

# **Risikanalys avseende hantering och transport av farligt gods**

**Underlag till förslag till detaljplan för  
Hornsbergs bussdepå m.m.**

Kristineberg, Stockholm

## **BILAGA B**

**KONSEKVENSBERÄKNINGAR**

## B.1 INLEDNING

I denna bilaga beräknas konsekvenserna av de olycksrisker (skadescenarier) förknippade med transporter av farligt gods som bedömts kunna påverka risknivån för ny bebyggelse inom det studerade planområdet, del av Kristinebergs Slott. Konsekvensberäkningarna beaktar följande olycksrisker:

- Olycka med transport av explosiva ämnen på Essingeleden (klass 1)
- Läckage och antändning av brännbara gaser (klass 2.1)
  - På Essingeleden
  - På avfarten från Essingeleden mot Lindhagensgatan
- Läckage av giftig gas på Essingeleden (klass 2.3)
- Läckage och antändning av brandfarlig vätska (klass 3)
  - På Essingeleden
  - På avfarten från Essingeleden mot Lindhagensgatan
  - På Lindhagensgatan öster om Essingeleden
- Olycka med oxiderande ämnen och organiska peroxider på Essingeleden (klass 5)

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

Huvudsakligen så studeras riskmättet **individrisk** i analysen, vilket innebär att konsekvensberäkningarna i första hand omfattar beräkningar av inom vilka avstånd och områden från olycksplatsen som personer kan förväntas omkomma. Det utförs ingen detaljerad studie av riskmättet **samhällsrisk** (se förklaring i huvudrapportens avsnitt 1.4.3). Samhällsrisk i området kommer dock att värderas genom en grov bedömning av huruvida det är rimligt att de identifierade olycksriskerna bidrar till en oacceptabelt hög risknivå beroende på dess frekvenser. Denna bedömning redovisas i bilaga C.

## B.2 BERÄKNINGAR SKADEAVSTÅND/-OMRÅDEN

### B.2.1 Klass 1. Explosiva ämnen

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

I bilaga A redovisas fyra olika explosionsscenarier utifrån en uppskattning av mängden explosivämne per transport. Det antas grovt att hela lasten exploderar vid detonation. I konsekvensberäkningarna kommer följande scenarier att studeras:

- 500 kg (transporter med < 500 kg/transport)
- 1 ton (transporter med 500 kg -1 ton/transport)
- 5 ton (transporter med 1-5 ton/transport)
- 16 ton (transporter med > 5 ton/transport)

#### B.2.1.1 Bedömningskriterier

Vid en explosion kan kriteriet för att personer omkommer delas upp i två faktorer, antingen:

1. *att personen befinner sig oskyddad utomhus och omkommer direkt av explosionens tryckuppbyggnad eller*
2. *att personen befinner sig i en byggnad och omkommer då denna rasar på grund av explosionens tryckuppbyggnad.*

En människa tål tryck relativt bra och riskerar i huvudsak att förolyckas p.g.a. kringflygande föremål eller p.g.a. att de faller 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.

---

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

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 /2/:

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

I tabell B.1 anges karaktäristiska tryck ( $P_C$ ) respektive impulstäthet ( $I_C$ ) för olika byggnadsdelar beroende på byggnadsstrategi och bärighet /2/.

Tabell B.1. Karaktäristiska 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>		
1	- Bärande ytterväggar av 20 cm betong (och invändiga pelare)	200	2,5
2	- Bärande tvärvägg och utfackade längsgående ytterväggar	200	2,5
	<i>Stomme i monterad betong</i>		
3	- Pelar/balk-stomme	200	3,1
4	- Bärande väggar i elementhus	200	3,1
<b>Ikke bärande konstruktioner</b>			
5	- Lätta utfackningsväggar (plåtkassetter) i pelarhus	5	0,5
6	- Medeltunga utfackningsväggar (regelstomme & fasadtegelskal)	5	1,0

I rapporten *Översiktsplan för Göteborg – fördjupad för sektorn transporter av farligt gods* anges att en tegelbyggnad och äldre betongbyggnader klarar av ett infallande tryck på ca 20 kPa, medan nyare betongbyggnader kan klara ca 40 kPa /3/.

### 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, se avsnitt B.2.1.

Beräkningarna följer den metodik som anges i FOA:s kurskompendium *Konsekvenser vid explosioner* /4/.

I figur B.1-B.3 nedan redovisas beräkningar avseende tryck, impulstäthet och varaktigheten som en funktion av avståndet vid en respektive explosionsscenario. Det explosiva ämnet antas vara trotyl, vilket är ett konservativt antagande med avseende på skadeområden. Explosionen

- 
- /2/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker, FOA, September 1997
- /3/ Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, 1996
- /4/ Konsekvenser vid explosioner – kompendium framtaget i samband med FOAs kurs explosivämneskunskap, FOA, Rickard Forsén 1999-09-03 (Bearbetat av Stefan Olsson 2001-09-16)

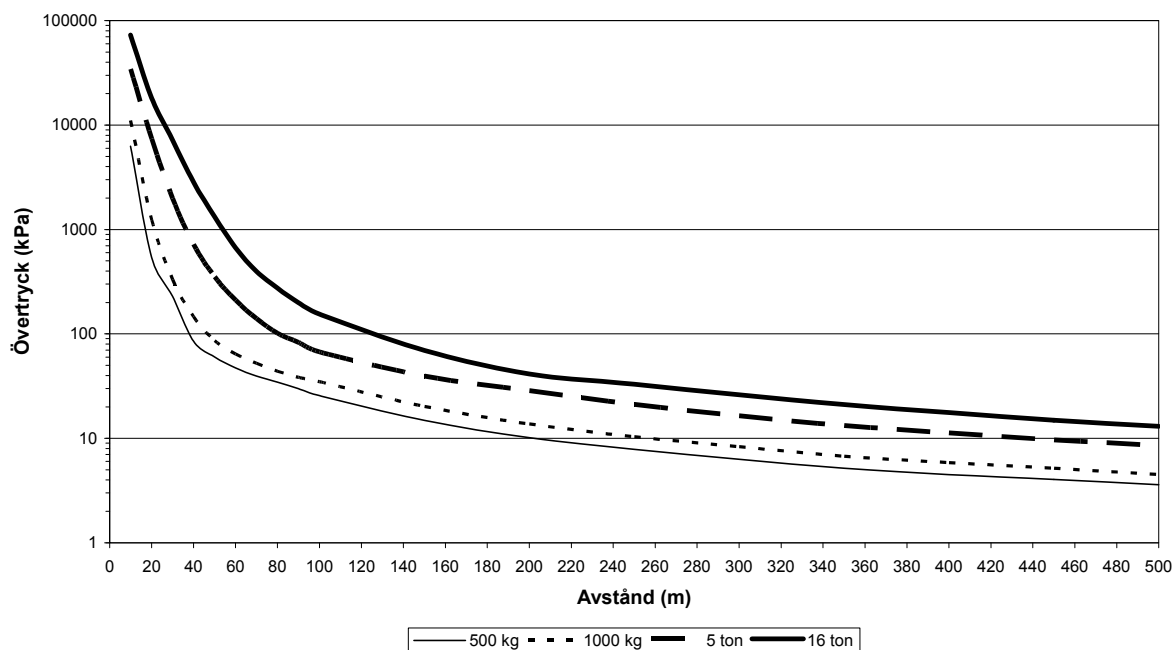
förutsätts inträffa på eller nära marken, vilket för en detonation av X kg motsvarar en detonation av  $1,8 \cdot X$  kg i fri luft.

Först beräknas det s.k. infallande trycket respektive impulstätheten, vilket kan uppmätas vid strykande infall av trycket över en yta, d.v.s. om ytan som trycket faller in mot ligger i linje med tryckvågen. Då den nya bebyggelsen planeras längs med vägen faller dock trycket in vinkelrätt mot byggnaderna, vilket innebär högre tryck och impulstäthet p.g.a. det reflekterande trycket. Hur mycket högre tryck och impulstäthet blir beror av den infallande vinkeln samt den beräknade trycknivån ( $P_+$ ). Vid större avstånd är kvoten mellan reflekterat och infallande tryck störst vid ett vinkelrätt tryckinfall ( $90^\circ$ ).

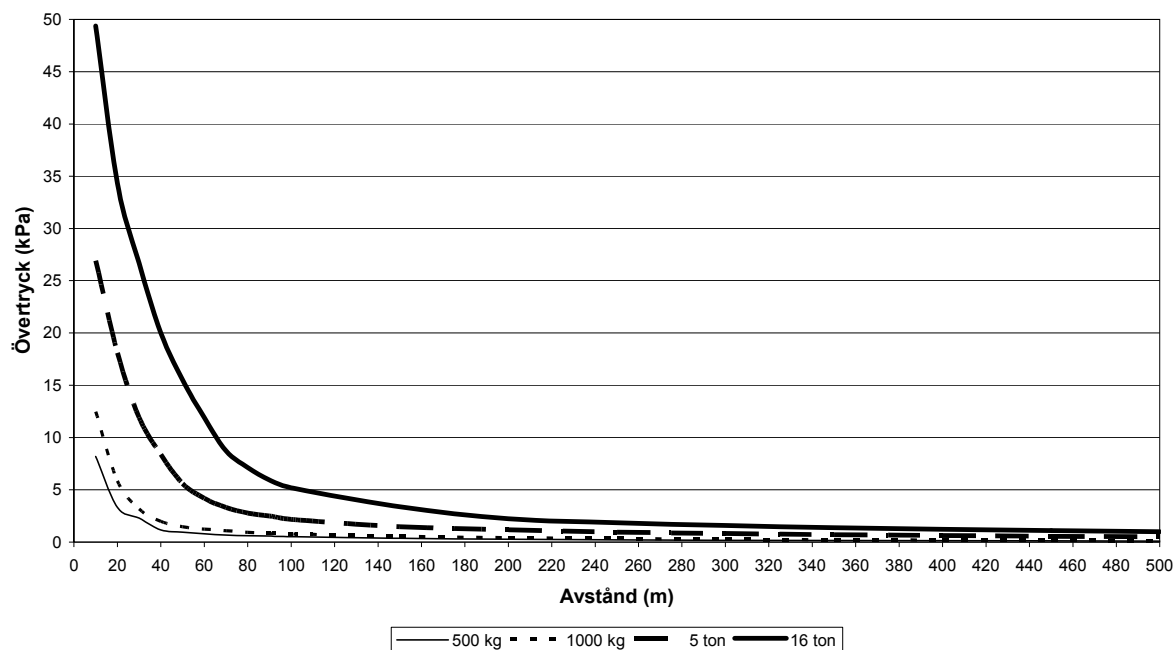
I figur B.1 och B.2 visas infallande tryck respektive impulstäthet vid vinkelrätt infall ( $90^\circ$ ).

Explosionens varaktighet  $t_+$  beräknas grovt enligt följande ekvation och blir samma oavsett infallande vinkel (figur B.3) /4/:

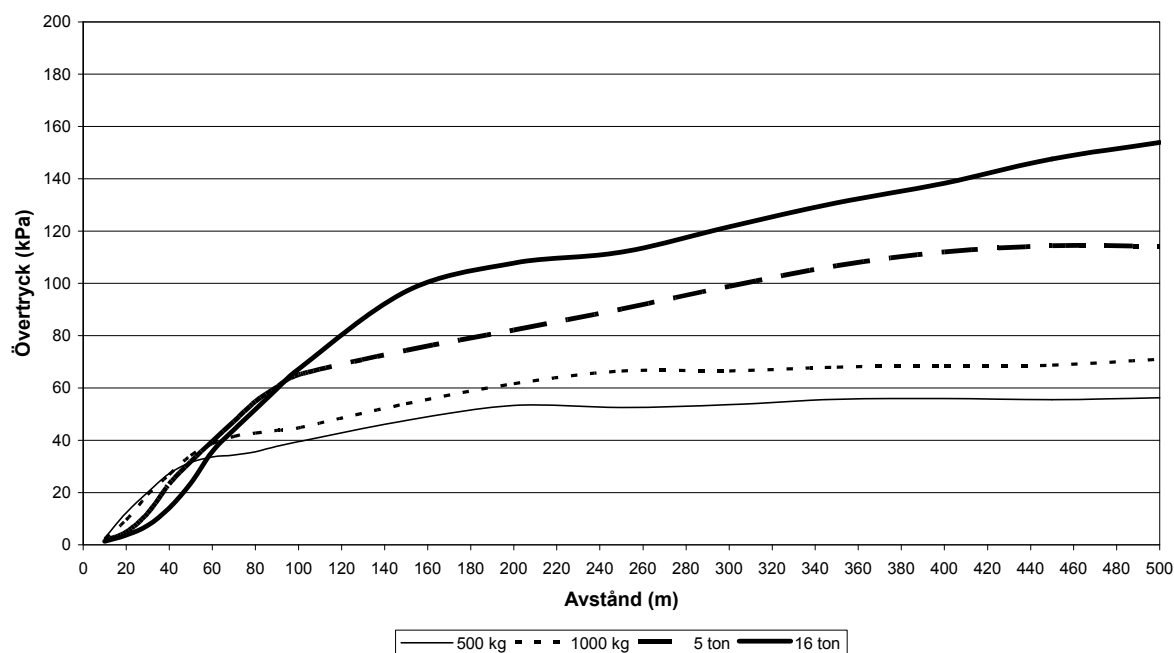
Ekvation B.2. 
$$t_+ = \frac{2 \times I_+}{P_+}$$



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.



Figur B.3. Varaktighet som funktion av avståndet från explosion vid detonation av trotyl på eller nära mark.

### B.2.1.3 Beräkning av skadeområde

En oskyddad människa utomhus kan enligt ovan omkomma om trycket av en explosion överstiger 180 kPa. Andelen påverkade personer som förolyckas är dock begränsat för detta tryck, men stiger med ett ökat tryck (se ovan). I tabell B.2 redovisas avståndet inom vilket

respektive tryck kan uppnås vid explosion med respektive mängd trotyl. Avstånden 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. Avstånd inom vilket övertrycket överstiger  $X$  kPa vid en explosion med trotyl.

Andel omkomna	Kritiskt tryck	Avstånd			
		500 kg	1000 kg	5 ton	16 ton
1 %	180 kPa	20 m	25 m	40 m	60 meter
50 %	260 kPa	17 m	20 m	35 m	50 meter
99 %	350 kPa	15 m	18 m	30 m	45 meter

Avstånden i tabell B.2 kan jämföras med vad man i /5/ anger med avseende på inom vilket avstånd som dödliga skador kan uppnås vid en explosion med 15-25 ton massexplosiva ämnen, nämligen ca 60 meter.

För byggnadsdelar studeras bärande respektive icke bärande konstruktioner. För bärande konstruktioner redovisas enbart en kategori, medan de icke bärande konstruktionerna delas upp i lätta respektive medeltunga utfackningsväggar. I tabell B.3-B.6 redovisas resultatet av ekvation B.1 som funktion av avståndet från Essingeleden enligt figur B.1 och B.2. Grön respektive röd markering anger om byggnadsdelen rasar eller ej, d.v.s. om ekvation B.1 uppfylls eller ej.

Tabell B.3. Bedömning av huruvida olika byggnadsdelar raserar eller inte vid explosion med **500 kg trotyl** beroende på avståndet (meter) från explosionen **Grön** = byggnadsdel rasar ej; **Röd** = byggnadsdel rasar.

Avstånd	Vinkelrätt infall (90°)		
	Bärande konstruktioner	Lätta icke bärande konstruktioner	Medeltunga icke bärande konstruktioner
10	0.3	0.1	0.1
20	1.1	0.2	0.3
30	2.0	0.2	0.5
40	4.5	0.5	0.9
50	6.0	0.6	1.1
60	7.4	0.7	1.4
70	8.8	0.9	1.6
80	9.8	1.0	1.8
90	11.1	1.1	1.9
100	12.7	1.2	2.2
150	20.5	1.8	3.2
200	29.0	2.3	4.2

/5/ Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, Stadsbyggandskontoret i Göteborg, 1996

Tabell B.4. Bedömning av huruvida olika byggnadsdelar raserar eller inte vid explosion med **1000 kg trotyl** beroende på avståndet (meter) från explosionen **Grön** = byggnadsdel rasar ej; **Röd** = byggnadsdel rasar.

Avstånd	Vinkelrätt infall (90°)		
	Bärande konstruktioner	Lätta icke bärande konstruktioner	Medeltunga icke bärande konstruktioner
10	0.2	0.0	0.1
20	0.6	0.1	0.2
30	1.4	0.2	0.3
40	2.6	0.3	0.5
50	4.0	0.4	0.7
60	5.1	0.5	0.9
70	6.1	0.6	1.0
80	7.2	0.6	1.2
90	8.2	0.7	1.3
100	8.9	0.8	1.4
150	14.4	1.2	2.1
200	20.5	1.5	2.7

Tabell B.5. Bedömning av huruvida olika byggnadsdelar raserar eller inte vid explosion med **5 ton trotyl** beroende på avståndet (meter) från explosionen **Grön** = byggnadsdel rasar ej; **Röd** = byggnadsdel rasar.

Avstånd	Vinkelrätt infall (90°)		
	Bärande konstruktioner	Lätta icke bärande konstruktioner	Medeltunga icke bärande konstruktioner
10	0.1	0.0	0.0
20	0.2	0.0	0.1
30	0.3	0.0	0.1
40	0.6	0.1	0.1
50	1.0	0.1	0.2
60	1.5	0.1	0.3
70	2.2	0.2	0.3
80	2.9	0.2	0.4
90	3.4	0.3	0.5
100	4.1	0.3	0.5
150	6.8	0.5	0.8
200	9.1	0.6	1.0
250	12.1	0.8	1.3
300	15.3	0.9	1.5
350	18.6	1.1	1.8
400	21.7	1.2	2.0

Tabell B.6. Bedömning av huruvida olika byggnadsdelar raserar eller inte vid explosion med **16 ton trotyl** beroende på avståndet (meter) från explosionen **Grön** = byggnadsdel rasar ej; **Röd** = byggnadsdel rasar.

Avstånd	Vinkelrätt infall (90°)		
	Bärande konstruktioner	Lätta icke bärande konstruktioner	Medeltunga icke bärande konstruktioner
10	0.1	0.0	0.0
20	0.1	0.0	0.0
30	0.1	0.0	0.0
40	0.2	0.0	0.1
50	0.3	0.0	0.1
60	0.5	0.0	0.1
70	0.8	0.1	0.1
80	1.1	0.1	0.2
90	1.4	0.1	0.2
100	1.8	0.1	0.2
150	3.6	0.2	0.4
200	6.0	0.3	0.6
250	7.4	0.4	0.7
300	9.3	0.5	0.8
350	11.3	0.6	1.0
400	13.4	0.7	1.1
450	15.7	0.8	1.2
500	17.9	0.9	1.4

Utifrån resultaten i tabellerna ovan bedöms de skadeavstånd, inom vilka hela eller delar av, byggnader rasar vid en respektive explosionsscenario, se tabell B.7. Observera att de infallande tryck som redovisas i figur B.1 gäller för en byggnad 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.

Tabell B.7. Avstånd inom vilka byggnader uppskattas rasa, helt eller delvis, vid en explosion på Essingeleden.

Konsekvens	Skadeavstånd			
	500 kg	1000 kg	5 ton	16 ton
<b>Helt oskyddad byggnad utan framförliggande bebyggelse</b>				
Hela byggnaden rasar, inkl. bärande konstruktioner	10-20 m	20-30 m	40-50 m	70-80 m
Icke bärande <u>lätta</u> ytterväggar samt vissa icke bärande <u>lätta</u> innerväggar rasar	70-80 m	100-150 m	300-350 m	> 500 m
Icke bärande <u>medeltunga</u> ytterväggar samt vissa icke bärande <u>medeltunga</u> innerväggar rasar	40-50 m	60-70 m	150-200 m	300-350 m
<b>Byggnad som helt, eller delvis är skyddad av framförliggande bebyggelse</b>				
Hela byggnaden rasar, inkl. bärande konstruktioner	< 10 m	10-20 m	20-30 m	40-50 m
Icke bärande <u>lätta</u> ytterväggar samt vissa icke bärande <u>lätta</u> innerväggar rasar	20-30 m	30-40 m	80-90 m	150-200 m

Icke bärande <u>medeltunga</u> ytterväggar samt vissa icke bärande <u>medeltunga</u> innerväggar rasar	10-20 m	20-30 m	50-60 m	100-150 m
--	---------	---------	---------	-----------

Sannolikheten för att omkomma till följd av byggnadskollaps eller att av byggnadsdelar rasar bedöms vara beroende av bl.a. byggnadens våningsantal. I de fortsatta beräkningarna antas det grovt att ca 50 % av de personer som vistas inomhus inom skadeavstånden för total byggnadskollaps (d.v.s. hela byggnaden rasar, inkl. bärande konstruktioner i tabell B.7) omkommer. I byggnader där enbart icke bärande konstruktioner rasar antas grovt 25 % av personerna omkomma.

## B.2.2 Klass 2.1. Brännbara gaser

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

- *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.
- *Exploderande gasflaskor*: Motsvarande explosion då gasflaskor utsätts för en utbredd brand.

### 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 tankbil (ca 25 ton gas) samt för gasflaskor (ca 10-45 kg per flaska med totalt ca 20 ton per transport). Det antas grovt att samtliga transporter innehåller tryckkondenserad gasol.

#### *Tankbil*

Följande indata har angetts i **Gasol** med avseende på tankutformning, väder etc.

- Lagringstemperatur: 15°C
- Lagringstryck: 7 bar övertryck vid 15°C
- Tankdiameter: 2 meter
- Tanklängd: 18 meter
- Tankfyllnadsgrad: 80 %
- Tankens tomma vikt: 50 000 kg
- Designtryck: 15 bar övertryck
- Bristningstryck: 4 x designtrycket
- Lufttryck: 760 mmHg
- Väder: 15°C, 50% luftfuktighet, dag och klart

- Omgivning: Tätortsförhållanden

Skadescenarierna jetflamma respektive gasmolnsexplosion har simulerats för följande utsläppsstorlekar /6/:

- Litet utsläpp: 0,09 kg/s
- Medelstort utsläpp: 0,9 kg/s
- Stort utsläpp: 17,8 kg/s

### ***Gasolflaskor***

I förhållande till den indata som angetts i **Gasol** för beräkningarna med tankbil gäller följande för beräkningarna med gasolflaskor:

- Tankdiameter: 0,3 meter
- Tanklängd: 0,5 meter
- Tankfyllnadsgrad: 80 %
- Tankens tomma vikt: 10 kg
- Designtryck: 10 bar övertryck
- Bristningstryck: 4 x designtrycket

För jetflamma respektive gasmolnsexplosion vid utsläpp från gasolflaskor studeras endast litet och stort utsläpp:

- Litet utsläpp: 3,3 kg/s (avslagen flaskventil på en flaska)
- Stort utsläpp: 16,5 kg/s (avslagen flaskventil på 5 flaskor)

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.

---

/6/ Farligt gods – riskbedömning vid transport, Räddningsverket Karlstad, 1996

### B.2.2.2 Beräkningar och resultat

I tabell B.6 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.

I några av simuleringarna med gasolflaskor har det identifierats att mängden gasol i de beräknade gasmolnen överstiger den totala mängden i respektive behållare. Dessa fel har beaktats genom att reducera gasmolnets volym i förhållande till differensen i mängden gasol. Detta har även antagits gälla för det skadedrabbade områdets längd respektive bredd.

Skadeområdena som anges i tabell B.6 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 /7/. Det uppskattas grovt att motsvarande för de som får 3:e gradens brännskada är ca 50 %. För respektive scenario har även varaktigheten beräknats. För personer inomhus är sannolikheten att omkomma relativt låg, men uppskattas till 5-10 % inom skadeområdet där strålningen kan leda till 2:a gradens brännskada.

Tabell B.8. Beräknade skadeområden vid olika skadescenarier med utsläpp och antändning av brännbar gas.

Skadescenario	Skadeområde utomhus	
	2:a gradens	3:e gradens
<b>Tankbil</b>		
Litet utsläpp (0,09 kg/s) – jetflamma	4,8 x 6 m	3,8 x 4 m
Litet utsläpp (0,09 kg/s) – gasmolnsexplosion	~ 5 x 0 m	~ 5 x 0 m
Medelstort utsläpp (0,9 kg/s) – jetflamma	13 x 14 m	12 x 10 m
Medelstort utsläpp (0,9 kg/s) – gasmolnsexpl.	70 x 50 m	70 x 50 m
Stort utsläpp (17,8 kg/s) – jetflamma	56 x 60 m	49 x 44 m
Stort utsläpp (17,8 kg/s) – gasmolnsexplosion	185 x 215 m	175 x 215 m
BLEVE	Radie 221 m	Radie 143 m
<b>Gasolflaskor</b>		
Litet utsläpp (3,3 kg/s) – jetflamma	24 x 26 m	21 x 20 m
Litet utsläpp (3,3 kg/s) – gasmolnsexplosion *	87 x 47 m	87 x 47 m
Stort utsläpp (16,5 kg/s) – jetflamma	54 x 58 m	48 x 42 m
Stort utsläpp (16,5 kg/s) – gasmolnsexplosion *	97 x 60 m	97 x 60 m
Exploderande gasflaskor (BLEVE)	Radie 29 m	Radie 17 m

\* Skadeområden har beräknats om med avseende på fel i beräkningsprogrammet Gasol.

/7/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, andra reviderade och utökade upplagan, Försvarets Forskningsanstalt, September 1997

### B.2.3 Klass 2.3. Giftig gas

Den icke brännbara men giftiga gasen antas bestå av tryckkondenserad ammoniak, som är en av de giftigaste gaserna som transporteras i större tankar på vägarna i Sverige. Giftigare gaser, som t.ex. klor transporteras normalt i begränsade mängder på väg, medan de större transporterarna går på järnväg. Beräkningar har även utförts för svaveldioxid som förväntas bli allt vanligare vid farligt godstransporter på väg. Med simuleringsprogrammet **Spridning i Luft 1.2** beräknas storleken på det område där koncentrationen ammoniak respektive svaveldioxid antas vara dödlig (inomhus och utomhus).

#### B.2.3.1 Indata

Utsläppssimuleringarna har utförts för tankbil rymmandes ca 24 ton ammoniak respektive svaveldioxid. Följande indata har angetts i **Spridning i Luft** med avseende på tankutformning, omgivningsstruktur och väder etc.

- Kemikalie: Ammoniak respektive Svaveldioxid
- Emballage: Tankbil (24 ton)
- Bebyggelse: Tät skog/stad ( $\rho = 1,0$ )
- Lagringstemperatur: 15°C
- Väder: 15°C, vår, dag och klart

I programmet **Spridning i Luft** finns utsläppsscenarioer fördefinierade, vilket innebär att utsläppsflödet för ammoniak och för svaveldioxid skiljer sig något från varandra för motsvarande scenario:

	Ammoniak	Svaveldioxid
• Litet utsläpp (packningsläckage):	0,34 kg/s	0,27 kg/s
• Medelstort utsläpp (brott på rör):	10 kg/s	4,6 kg/s
• Stort utsläpp (stor punktering):	85 kg/s	67 kg/s

Gasernas 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 beroende på avståndet till utsläppskällan. 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.

### B.2.3.2 Beräkningar och resultat

I tabell B.9 redovisas de erhållna skadeområdena vid utsläppssimulering för ammoniak respektive svaveldioxid som erhålls efter 30 minuter från utsläppets start.

Tabell B.9. 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
<b>Tankbil(ammoniak)</b>			
Litet utsläpp	100 %	-	-
	50 %	10 x 4	-
	5 %	15 x 10	-
Medelstort utsläpp	100 %	30 x 20	-
	50 %	60 x 30	20 x 10
	5 %	90 x 50	35 x 20
Stort utsläpp	100 %	100 x 50	-
	50 %	170 x 100	15 x 10
	5 %	225 x 130	70 x 30
<b>Tankbil (svaveldioxid)</b>			
Litet utsläpp	100 %	5 x 2	-
	50 %	10 x 6	-
	5 %	20 x 10	-
Medelstort utsläpp	100 %	35 x 20	-
	50 %	50 x 30	15 x 5
	5 %	70 x 40	25 x 10
Stort utsläpp	100 %	160 x 100	10 x 10
	50 %	225 x 130	55 x 25
	5 %	275 x 150	100 x 40

### 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: 50 m<sup>2</sup>
- Medelstor pölbrand: 200 m<sup>2</sup>
- Stor pölbrand: 400 m<sup>2</sup>
- Tankbilsbrand Motsvarar ”Stor pölbrand” utan hänsyn tagen till pölradie.

### 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 /8/ och /9/ anges exempel på strålningsnivåer och vilka skador dessa kan medföra avseende personskada respektive brandspridning. Enligt /8/ uppskattas det att ca 15 % av de som får 2:a gradens brännskador kan omkomma. Utifrån dessa nivåer redovisas i tabell B.10 en uppskattad andel omkomma beroende på strålningsnivå för oskyddade personer som befinner sig **utomhus**. Hänsyn tas då även till den relativt höga sannolikheten för att personer som befinner sig utomhus försöker sätta sig i säkerheten om de upptäcker en större brand.

Tabell B.10. Avstånd inom vilken strålningsnivån överstiger  $X \text{ kW/m}^2$  vid pölbrand. Utomhus

Strålningsnivå	Andel omkomna
10 $\text{kW/m}^2$	1 %
60 $\text{kW/m}^2$	50 %
80 $\text{kW/m}^2$	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. Den kritiska strålningsnivån kan variera något beroende på byggnadsmaterial, men med hänsyn till risken för spridning via fönster och andra öppningar antas strålningsnivån för brandspridning vara  $15 \text{ kW/m}^2$ . Sannolikheten för att omkomma bedöms dock vara relativt låg och uppskattas till ca 5-10 % inom skadeområdet där strålningen överstiger  $15 \text{ kW/m}^2$ .

### 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 följande moment:

- Beräkning av brandeffekt
- Beräkning av flammans höjd och temperatur
- Beräkning av synfaktor
- Beräkning av 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

---

/8/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, andra reviderade och utökade upplagan, Försvarets Forskningsanstalt, September 1997

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

hur mycket av den från branden emitterade strålningen som når olika punkter i omgivningen. Temperaturen hos flammen ligger till grund för beräkningen av hur mycket infallande strålning som mottas av ytor på olika avstånd från branden.

Brandeffekt

Brandeffekten erhålls genom följande samband /10/:

$$\text{Ekvation B.3.} \quad \dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot \Delta H_c \cdot A_f \quad \text{där}$$

$\dot{Q}$  = utvecklad effekt (kW)

$\chi$  = förbränningseffektivitet (i de flesta används värdet 0,7 /10/)

$\dot{m}''$  = förbränningshastighet per ytenhet (kg/m<sup>2</sup>s)

$\Delta H_c$  = förbränningsvärme (MJ/kg)

$A_f$  = brinnande yta (m<sup>2</sup>)

Ekvationen gäller förutsatt att pölbrandens diameter är relativt stor (>2 m). För bensin gäller följande /10/:

$$\dot{m}'' = 0,055 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$\Delta H_c = 43,7 \text{ MJ/kg}$$

### **Flamhöjd**

Flamhöjden  $H_f$  (m) beräknas med följande ekvation /10/:

$$\text{Ekvation B.4.} \quad H_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad \text{där}$$

D = pöldiameter

### **Flamtemperatur**

Flamtemperaturen  $T_f$  utgör medeltemperaturen i flammen. Temperaturen i flamspetsen är ca 540°C (813 K) /11/. Vid lägre temperaturer förlorar flammen sin laminära karaktär. Om flammans maximala temperatur bestäms till 1000°C (1273 K) /12/ kan medeltemperaturen i flammen bestämmas. Den maximala flamtemperaturen är bland annat beroende av vilket

/10/ Enclosure Fire Dynamics, Karlsson & Quintiere, 2000

/11/ Fire safety of bare external structural steel, Law & O'Brien, Constrado, 1981

/12/ An Introduction to Fire Dynamics – second edition, Drysdale, University of Edinburgh, UK 1999

material som brinner och storleken på branden. Medeltemperaturen används i beräkningen av strålningen från flammen och erhålls enligt:

$$\text{Ekvation B.5.} \quad T_f = \left( \frac{1273^4 + 813^4}{2} \right)^{1/4} = 1112K$$

### Synfaktor

Synfaktorn  $F$  anger hur stor andel av den emitterade strålningen som når en mottagande punkt eller yta (se figur B.4).

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.

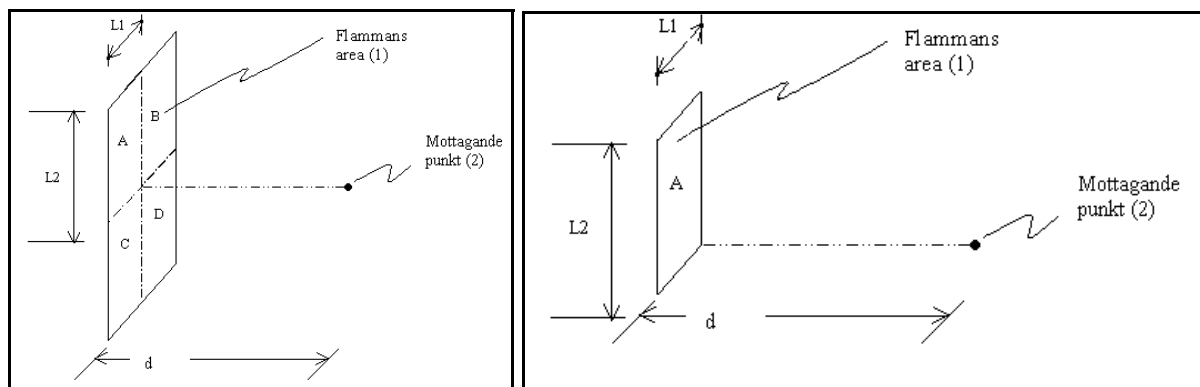
Synfaktorn  $F_{1,2}$  mellan flaman och den mottagande punkten är en geometrisk konstruktion som beräknas enligt /12/:

$$\text{Ekvation B.6.} \quad F_{1,2} = F_{A1,2} + F_{B1,2} + F_{C1,2} + F_{D1,2}$$

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

$$\text{Ekvation B.7.} \quad F_{A1,2} = \int_0^{A_1} \frac{\cos \Theta_1 \cos \Theta_2}{\pi d^2} \cdot dA_1 \quad \text{där}$$

$\Theta_1 = \Theta_2 =$  infallande vinkel (d.v.s. 0) och  $A_1 = L_1 \cdot L_2$  enligt figur B.4.



Figur B.4. Synfaktor.

Ekvation B.7 kan omvandlas till följande ekvation för beräkning av respektive ytas (A, B, C och D) synfaktor /13/:

/13/

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

Ekvation B.8. 
$$F_{A12} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \quad \text{där}$$

$X = \frac{L_1}{d}$  och  $Y = \frac{L_2}{d}$  enligt figur B.4.

Om ytorna A, B, C och D är lika stora betyder det att den mest kritiska punkten på avståndet  $d$  från branden studeras.

### **Infallande strålning**

Den från branden infallande värmestrålningen som når omgivningen varierar med flammans temperatur, synfaktorn och den brinnande massans emissivitet. Emissiviteten, det vill säga materialets förmåga att avge värmeenergi, är beroende av materialets temperatur och egenskaper, särskilt vid ytan. Exempelvis kan sägas att en blankpolerad yta har mycket lägre emissivitet än en mörk skrovlig yta. Den infallande strålningen beräknas genom:

Ekvation B.9. 
$$q_r'' = \varepsilon \sigma F T_f^4 \quad \text{där}$$

$q_r''$  = Infallande strålning (kW/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Emissionstal

$\sigma$  = Stefan-Boltzmanns konstant (=  $5.67 \times 10^{-11}$  kW/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

$F$  = Synfaktor

$T_f$  = Flammans medeltemperatur

Emissionstalet för en flamma varierar med materialets egenskaper och tjockleken på flaman. För stora bränder antas emissionstalet vara 1, vilket är ett konservativt antagande.

### **B.2.4.3 Beräkningar och resultat**

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

Tabell B.11. Tabell med beräknade värden på effektutveckling, brandens diameter och flamhöjd.

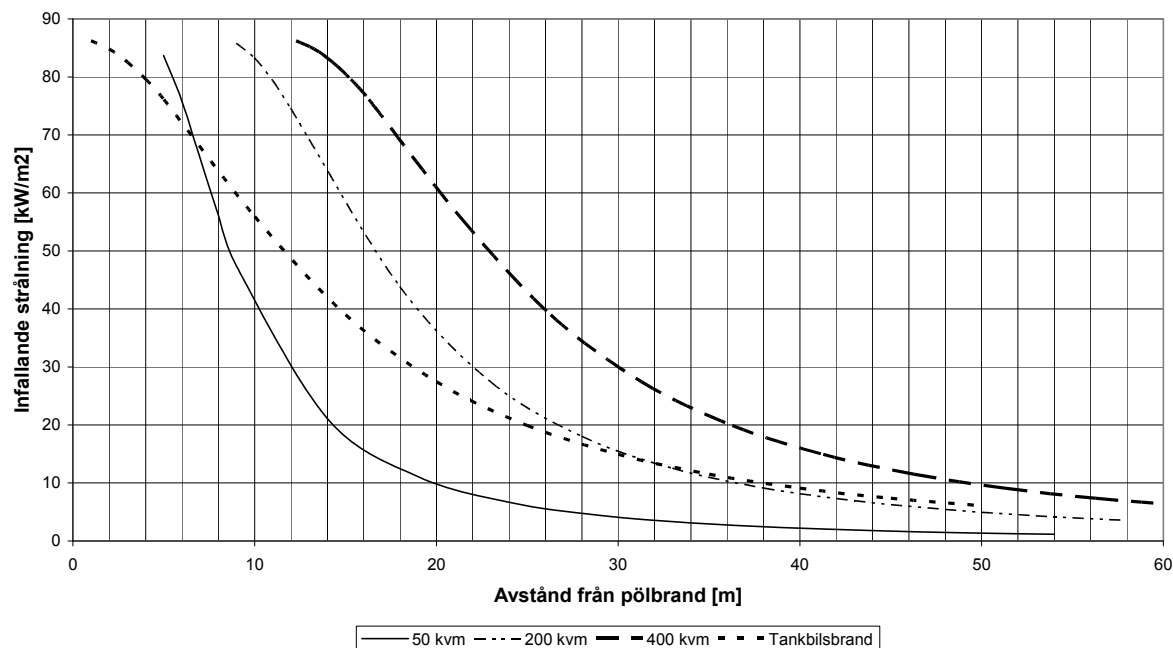
Scenario	Brinnande yta (m <sup>2</sup> )	Utvecklad effekt (kW)	Brandens diameter D <sub>f</sub> (m)	Flamhöjd H <sub>f</sub> (m)
Liten pölbrand	50	84 123	8,0	13,3
Medelstor pölbrand	200	336 490	16,0	21,1
Stor pölbrand/Tankbilsbrand	400	672 980	22,6	26,3

Beräkningarna av den infallande strålningen redovisas i tabell B.12 nedan. Strålningen har beräknats på halva flammans höjd.

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

Avstånd (m)	50 m <sup>2</sup>		200 m <sup>2</sup>		400 m <sup>2</sup> / Tankbilsbrand	
	$F_{1,2}$	$q_r''$	$F_{1,2}$	$q_r''$	$F_{1,2}$	$q_r''$
5	0.55	47.45	0.80	69.28	0.88	76.10
10	0.24	21.14	0.51	43.84	0.65	55.95
15	0.13	11.09	0.32	27.43	0.45	39.00
20	0.08	6.67	0.21	18.05	0.32	27.46
25	0.05	4.41	0.14	12.55	0.23	19.91
30	0.04	3.12	0.11	9.15	0.17	14.91
35	0.03	2.32	0.08	6.93	0.13	11.50
40	0.02	1.79	0.06	5.41	0.10	9.10
45	0.02	1.42	0.05	4.34	0.08	7.36
50	0.01	1.16	0.04	3.55	0.07	6.07

I figur B.5 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.12 som utgår från flammans kant.



Figur B.5. . 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.13 nedan.

Tabell B.13. Sammanställning av skadeområden för kritiska strålningsnivåer vid pölbrand.

Strålningsnivå	Konsekvens				
	50 kvm	200 kvm	400 kvm	Tankbil	
10 kW/m <sup>2</sup>	20 m	36 m	49 m	36 m	1 % antas omkomna utomhus
60 kW/m <sup>2</sup>	8 m	15 m	20 m	9 m	50 % antas omkomma utomhus
80 kW/m <sup>2</sup>	5 m	11 m	15 m	4 m	100 % antas omkomma utomhus
15 kW/m <sup>2</sup>	16 m	30 m	41 m	30 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 bensen, motorolja etc.), kan leda till självantändning och kraftiga explosionsförlopp. Explosionen kan då liknas vid en explosion av massexplosiva ämnen.

Vid transport på väg kan ett utsläpp innebära att det oxiderande ämnet blandas med fordonets smörj- och drivmedel (organiskt material). Denna blandning kan motsvara ca 3 ton trotyl /14/.

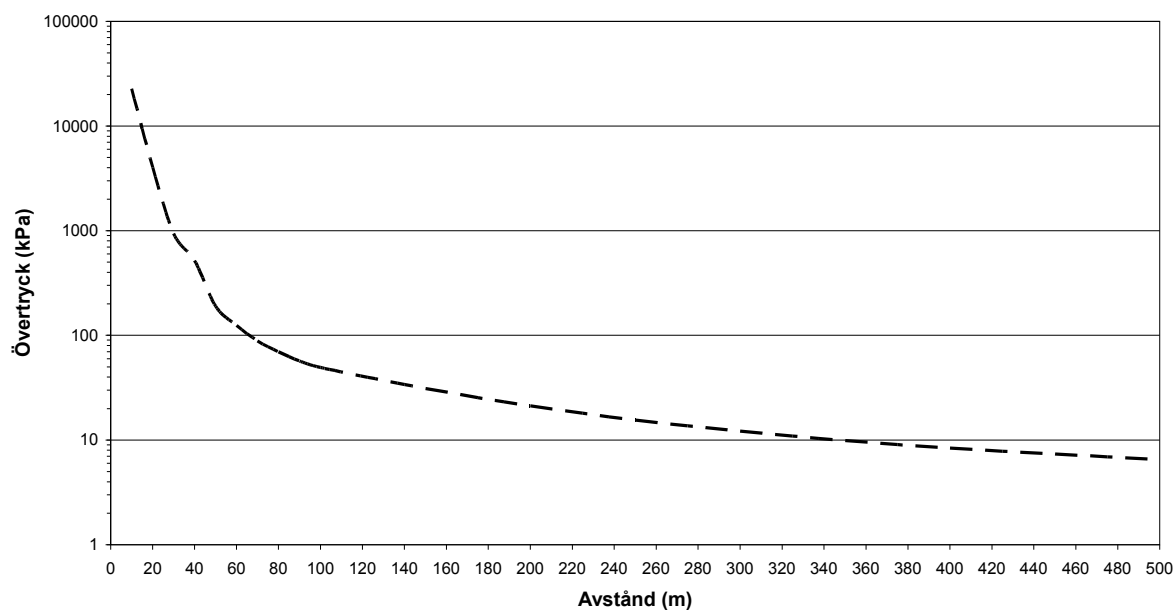
Konsekvensberäkningarna för detta skadescenario utgår från de skadekriterier och den beräkningsmetodik som används för olyckor förknippade med klass 1 (se avsnitt B.2.1).

### B.2.5.1 Beräkning av infallande tryck, impulstäthet och varaktighet

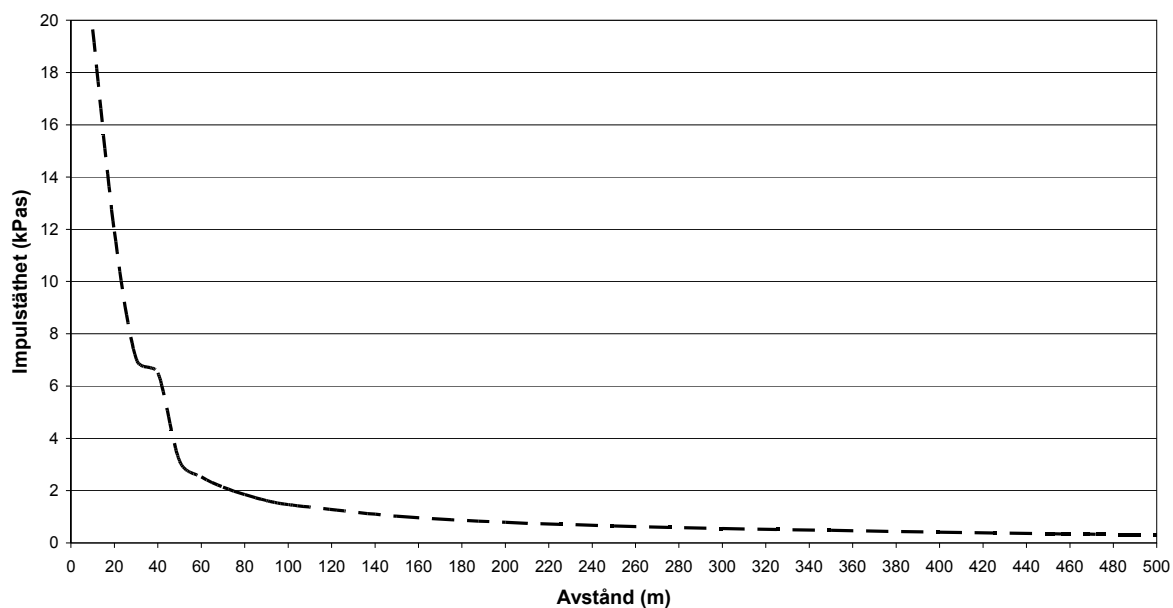
I figur B.6 och B.7 visas infallande tryck respektive impulstäthet vid strykande infall (180°) samt reflekterande tryck och impulstäthet vid vinkelrätt infall (90°). I figur B.8 visas explosionens varaktighet som funktion av avståndet.

/14/

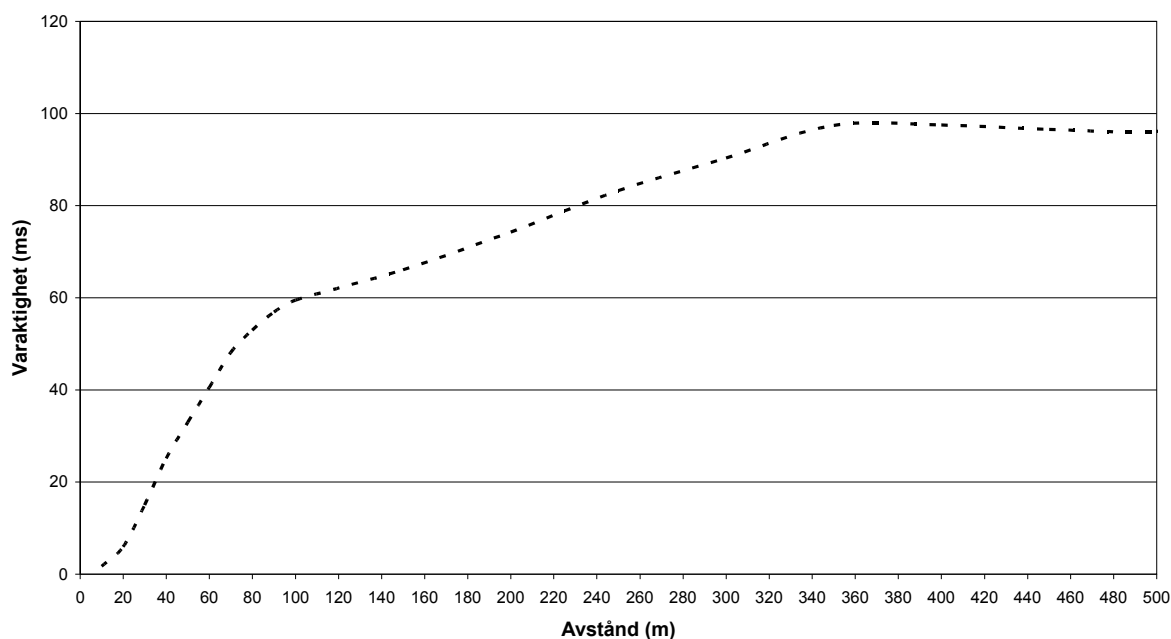
Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods,  
Stadsbyggandskontoret i Göteborg, 1996



Figur B.6. Max övertryck som funktion av avståndet från explosion vid detonation av 3 ton explosiv blandning på eller nära mark vid vinkelrätt infall.



Figur B.7. Impulstäthet som funktion av avståndet från explosion vid detonation av 3 ton explosiv blandning på eller nära mark beroende vid vinkelrätt infall.



Figur B.8. Varaktighet som funktion av avståndet från explosion vid detonation av 3 ton explosiv blandning på eller nära mark.

### B.2.5.2 Beräkning av skadeområde

I tabell B.14 redovisas avstånden inom vilka olika kritiska tryck kan uppnås vid en explosion med explosiv blandning motsvarande 3 ton trotyl. Avstånden förutsätter att det inte finns några avskärmande objekt mellan person och explosionen.

Tabell B.14. Avstånd inom vilket övertrycket överstiger  $X$  kPa vid en explosion med 3 ton trotyl.

Andel omkomna	Kritiskt tryck	Avstånd
1 %	180 kPa	35 meter
50 %	260 kPa	30 meter
99 %	350 kPa	25 meter

Avstånden i tabell B.14 kan jämföras med vad man i /15/ anger med avseende på inom vilket avstånd som dödliga skador kan uppnås vid en explosion med 2-3 ton massexplosiva ämnen, nämligen ca 30 meter.

I tabell B.15 redovisas resultatet av ekvation B.1 som funktion av avståndet från Essingeleden enligt figur B.6 och B.7 för bärande respektive icke bärande konstruktioner. Grön respektive röd markering anger om byggnadsdelen rasar eller ej, d.v.s. om ekvation B.1 uppfylls eller ej.

/15/ Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods,  
Stadsbyggandskontoret i Göteborg, 1996

Tabell B.15. Bedömning av huruvida olika byggnadsdelar raserar eller inte vid explosion **med 3 ton explosiv blandning** beroende på avståndet (meter) från explosionen **Grön** = byggnadsdel rasar ej; **Röd** = byggnadsdel rasar.

Avstånd	Vinkelrätt infall (90°)		
	Bärande konstruktioner	Lätta icke bärande konstruktioner	Medeltunga icke bärande konstruktioner
10	0.1	0.0	0.1
20	0.3	0.0	0.1
30	0.6	0.1	0.1
40	0.8	0.1	0.2
50	1.9	0.2	0.3
60	2.6	0.2	0.4
70	3.4	0.3	0.5
80	4.2	0.3	0.6
90	5.1	0.4	0.7
100	5.8	0.4	0.8
150	8.9	0.6	1.1
200	12.6	0.9	1.5
250	16.7	1.1	1.9
300	21.0	1.3	2.2

Utifrån resultaten i tabell B.15 uppskattas avstånd inom vilka hela, eller delar av, byggnader som rasar vid en explosion med explosiv blandning motsvarande 3 ton trotyl. I tabell B.16 redovisas de uppskattade avstånden med avseende på olika förhållanden.

Tabell B.16. Avstånd inom vilka byggnader uppskattas rasa, helt eller delvis, vid en explosion med 3 ton trotyl.

Konsekvens	Skadeavstånd
<b>Helt oskyddad byggnad utan framförliggande bebyggelse</b>	
Hela byggnaden rasar, inkl. bärande konstruktioner	40-50 m
Icke bärande <u>lätta</u> ytterväggar samt vissa icke bärande <u>lätta</u> innerväggar rasar	200-250 m
Icke bärande <u>medeltunga</u> ytterväggar samt vissa icke bärande <u>medeltunga</u> innerväggar rasar	100-150 m
<b>Byggnad som helt, eller delvis är skyddad av framförliggande bebyggelse</b>	
Hela byggnaden rasar, inkl. bärande konstruktioner	10-20 m
Icke bärande <u>lätta</u> ytterväggar samt vissa icke bärande <u>lätta</u> innerväggar rasar	50-60 m
Icke bärande <u>medeltunga</u> ytterväggar samt vissa icke bärande <u>medeltunga</u> innerväggar rasar	40-50 m