* och *samhällsrisk*. Med hänsyn till detta består konsekvensberäkningarna av beräkning av skadeavstånd/-område respektive beräkning/bedömning av antal omkomna till följd av respektive olycksrisk.

### 1.1 FÖRUTSÄTTNINGAR

För att kunna få en uppfattning om hur stora konsekvenserna blir för respektive skadescenario kommer följande förutsättningar och antaganden att gälla i beräkningarna:

Det område som kommer att studeras omfattar enbart aktuella planområden. Eftersom dessa omfattar stora geografiska områden samt att omgivande bebyggelse är mycket begränsad har inte kringliggande bebyggelse beaktats. Denna ligger dessutom längre från järnvägen än 150 meter. Konsekvenserna kommer att beräknas för det planerade utförandealternativet (med planerad ny bebyggelse). Frekvensberäkningarna i bilaga A omfattar en 1 km lång sträcka, men konsekvensberäkningarna kommer avgränsas till att studera respektive olycksscenario skadeområde. En olycka har antagits ske där den innebär så stora konsekvenser som möjligt för det studerade planområdet. Det studerade området avgränsas dessutom till ca 150 meter från riskkällan (vilket motsvarar riskhanteringsavståndet enligt Länsstyrelsens riktlinjer).

I figur B.1 och B.2 redovisas illustrationer för de båda detaljplanerna.



Figur B.1. Illustrationsplan DP 2 (samråd 2013-05-20). Ungefärlig placering av en olycka markerad.

# BRANDSKYDDSLAGET



Figur B.2. Illustrationsplan DP 4 (samråd 2013-05-29). Ungefärlig placering av en olycka markerad.

Konsekvensberäkningarna utgår från planerad exploatering i enlighet med beskrivning i huvudrapporten. Som underlag till de fortsatta beräkningarna har antagande om antal personer inom området samt en uppskattning av byggnadsytor samt ytor utomhus varit nödvändiga.

Bebyggelse planeras som närmast 40 meter från Nynäsbanan, Inom detta avstånd planeras endast en fotbollsplan i den södra delen av DP 4 för stadigvarande vistelse.

Totalt planeras ca 2 500 lägenheter, skola, aktivitetshus och mindre lokaler med handelsverksamhet inom området.

Resenärer i direkt anslutning till pendeltågsstationen har inte beaktats i beräkningarna.

För att kunna bedöma hur stort antal personer som befinner sig inom respektive skadeområde så görs grova uppskattningar utifrån uppgifter om antal lägenheter, skolelever etc. inom aktuella områden. I Tabell B. 1 redovisas de uppskattade personantalen inom det studerade området. Persontätheten bedöms variera under dygnet med hänsyn till olika verksamheter. Konsekvensberäkningarna utförs dock konservativt för ett scenario där maximalt personantal förväntas inom området, d.v.s. "beläggningen" ansätts till 100 %.

Tabell B. 1. Uppskattade personantal utmed järnväg/väg som funktion av avståndet.

Område	Bebyggelse		Utomhus	
	Minavstånd till riskkälla (meter)	Uppskattat personantal inomhus	Minavstånd till riskkälla (meter)	Uppskattat personantal utomhus
Planområde DP2 + DP 4				
- västra sidan (DP 4)	40	1267	20	141
- östra sidan (DP 2)	45	2348	40	261

## 2 JÄRNVÄGSOLYCKA MED FARLIGT GODS

### 2.1 KLASS 1. EXPLOSIVA ÄMNEN

#### 2.1.1 Metodik

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 omfattar fyra 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)

# BRANDSKYDDSLAGET

Konsekvensberäkningarna följer den metodik som anges i FOA:s kurskompendium *Konsekvenser vid explosioner /1/*. 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:

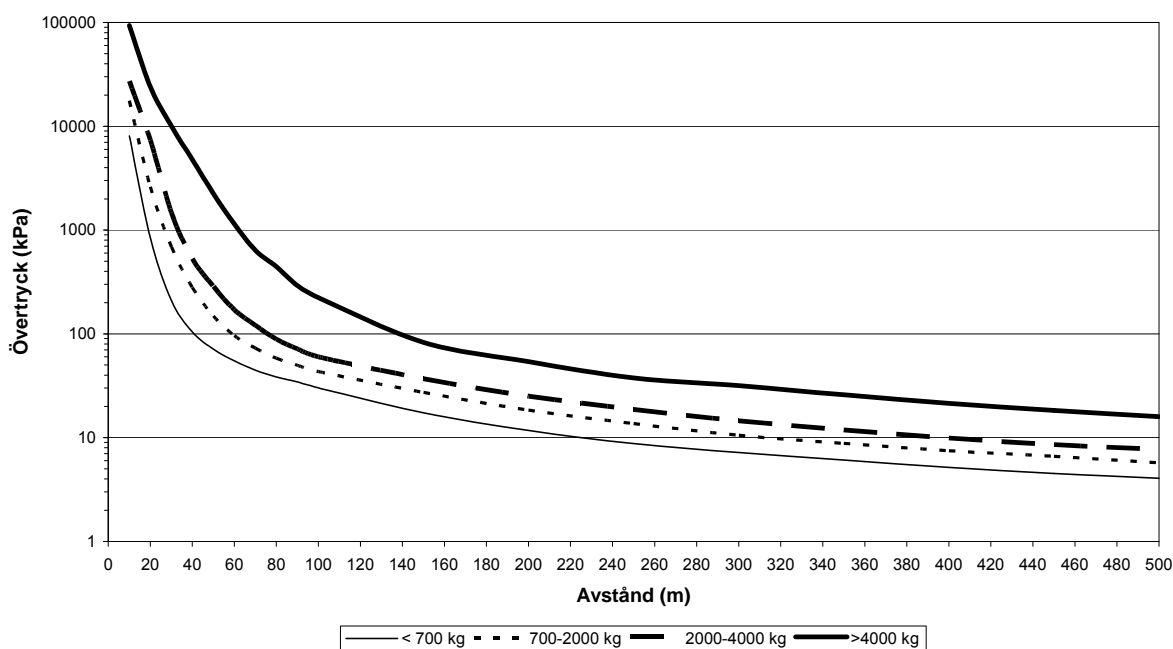
$$I_C / I_+ + P_C / P_+ \geq 1$$

Konsekvensberäkningarna utgår från beräkningar av maximalt övertryck ( $P_+$ ), impulstäthet ( $I_+$ ) samt varaktighet ( $t_+$ ) för de studerade explosionsscenarierna. I Figur B.3 och Figur B.4 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·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.

Då människor är relativt små bedöms inget reflekterande tryck uppstå vilket innebär att man vid bedömning av skadeområdet för konsekvenser utomhus studerar strykande tryck ( $180^\circ$ ).

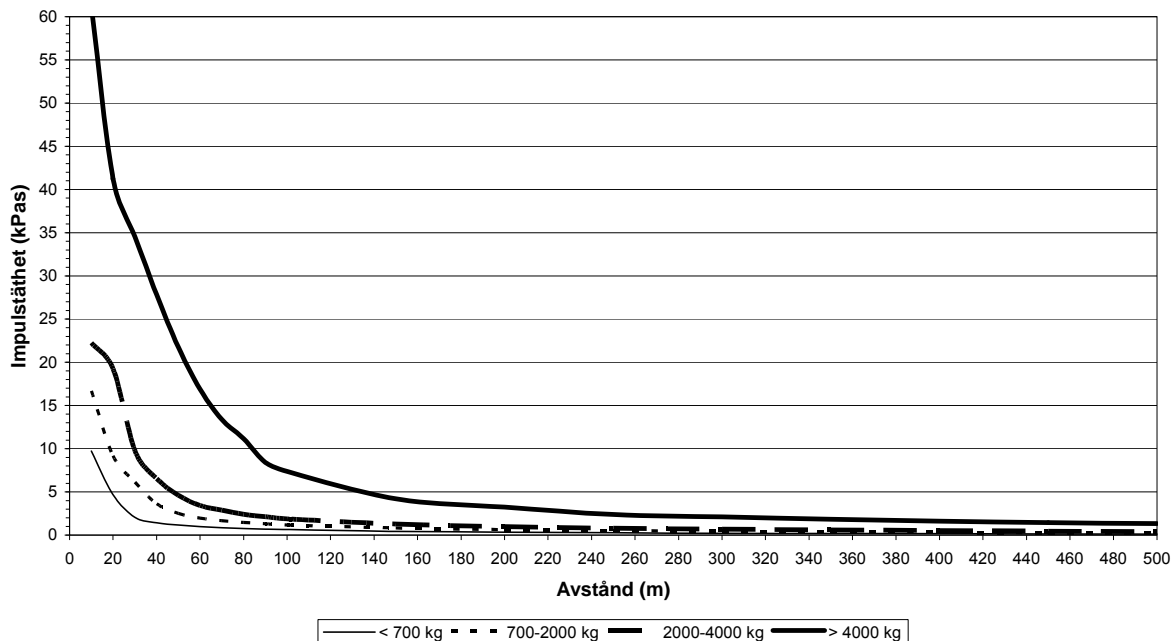
Explosionens varaktighet  $t_+$  beräknas grovt enligt följande ekvation och blir samma oavsett infallande vinkel /1/:

$$t_+ = \frac{2 \times I_+}{P_+}$$



Figur B.3. Max övertryck som funktion av avståndet från explosion vid detonation av trotyl på eller nära mark vid vinkelrätt infall.

/1/ 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.4. Impulstäthet som funktion av avståndet från explosion vid detonation av trotyl på eller nära mark vid vinkelrätt infall.

## 2.1.2 Bedömningskriterier

**Inomhus:** Enligt ovan beror konsekvenserna inomhus på explosionens maximala övertryck ( $P_+$ ) och impulstäthet ( $I_+$ ) i förhållande till byggnadsdelarnas karaktäristiska tryck ( $P_c$ ) och impuls ( $I_c$ ), se ekvationen i avsnitt 2.1.1. I Tabell B. 2 anges karaktäristiska tryck ( $P_c$ ) respektive impulstäthet ( $I_c$ ) för olika byggnadsdelar beroende på byggnadsstrategi och bärighet /1/.

Tabell B. 2. Karakteristiska tryck ( $P_c$ ) respektive impuls ( $I_c$ ) för olika byggnadsdelar.

Byggnadsdel	$P_c$ (kPa)	$I_c$ (kPas)
<b>Bärande konstruktioner</b>		
<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
<b>Icke bärande konstruktioner</b>		
- Lätta utfackningsväggar (plåtkassetter) i pelarhus	5	0,5
- Medeltunga utfackningsväggar (regelstomme & fasadtegelskal)	5	1,0

De infallande tryck som redovisas i Figur B. 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.3 respektive Figur B.4. Detta beaktas i de fortsatta konsekvensberäkningarna avseende skadeområden och uppskattat antal omkomna.

# BRANDSKYDDSLAGET

Sannolikheten för att omkomma inomhus är beroende av antalet våningsplan i byggnaden och ökar med ökande våningsantal. I konsekvensberäkningarna 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.

**Utomhus:** 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 gränsen för dödliga skador vid /2/:

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

Sannolikheten för att omkomma utomhus bedöms vara beroende av explosionslastens storlek. För de beräknade skadeavstånden som redovisas i avsnitt 2.1.3 uppskattas innebära följande sannolikhet för att omkomma:

- < 700 kg: 10 %
- 700-2 000 kg: 25 %
- 2 000-4 000 kg: 50 %
- > 4 000 kg: 100 %

## 2.1.3 Resultat

Utifrån beräkningarna av övertryck, impulstäthet och varaktighet bedöms huruvida olika byggnadsdelar rasar eller ej, som funktion av avståndet. Denna bedömning har resulterat i skadeavstånd för respektive skadescenario. I Tabell B. 3 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario.

Tabell B. 3. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av explosiva ämnen.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)	Kommentar
< 700 kg massexplosion	80 % <i>inomhus</i>	10	Scenariot påverkar planområdet, på båda sidor om riskkällan. Bara obebyggda delar.
	15 % <i>inomhus</i>	30	
	10 % <i>utomhus</i>	20	
700–2 000 kg massexplosion	80 % <i>inomhus</i>	20	Scenariot påverkar planområdet, på båda sidor om riskkällan. Både bebyggda och obebyggda delar.
	15 % <i>inomhus</i>	60	
	25 % <i>utomhus</i>	30	
2 000-4 000 kg massexplosion	80 % <i>inomhus</i>	30	Scenariot påverkar planområdet, på båda sidor om riskkällan. Både bebyggda och obebyggda delar.
	15 % <i>inomhus</i>	80	
	50 % <i>utomhus</i>	40	
> 4 000 kg massexplosion	80 % <i>inomhus</i>	50	Scenariot påverkar planområdet på båda sidor om riskkällan.
	15 % <i>inomhus</i>	200	
	100 % <i>utomhus</i>	70	

/2/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker, FOA, september 1997



I Tabell B. 4 redovisas uppskattat antal omkomna (utifrån förutsättningarna i avsnitt 1.1) inom det studerade området.

Tabell B. 4. Beräknade konsekvenser – antal omkomna, för skadescenarier vid transport av explosiva ämnen.

Skadescenario	Antal omkomna
	<i>DP 2+ DP 4</i>
<b>&lt; 700 kg massexplosion</b>	
<i>Inomhus:</i>	0
<i>Utomhus:</i>	0
<b>Totalt:</b>	<b>0</b>
<b>700–2 000 kg massexplosion</b>	
<i>Inomhus:</i>	4
<i>Utomhus:</i>	0
<b>Totalt:</b>	<b>4</b>
<b>2 000-4 000 kg massexplosion</b>	
<i>Inomhus:</i>	14
<i>Utomhus:</i>	1
<b>Totalt:</b>	<b>15</b>
<b>&gt; 4 000 kg massexplosion</b>	
<i>Inomhus:</i>	180
<i>Utomhus:</i>	10
<b>Totalt:</b>	<b>190</b>

## 2.2 KLASS 2.1 BRÄNNBARA GASER

### 2.2.1 Metodik

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

- *Jetflamma*: omedelbar antändning av läckande gas under tryck
- *Gasmolnexplosion*: 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.

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. 5 redovisas den indata som anges i **Gasol** med avseende på tankutformning, väder etc.

Tabell B. 5. 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 gasmolnsexplosion har simulerats för följande utsläppsstorlekar /3/:

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

Skadeområdena för jetflamma och gasmolnsexplosion 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 gasmolnsexplosion 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.

## 2.2.2 Bedömningskriterier

Sannolikheten för att omkomma är bl.a. beroende av den infallande värmestrålningen. 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.

**Utomhus:** I tabell B.6 redovisas skadeområden där värmestrålningen är så omfattande att det kan leda till 2:a-3:e gradens brännskada. Enligt /2/ är sannolikheten att omkomma vid 2:a gradens brännskador ca 15 %. Det uppskattas grovt att motsvarande för de som får 2a-3:e gradens brännskada är ca 50 %.

---

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

**Inomhus:** Sannolikheten för att personer som befinner sig inomhus omkommer bedöms utifrån den strålningsnivå som uppskattas vara kritisk med avseende på brandspridning in i byggnaden. Det uppskattas grovt att skadeområdet för brandspridning till byggnad för de studerade scenarierna motsvarar skadeområdet där värmestrålningen är så omfattande att det kan leda till 2:a gradens brännskada. 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 där värmestrålningen kan leda till 2:a gradens brännskada omkommer.

## 2.2.3 Resultat

I Tabell B. 6 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario. För jetflamma och brinnande gasmoln blir inte skadeområdet cirkulärt runt olycksplatsen utan mer plymformat, varför dess bredder även presenteras.

Tabell B. 6. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av brännbara gaser.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)		Kommentar
		bredd	längd	
Liten jetflamma	10 % <i>inomhus</i>	6	5	Scenariot påverkar planområdet på en sida om riskkällan. Endast obebyggda delar.
	50 % <i>utomhus</i>			
Liten gasmolnsexplosion	10 % <i>inomhus</i>	2	5	Scenariot påverkar planområdet på en sida om riskkällan. Endast obebyggda delar.
	50 % <i>utomhus</i>			
Stor jetflamma	10 % <i>inomhus</i>	50	45	Scenariot påverkar planområdet på en sida om riskkällan. Både bebyggda och obebyggda delar.
	50 % <i>utomhus</i>			
Stor gasmolnsexplosion	10 % <i>inomhus</i>	165	145	Scenariot påverkar planområde på en sida om riskkällan. Både bebyggda och obebyggda delar.
	50 % <i>utomhus</i>			
BLEVE	10 % <i>inomhus</i>	530	265	Scenariot påverkar planområde på en sida om riskkällan. Både bebyggda och obebyggda delar.
	50 % <i>utomhus</i>			

I tabell B.7 redovisas uppskattat antal omkomna (utifrån förutsättningarna i avsnitt 1.1) inom det studerade området. Samtliga olyckor med undantag av BLEVE påverkar enbart enda sidan av järnvägen. BLEVE har dock ett cirkulärt område och kommer därför vid en olycka påverka båda sidor om järnvägen.

Tabell B. 7. Beräknade konsekvenser – antal omkomna, för skadescenarier vid transport av brännbara gaser.

Skadescenario	Antal omkomna	
	DP 4	DP 2
<b>Liten jetflamma</b>		
<i>Inomhus:</i>	0	0
<i>Utomhus:</i>	0	0
<b>Totalt:</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Liten gasmolnexplosion</b>		
<i>Inomhus:</i>	0	0
<i>Utomhus:</i>	0	0
<b>Totalt:</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Stor jetflamma</b>		
<i>Inomhus:</i>	0	0
<i>Utomhus:</i>	1	0
<b>Totalt:</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Stor gasmolnexplosion</b>		
<i>Inomhus:</i>	10	14
<i>Utomhus:</i>	13	17
<b>Totalt:</b>	<b>23</b>	<b>31</b>
<b>BLEVE</b>		
<i>Inomhus:</i>	111	
<i>Utomhus:</i>	80	
<b>Totalt:</b>	<b>190</b>	

## 2.3 KLASS 2.3 GIFTIGA GASER

### 2.3.1 Metodik

Den icke brännbara men giftiga gasen antas bestå av **tryckkondenserad klor**, som är en av de giftigaste gaserna som transporteras i större tankar på järnväg i Sverige.

Med simuleringsprogrammet **Spridning i Luft 1.2** beräknas storleken på det område där koncentrationen ammoniak respektive svaveldioxid antas vara dödlig (inomhus och utomhus). Utsläppssimuleringarna har utförts för järnvägsvagn rymmandes ca **65 ton klor**. I tabell B.8 redovisas den indata som anges i **Spridning i Luft 1.2** med avseende på tankutformning, omgivningsstruktur och väder etc.

Tabell B. 8. Indata till **Spridning i Luft 1.2** 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 för utsläpp av giftig gas:

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

Gasernas spridning beror bland annat på vindstyrka, bebyggelse och tid på dygnet. **Spridning i Luft 1.2** 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 vägen.

### 2.3.2 Bedömningskriterier

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.

### 2.3.3 Resultat

I Tabell B. 9 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario.

Tabell B. 9. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarioer vid transport av giftiga gaser.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)				Kommentar
		Inomhus		Utomhus		
		bredd	längd	bredd	längd	
Litet utsläpp (packningsläckage)	100%	0	0	4	10	Scenariot påverkar planområdet på en sida om riskkällan. Bara obebyggda delar.
	50%	0	0	20	30	
	5%	4	15	30	50	
Stort utsläpp (Stor punktering)	100%	20	50	140	250	Scenariot påverkar planområde på en sida om riskkällan. Både bebyggda och obebyggda delar.
	50%	80	260	240	370	
	5%	190	345	360	430	

I Tabell B. 10 redovisas uppskattat antal omkomna (utifrån förutsättningarna i avsnitt 1.1) inom det studerade området.

Tabell B. 10. Beräknade konsekvenser - antal omkomna, för skadescenarier vid transport av giftiga gaser.

Skadescenario	Antal omkomna	
	DP 4	DP 2
<b>Litet utsläpp (packningsläckage)</b>		
<i>Inomhus:</i>	0	0
<i>Utomhus:</i>	0	0
<b>Totalt:</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Stort utsläpp (Stor punktering)</b>		
<i>Inomhus:</i>	123	185
<i>Utomhus:</i>	74	110
<b>Totalt:</b>	<b>197</b>	<b>295</b>

## 2.4 KLASS 3. BRANDFARLIGA VÄTSKOR

### 2.4.1 Metodik

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 m<sup>2</sup>
- Stor pölbrand: 400 m<sup>2</sup>

Scenarierna godsvagnsbrand och tågbrand har inte studerats detaljerat eftersom de i den inledande analysen inte bedöms påverka risknivån inom området i någon större utsträckning, vilket beror på det stora avståndet till planerad bebyggelse.

Beräkningarna av den infallande värmestrålning som analyserade området utsätts för i händelse av olycka med påföljande brand genomförs med handberäkningar:

**Brandeffekt (Q)** – Brandeffekten beräknas utifrån pölarean och ansätts till att 1 MW genereras per kvadratmeter pölarea /4/.

**Flamhöjd (H<sub>f</sub>)** – Flamhöjden (m) kan beräknas som funktion av brandeffekten och pöldiametern (D) enligt följande ekvation /5/:  $H_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02D$

Ovanstående förhållande mellan brandeffekt och pölarea innebär att flamhöjden grovt kan uppskattas till  $H_f = D / 4$ .

---

/4/ Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005

/5/ Enclosure Fire Dynamics, Karlsson & Quintiere, 2000

**Utfallande strålning ( $I_0$ )** – Den utfallande strålningen ( $\text{kW/m}^2$ ) 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 /6/:

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

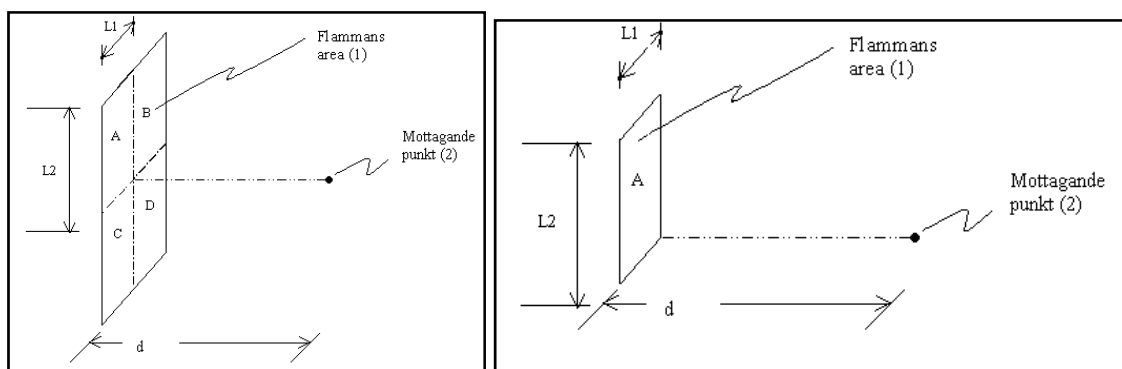
**Synfaktor (F)** – Synfaktorn (–) anger hur stor andel av den utfallande strålningen som når en mottagande punkt eller yta (se *Figur B.5*). Vid beräkningen av synfaktorn antas att branden är rektangulär så att flammans diameter är lika stor i toppen som i botten. Detta är ett konservativt antagande 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 /7/:  $F_{1,2} = F_{A1,2} + F_{B1,2} + F_{C1,2} + F_{D1,2}$

där  $F_{A1,2}$ ,  $F_{B1,2}$ ,  $F_{C1,2}$  och  $F_{D1,2}$  beräknas enligt följande:

$$F_{A1,2} = \int_0^{A_1} \frac{\cos \Theta_1 \cos \Theta_2}{\pi d^2} \cdot dA_1 \quad \text{där}$$

$\Theta_1 = \Theta_2 =$  infallande vinkel (d.v.s. 0) och  $A_1 = L_1 \times L_2$  enligt *Figur B.*



*Figur B.5. Synfaktor.*

Ovanstående ekvation kan omvandlas till följande ekvation för beräkning av respektive ytas (A, B, C och D) synfaktor /8/:

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

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

/6/ Radiation from large pool fires, Journal of Fire Protection Engineering, 1 (4), pp 141-150, Shokri & Beyler, 1989

/7/ An Introduction to Fire Dynamics – second edition, Drysdale, University of Edinburgh, UK 1999

/8/ Thermal Radiation Heat Transfer, 3rd ed., Seigel & Howell, USA 1992

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

Med hjälp av ovanstående samband och förutsättningar har brandeffekten, brandens diameter och flammhöjden för de olika pölbrandscenarierna (se *Tabell B. 11*).

*Tabell B. 11. Tabell med beräknade värden på effektutveckling, brandens diameter och flammhöjd samt utfallande värmestrålning.*

Scenario	Brinnande yta $A_F$ ( $\text{m}^2$ )	Utvecklad effekt Q (kW)	Brandens diameter $D_i$ (m)	Flammhöjd $H_i$ (m)	Utfallande strålning $I_0$ ( $\text{kW}/\text{m}^2$ )
Liten pölbrand	100	100 000	11,3	11,3	46,8
Stor pölbrand	400	400 000	22,6	22,6	37,7

Beräkningarna av den infallande strålningen redovisas i *Tabell B. 12*. Strålningen har beräknats på halva flammans höjd. I strålningsberäkningarna används konservativt ett värde på den utfallande strålningen på  $60 \text{ kW}/\text{m}^2$  för samtliga brandscenarier.

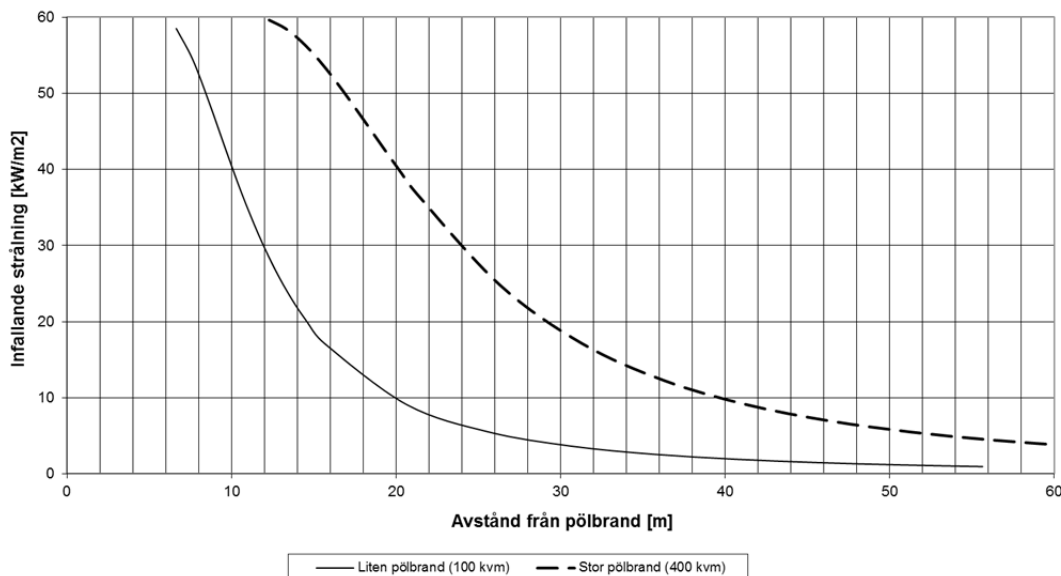
*Tabell B. 12. Beräkning av strålning och synfaktor på halva flammans höjd för olika avstånd från pölbranden.*

Avstånd (m)	Liten pölbrand		Stor pölbrand	
	$F_{1,2}$	$q_r''$	$F_{1,2}$	$q_r''$
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

I *Figur B.6* redovisas den infallande strålningen som funktion av avståndet från branden. I figuren beaktas även pölens radie, vilket ej beaktas i de avstånd som anges i *Tabell B. 12* som utgår från flammans kant.



## Infallande värmestrålning mot bebyggelse



Figur B.6. Infallande strålning som funktion av avståndet från pölbrand inkl. pölradie.

### 2.4.2 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. 13* redovisas exempel på strålningsnivåer och vilka skador dessa kan medföra avseende personskada respektive brandspridning. Enligt avsnitt 2.2.2 uppskattas att ca 15 % av de som får 2:a gradens brännskador kan omkomma.

Tabell B. 13. Effekter av olika strålningsnivåer /2,4/.

Konsekvens	Strålningsintensitet [kW m <sup>-2</sup> ]
Ingen smärta vid långvarig bestrålning av bar hud	≤ 1
<b>2:a gradens brännskada vid bestrålning under 1 minut</b>	
- 100 % sannolikhet	19
- 50 % sannolikhet	7,5
Ingen smärta vid bestrålning av bar hud under 1 minut	< 2,5
<b>2:a gradens brännskada vid bestrålning under 20 sekunder</b>	
- 100 % sannolikhet	43
- 50 % sannolikhet	17
Outhärdlig smärta vid bestrålning av bar hud under 2 sekunder	20
<b>Antändning av lättantändliga material, t.ex. gardiner</b>	
med sticklåga	10
vid långvarig bestrålning	20
<b>Antändning av obehandlat trä</b>	
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 hen reagerar. De strålningsnivåer och effekter som anges i *Tabell B. 13* har i *Tabell B. 14* omvandlats till en uppskattad andel omkomna beroende på strålningsnivå för personer som befinner sig utomhus.

*Tabell B. 14. Uppskattad sannolikhet för oskyddad person utomhus att omkomma som funktion av strålningsnivån vid pölbrand.*

Strålningsnivå	Andel omkomna
10 kW/m <sup>2</sup>	1 %
60 kW/m <sup>2</sup>	50 %
80 kW/m <sup>2</sup>	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. 13* så uppskattas den kritiska värmestrålningen vara 15 kW/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> omkommer.

### 2.4.3 Resultat

I *Tabell B. 15* redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario utifrån figur B.5 ovan. Den bullerdämpande skärm som planeras utmed järnvägen kommer att göras tät nedtill vilket förvärrar för utläckt vätska att rinna ner från vallen. I beräkningarna har ändå konservativt antagits att vätska har runnit ner för vallen och att en pöl bildats vid foten av vallen. Vallen har antagits vara ca 10 meter bred ut från spåret vilket innebär att en möjlig pöl skulle kunna uppstå 10 meter närmare än nedan redovisade avstånd. Detta innebär dock ändå att ingen bebyggelse ligger inom skadeområdet.

*Tabell B. 15. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av brandfarliga vätskor.*

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)	Kommentar
Liten pölbrand	10 % <i>inomhus</i>	17	Scenariot påverkar endast obebyggda delar på båda sidor om riskkällan.
	100 % <i>utomhus</i>	1	
	50 % <i>utomhus</i>	8	
	1 % <i>utomhus</i>	20	
Stor pölbrand	10 % <i>inomhus</i>	25	Scenariot påverkar endast obebyggda delar på båda sidor om riskkällan.
	100 % <i>utomhus</i>	2	
	50 % <i>utomhus</i>	10	
	1 % <i>utomhus</i>	28	

I Tabell B.16 redovisas uppskattat antal omkomna (utifrån förutsättningarna i avsnitt 1.1) inom det studerade området med ny bebyggelse inom planområdet respektive för nollalternativet (befintliga förutsättningar inom planområdet).

Tabell B. 16. Beräknade konsekvenser - antal omkomna, för skadescenarier vid transport av brandfarliga vätskor.

Skadescenario	Antal omkomna
	<b>DP 2 + DP 4</b>
<b>Liten pölbrand</b>	
<i>Inomhus:</i>	0
<i>Utomhus:</i>	0
<b>Totalt:</b>	0
<b>Stor pölbrand</b>	
<i>Inomhus:</i>	0
<i>Utomhus:</i>	0
<b>Totalt:</b>	0

## 2.5 KLASS 5. OXIDERANDE ÄMNEN OCH ORGANISKA PEROXIDER

### 2.5.1 Metodik

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 /9/.

Konsekvensberäkningarna för detta skadescenario motsvarar alltså det scenario som redovisas i avsnitt 2.1.

Det genomförs inga detaljerade konsekvensberäkningar för detta skadescenario. De fortsatta riskberäkningarna kommer istället att utgå från resultatet som redovisas i avsnitt 2.1.3 med avseende på explosion med 25 000 kg massexplosivämne. Detta är ett mycket konservativt antagande.

### 2.5.2 Bedömningskriterier

Se avsnitt 2.1.2.

---

/9/ Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, Stadsbyggandskontoret i Göteborg, 1996

## 2.5.3 Resultat

I Tabell B. 17 redovisas skadeavstånden för skadescenario med ämne ur klass 5.

Tabell B. 17. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av oxiderande ämnen och organiska peroxider.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)	Kommentar
<b>Explosionsartad självantändning</b>			
<b>Dimensionerande scenario</b> (motsvarar 2 000-4 000 kg massexplosion)	80 % <i>inomhus</i>	30	Scenariot påverkar på båda sidor om riskkällan. Både bebyggda och obebyggda delar.
	15 % <i>inomhus</i>	80	
	50 % <i>utomhus</i>	40	
<b>Värsta tänkbara scenario</b> (motsvarar > 4 000 kg massexplosion)	80 % <i>inomhus</i>	50	Scenariot påverkar planområdet områden på båda sidor om riskkällan.
	15 % <i>inomhus</i>	200	
	50 % <i>utomhus</i>	70	

I Tabell B. 18 redovisas uppskattat antal omkomna (utifrån förutsättningarna i avsnitt 1.1) inom det studerade området med ny bebyggelse inom planområdet respektive för nollalternativet (befintliga förutsättningar inom planområdet).

Tabell B. 18. Beräknade konsekvenser – antal omkomna, för skadescenarier vid transport av oxiderande ämnen och organiska peroxider.

Skadescenario	Antal omkomna
	<b>DP 2 + DP 4</b>
<b>Explosionsartad självantändning</b>	
<b>Dimensionerande scenario</b> (motsvarar 2 000-4 000 kg massexplosion)	
<i>Inomhus:</i>	14
<i>Utomhus:</i>	1
<b>Totalt:</b>	<b>15</b>
<b>Värsta tänkbara scenario</b> (motsvarar > 4 000 kg massexplosion)	
<i>Inomhus:</i>	180
<i>Utomhus:</i>	10
<b>Totalt:</b>	<b>190</b>

## 3 URSPÅRNING

---

### 3.1 METODIK

I bilaga A redovisas beräkningar av urspårningsfrekvens samt sannolikheten för att en järnvägsvagn kolliderar med kringliggande bebyggelse med sådan kraft att byggnaden rasar. Skadefrekvensen reduceras som funktion av avståndet från järnvägen och är beroende av tågets hastighet vid urspårningstillfället. Om järnvägen ligger högre än omgivningen, som Nynäsbanan gör genom studerat område, har tågets hastighet dock inte lika stor inverkan på det maximala konsekvensområdet. Om spåret går på en vall kan konsekvensområdet bli större än 25 meter eftersom tåget får ökad fart när det rullar nerför vallen. Vallen i aktuellt fall uppskattas dock inte vara större än uppskattningsvis ca 10 meter ut från respektive spår.

Konsekvensberäkningarna omfattar följande skadescenarier (hänsyn har tagits till vallen genom att addera 10 meter till "normala" skadeavstånd):

- Urspårning persontåg (maximalt skadeavstånd 15,1 m vid 140 km/h)
  - "Liten" urspårning, skadeavstånd < 15 meter
  - "Medelstor" urspårning, 15-20 meter
  - "Stor" urspårning, > 20 meter
- Urspårning godståg (maximalt skadeavstånd 12,6 m vid 140 km/h)
  - "Liten" urspårning, skadeavstånd < 15 meter
  - "Medelstor" urspårning, 15-20 meter
  - "Stor" urspårning, > 20 meter

### 3.2 BEDÖMNINGSKRITERIER

Det antas mycket grovt att personer utomhus omkommer om de vistas inom det avstånd från järnvägsspåret som den urspårade vagnen hamnar.

Sannolikheten för att omkomma till följd av byggnadskollaps eller att av byggnadsdelar rasar bedöms däremot vara beroende av byggnadens våningsantal. Desto lägre våningsantal desto lägre sannolikhet att omkomma. 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 urspårade vagnen hamnar.

## 3.3 RESULTAT

I tabell B.19 redovisas de maximala skadeavstånden för respektive skadescenario. Enligt bilaga A är dock sannolikheten för dessa "worst case"-scenarier givet en urspårning mycket låg.

Tabell B. 19. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid urspårning.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)		Kommentar
		bredd	längd	
"Liten" urspårning	50 % <i>inomhus</i>	230	10	Scenariot påverkar endast på en sida om riskkällan och enbart obebyggda delar.
	100 % <i>utomhus</i>			
"Medelstor" urspårning	50 % <i>inomhus</i>	95	15	Scenariot påverkar endast på en sida om riskkällan och enbart obebyggda delar.
	100 % <i>utomhus</i>			
"Stor" urspårning	50 % <i>inomhus</i>	15	20	Scenariot påverkar endast på en sida om riskkällan och enbart obebyggda delar.
	100 % <i>utomhus</i>			

I Tabell B. 20 redovisas uppskattat antal omkomna (utifrån förutsättningarna i avsnitt 1.1) inom det studerade området med ny bebyggelse inom planområdet respektive för nollalternativet (befintliga förutsättningar inom planområdet).

Tabell B. 20. Beräknade konsekvenser – antal omkomna, för skadescenarier vid urspårning.

Skadescenario	Antal omkomna	
	DP 4	DP 2
<b>"Liten" urspårning persontåg</b>		
<i>Inomhus:</i>	0	0
<i>Utomhus:</i>	0	0
<b>Totalt:</b>	0	0
<b>"Medelstor" urspårning persontåg</b>		
<i>Inomhus:</i>	0	0
<i>Utomhus:</i>	0	0
<b>Totalt:</b>	0	0
<b>"Stor" urspårning persontåg</b>		
<i>Inomhus:</i>	0	0
<i>Utomhus:</i>	0	0
<b>Totalt:</b>	0	0