

Bilaga B - Konsekvensberäkningar

Uppdragsnamn		
Solna Business Park		
Uppdragsgivare	Uppdragsnummer	Datum
Structor	112720	2020-06-12
Handläggare	Egenkontroll	Internkontroll
Rosie Kvål	RKL 2020-06-12	EMM 2020-02-26

1. Inledning

I denna bilaga beräknas konsekvensen för de olycksrisker (skadescenarier) som bedömts kunna påverka risknivån för ny bebyggelse inom planområdet. Beräkningarna beaktar följande olycksrisker, vilka förknippas med omgivande riskobjekt:

Olycka vid transport av farligt gods på *Frösundaleden*

- Utsläpp och antändning av brännbar gas (klass 2.1)
- Utsläpp och antändning av brännbar vätska (klass 3)

Olycka vid transport av farligt gods på *Mäljarbanan*

- Explosion med massexplosiva ämnen (klass 1.1)
- Utsläpp och antändning av brännbar gas (klass 2.1)
- Utsläpp av giftig gas (klass 2.3)
- Utsläpp och antändning av brännbar vätska (klass 3)
- Olycka där ämne ur klass 5 blandas med brännbart ämne och orsakar explosionsartat självantändning (klass 5)
- Urspåring på Mäljarbanan
- Tågbrand på Mäljarbanan

Olycka på *Tvärbanan*

- Urspåring
- Brand i spårvagn

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

I riskanalysen används riskmåten *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.

2. Förutsättningar

2.1 Allmänt om det studerade området

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 både områden med planerad ny bebyggelse samt kringliggande bebyggelse. Konsekvenserna kommer att beräknas för planalternativet med planerad ny bebyggelse enligt beskrivningen som redovisas i avsnitt 2.1 i huvudrapporten.
- Figur B.1 visar det aktuella området som studeras i denna riskutredning samt dess närmaste omgivning. I figuren är ungefärlig avgränsning av aktuellt planområde markerat med rött.
- Frekvensberäkningarna i bilaga A omfattar en 1 km lång sträcka av Frösundaleden samt en sträcka av 1 km av Mälarbanan. Konsekvensberäkningarna kommer att avgränsas till att studera respektive olycksscenario där de innebär så stora konsekvenser som möjligt med avseende på planerad ny bebyggelse. I figur B.1 redovisas valda platser för olycka på Frösundaleden respektive Mälarbanan.
- Det område som beaktas i konsekvensberäkningarna motsvarar det maximala skadeområdet för aktuella skadescenarier (ca 300 meter radie kring riskkällan med hänsyn tagen till att den avskärmande effekten av ny och befintlig bebyggelse m.m.). Det beaktade området markeras i figur B.1.



Figur B.1. Översiktspå bild över aktuellt planområde och dess omgivning. Mörkgrå markering visar ungefärligt maximalt påverkansområde (ca 300 meter) för olycka på Frösundaleden och Mälärbanan. Röd markering visar ungefärlig avgränsning av aktuellt planområde. Orangea stjärnor visar antagna placeringar av respektive olycksplats på studerade riskkällor.

2.2 Övergripande beskrivning av områden för planerad ny bebyggelse

I figur B.1 är aktuellt planområde markerat med rött. I avsnitt 2.1 i huvudrapporten beskrivs planerad ny bebyggelse. Nedan görs en övergripande beskrivning av den planerade nya bebyggelsen som underlag till konsekvensberäkningarna.

2.2.1 Nuläge

Planområdet upptas idag av kontorsverksamhet inom Yrket 3 och 4 samt Fräsaren 10. Söder om den befintliga parken finns idag en markparkering. Även mellan Yrket 3 och 4 finns idag en markparkering. I tabell B.1 redovisas ungefärliga volymer av befintliga kontorsbyggnader.

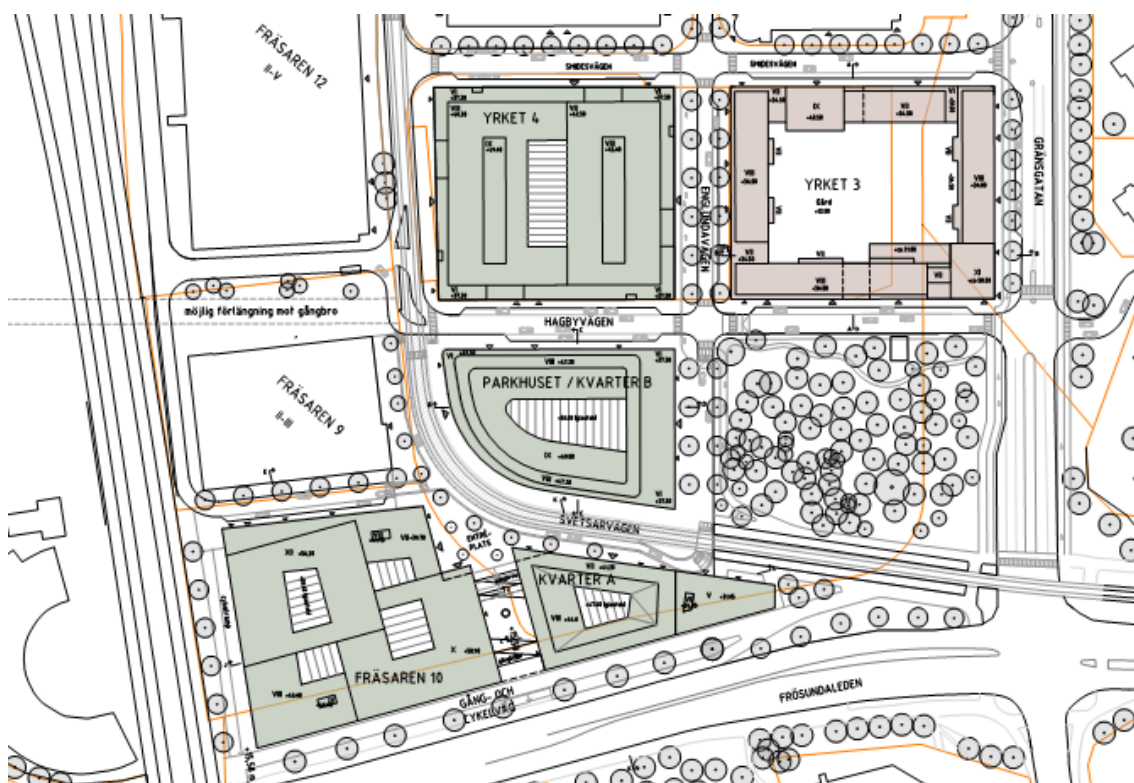
Tabell B.1. Befintlig och planerad bebyggelse inom planområdet.

Fastighet	Befintlig verksamhet	Ungefärlig byggnadsvolym (m ²)
Yrket 3	Kontor i 4 våningar, produktion/lager	7 000
Yrket 4	Kontor i 6 våningar	17 000
Fräsaren 10	Kontor i 4 våningar	16 000
Kvarter A	Obebyggd gräsyta	-
Parkhuset/kvarter B	Markparkering, parkmark	-

2.2.2 Planalternativ

Inom planområdet föreslås ny bebyggelse i form av kontor, bostäder och eventuellt hotell. Inom planområdet finns även parkmark. Se omfattning och volymer av planerad bebyggelse i tabell 2.1 i huvudrapporten. Bostäder planeras endast inom fastigheten Yrket 3 (se figur B.2).

Inom planområdet ökar den totala byggnadsvolymen med ca 130 000 kvadratmeter jämfört med nuläget.



Figur B.2. Föreslagna ny bebyggelse inom planområdet.

2.3 Kringliggande bebyggelse

Enligt avsnitt 2.1 studeras ett område med ca 300 meters radie kring Frösundaleden och Mälarbanan (se figur B.1). Det motsvarar det maximala skadeområdet för aktuella skadescenarier.

Inom skadeområdet består bebyggelsen huvudsakligen av bostäder, kontor naturmark och infrastruktur. Bebyggelsen är relativt tät öster om aktuellt planområde och tätare väster om planområdet (se figur B.1).

I samband med utbyggnaden av Mäljarbanan har Sundbybergs stad genomfört ett planarbete för centrala Sundbyberg. Detaljplanen medger en relativt tät bebyggelse kring järnvägen som ska förläggas i tunnel genom de centrala delarna. Förbi planområdet kommer järnvägen att läggas i ett tråg. Ny bebyggelse inom planområdet för centrala Sundbyberg ligger utanför det område som studeras (se figur B.1).

Öster om planområdet har Solna stad påbörjat ett planarbete för en överdäckning av Mäljarbanan inklusive ny bebyggelse i anslutning till överdäckningen. Delar av detta område ligger inom studerat skadeområde och en tätare bebyggelse inom området är trolig till följd av detaljplanen för överdäckningen. Eftersom ingen detaljplan finns antagen och omfattningen av bebyggelsen är okänd tas ingen höjd för eventuell framtida bebyggelse i anslutning till en eventuell överdäckning av Mäljarbanan. I riskanalysen för den detaljplanen kommer riskfrågan utredas och en värdering av risknivån inklusive omgivande områden genomförs.

2.4 Tidpunkt för olycka

Både planerad bebyggelse inom aktuella planområdet och kringliggande bebyggelse bedöms kunna innebära att antalet personer inom det studerade området kan variera relativt kraftigt mellan olika tidpunkter.

Den planerade bebyggelsestrukturen innebär även att avståndet mellan riskkälla och områden där personer vistas stadigvarande (både inomhus och utomhus) varierar över dygnet.

Det skulle kunna identifieras ett otal olika förutsättningar som i sin tur påverkar antalet personer som kan omkomma vid de studerade olycksriskerna. Beräkningarna för respektive olycka avgränsas vidare till tre scenarier, nämligen:

- **Genomsnittligt normaldygn**
 - Dagt看 (kl 07-22)
 - 85 % beläggning i kontor, förskola och parkeringsgarage
 - 50 % beläggning utomhus
 - 30 % beläggning i bostäder
 - Nattetid (kl 22-07)
 - 0 % beläggning i kontor, förskola och parkeringsgarage
 - 5 % beläggning utomhus
 - 100 % beläggning i bostäder
- **”Fullsatt område”**
 - 100 % beläggning inom samtliga verksamheter

2.5 Sammanställning

I tabell B.2 redovisas en sammanställning över uppskattat personantal inom studerat möjligt skadeområde. Sammanställning görs för olika tidpunkter på dygnet.

Tabell B.2. Uppskattat personantal inom studerat område (se avgränsning i figur B.1).

Verksamhet	Personantal		
	Dagtid	Nattetid	Fullsatt
Inom planområdet			
Kontor (140 000) <i>1 person per 20 m²</i>	5 681	0	6 683
Bostäder (30 000) <i>1 person per 30 m²</i>	300	1 000	1 000
Ytor utomhus (26 500 m ²) <i>50 personer per hektar</i>	66	7	133
Utanför planområdet			
Bostäder (64 000 m ²) Endast sydost om Frösundaleden <i>1 person per 30 m²</i>	640	2 133	2 133
Kontor (59 500 m ²) Endast nordväst om Frösundaleden <i>1 person per 20 m²</i>	2 529	0	2 975
Parkeringsgarage (22 000 m ²) Endast nordväst om Frösundaleden <i>1 person per 200 m²</i>	95	0	112
Förskola (600 m ²) Del av, sydost om Frösundaleden <i>1 person per 20 m²</i>	26	0	30
Ytor utomhus (181 000 m ²) <i>50 personer per hektar</i>	454	45	908

3. Beräkning av skadeavstånd Frösundaleden

3.1 Klass 2.1 Brännbara Gaser

3.1.1 Metodik

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

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

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

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 med ca 25 ton tryckkondenserad gas respektive lastbil med gasflaskor (totalt 20 ton). 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	Tankbil	Gasolflaska
Lagringstemperatur	15°C	15°C
Lagringstryck	7 bar övertryck vid 15°C	7 bar övertryck vid 15°C
Tankdiameter	2,0 m	0,3 m
Tanklängd	18 m	0,5 m
Tankfyllnadsgrad	80 %	80 %
Tankens tomma vikt	50 000 kg	10 kg
Designtryck	15 bar övertryck	10 bar övertryck
Bristningstryck	4 x designtrycket	4 x designtrycket
Luftryck	760 mmHg	760 mmHg
Väder	15°C, 50 % relativ fuktighet, dag och klart	15°C, 50 % relativ fuktighet, dag och klart
Omgivning	Många träd, häckar och enstaka hus (tätortsförhållanden)	Många träd, häckar och enstaka hus (tätortsförhållanden)

Skadescenarierna jetflamma respektive gasmolnsexplosion har simulerats för följande utsläppsstorlekar /1/:

	Tankbil	Gasflaskor
• Litet utsläpp:	0,09 kg/s	3,3 kg/s (avslagen flaskventil på en flaska)
• Medelstort utsläpp:	0,9 kg/s	
• Stort utsläpp:	17,8 kg/s	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.

/1/ Farligt gods – riskbedömning vid transport, Räddningsverket Karlstad, 1996

3.1.2 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 /3/ 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 % vid olycka med tankbil och 25 % vid olycka med gasflaskor.

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 % av de personer som befinner sig inomhus inom det område där värmestrålningen kan leda till 2:a gradens brännskada omkommer.

3.1.3 Resultat

I tabell B.4 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario. För jetflamma och brinnande gasmoln blir inte skadeområdet cirkulärt runt olycksplatsen utan mer plymformat, varför dess bredder även presenteras.

Vid tät bebyggelsestruktur eller höga avskärmande barriärer så reduceras spridningen av gaser och det infallande trycket mot bakomliggande byggnader relativt mycket. Det uppskattas grovt att bebyggelsestrukturen inom det aktuella området medför att skadeavståndet reduceras med minst 50 % i förhållande till vad som redovisas i **Gasol**. Inom kringliggande områden uppskattas bebyggelsestrukturen reducera tryck och impulstäthet med minst 50 %. Detta beaktas i de fortsatta konsekvensberäkningarna avseende skadeområden och uppskattat antal omkomna. I tabell B.4 redovisas därför även skadeavstånden vid framförliggande skyddande bebyggelse.

Tabell B.4. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av brännbara gaser.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)			
		Oskyddad bebyggelse		Skyddad bebyggelse ca 50-75 % reduktion	
		bredd	längd	bredd	längd
Tankbil					
Liten jetflamma	5 % inomhus	6	5	6	< 5
	50 % utomhus	6	5	6	< 5
Liten gasmolnsexplosion	5 % inomhus	2	5	2	< 5
	50 % utomhus	2	5	2	< 5
Medelstor jetflamma	5 % inomhus	15	15	15	5-10
	50 % utomhus	15	15	15	5-10
Medelstor gasmolnsexplosion	5 % inomhus	50	70	50	20-35
	50 % utomhus	50	70	50	20-35

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)			
		Oskyddad bebyggelse		Skyddad bebyggelse ca 50-75 % reduktion	
		bredd	längd	bredd	längd
Stor jetflamma	5 % inomhus	60	55	60	15-30
	50 % utomhus	60	55	60	15-30
Stor gasmolnsexplosion	5 % inomhus	215	185	215	45-90
	50 % utomhus	215	185	215	45-90
BLEVE	5 % inomhus	440	220	440	55-110
	50 % utomhus	440	220	440	55-110
Gasflaskor					
Liten jetflamma	5 % inomhus	24	24	24	5-15
	50 % utomhus	24	24	24	5-15
Liten gasmolnsexplosion	5 % inomhus	85	45	85	10-25
	50 % utomhus	85	45	85	10-25
Stor jetflamma	5 % inomhus	55	55	55	15-30
	50 % utomhus	55	55	55	15-30
Stor gasmolnsexplosion	5 % inomhus	95	60	95	15-30
	50 % utomhus	95	60	95	15-30
Exploderande gasflaskor	5 % inomhus	30	15	30	5-10
	50 % utomhus	30	15	30	5-10

3.2 Klass 3. Brandfarliga vätskor

3.2.1 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: 50 m²
- Medelstor pölbrand: 200 m²
- Stor pölbrand: 400 m²
- Tankbilsbrand ca 300 MW /2/ (antas grovt motsvara stor pölbrand, exkl. pölradi)

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

/2/ Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC Committee of Road Tunnels, 1999

Brandeffekt (Q) – Brandeffekten beräknas utifrån pölarean och ansätts till att 1 MW genereras per kvadratmeter pölarea /3/.

Flamhöjd (H_f) – Flamhöjden (m) kan beräknas som funktion av brandeffekten och pöldiametern (D) enligt följande ekvation /4/: $H_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02D$

Ovanstående förhållande mellan brandeffekt och pölarea innebär att flamhöjden grovt kan uppskattas till $H_f = D / 3$.

Utfallande strålning (I₀) – Den utfallande strålningen (kW/m²) 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 /5/:

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

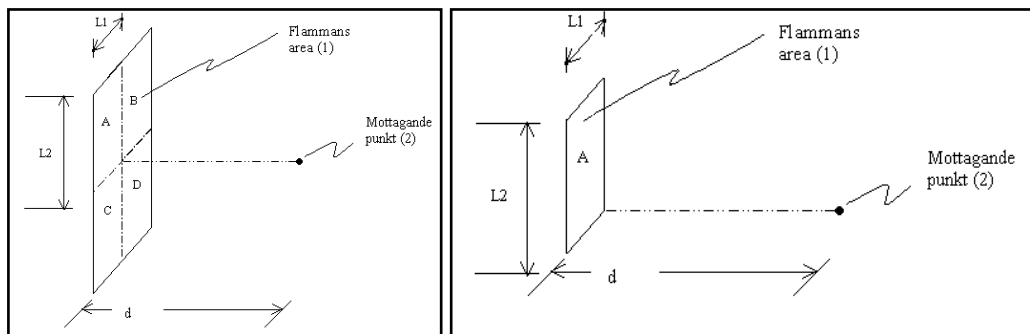
Synfaktor (F) – Synfaktorn (–) anger hur stor andel av den utfallande strålningen som når en mottagande punkt eller yta (se figur B.2). Vid beräkningen av synfaktorn antas att branden är rektangulär så att flammans diameter är lika stor i toppen som i botten. Detta är ett konservativt antagande då branden 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 /6/: $F_{1,2} = F_{A1,2} + F_{B1,2} + F_{C1,2} + F_{D1,2}$

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.2.



Figur B.2. Synfaktor.

/3/ Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005

/4/ Enclosure Fire Dynamics, Karlsson & Quintiere, 2000

/5/ Radiation from large pool fires, Journal of Fire Protection Engineering, 1 (4), pp 141-150, Shokri & Beyler, 1989

/6/ An Introduction to Fire Dynamics – second edition, Drysdale, University of Edinburgh, UK 1999

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

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

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

Infallande strålning (I) – Den från branden infallande värmestrålningen (kW/m²) 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 beräknats för de olika pölbrandscenarierna (se tabell B.5).

Tabell B.5. Tabell med beräknade värden på effektutveckling, brandens diameter och flammhöjd samt utfallande värmestrålning.

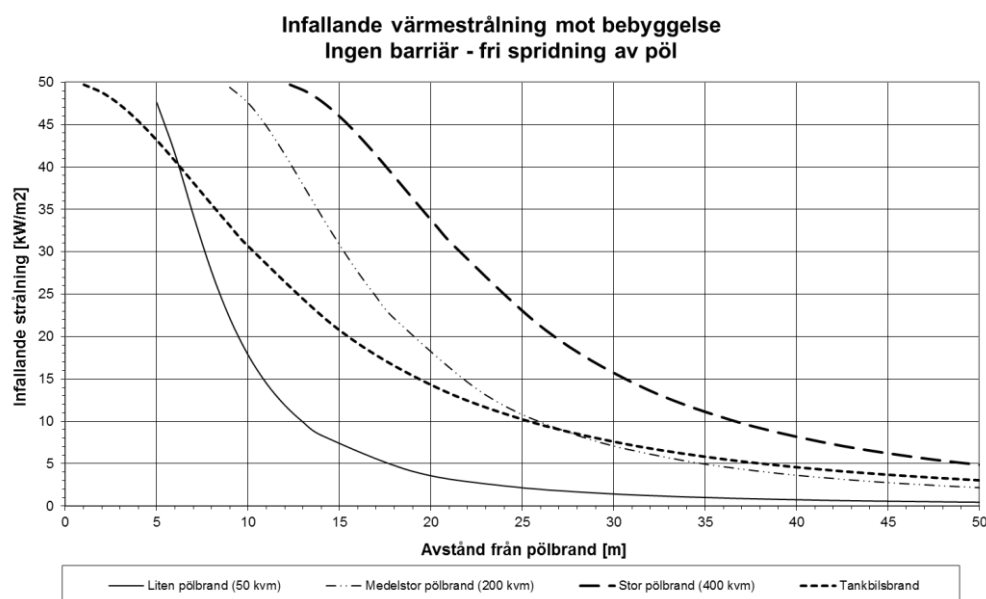
Scenario	Brinnande yta A _F (m ²)	Utvecklad effekt Q (kW)	Brandens diameter D _F (m)	Flammhöjd H _F (m)	Utfallande strålning I ₀ (kW/m ²)
Liten pölbrand	50	50 000	8,0	8,0	49,8
Medelstor pölbrand	200	200 000	16,0	16,0	42,8
Stor pölbrand / Tankbilsbrand	400	400 000	22,6	22,6	37,7

Beräkningarna av den infallande strålningen redovisas i figur B.3 (cirkulär brand utan barriär). Strålningen har beräknats på halva flammans höjd.

Enligt tabell B.3 sjunker den utfallande strålningen med pölbrandens storlek. Detta beror på att ekvationen beaktar att sotproduktionen ökar vid större pölbränder. Soten och röken döljer själva flammen och absorberar en avsevärd del av strålningen, vilket i sin tur minskar den utfallande värmestrålningen. För att inte underskatta den infallande värmestrålningen så kommer de fortsatta strålningsberäkningarna att utgå från ett konservativt värde på den utfallande strålningen på 50 kW/m² för samtliga brandscenarier.

I figur B.3 beaktas även pölarnas radie (ej för scenariot tankbilsbrand), vilket beror på att pölen kan spridas mot det studerade området.

/7/ Thermal Radiation Heat Transfer, 3rd ed., Seigel & Howell, USA 1992



Figur B.3. Infallande strålning som funktion av avståndet från cirkulär pölbrand respektive tankbilsbrand vid fri spridning utan avskärmande barriär.

3.2.2 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.

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 värmestrålningen ansätts till 15 kW/m^2 om inga byggnadstekniska åtgärder beaktas, vilket motsvarar det kriterium som anges i BBRAD 3 /8/ avseende brandspridning mellan byggnader. 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 % av de personer som befinner sig inomhus inom det område kring pölbranden där strålningsnivån överstiger 15 kW/m^2 omkommer.

En oskyddad person **utomhus** som 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. Sannolikheten för att oskyddade personer utomhus omkommer bedöms utifrån uppgifter avseende effekten av olika strålningsnivåer beroende på varaktighet /1, 3/. Outhärdlig smärta kan uppnås vid mycket kortvarig bestrålning (< 5-10 sekunder) med strålningsnivåer över 20 kW/m^2 . Vid bestrålning under 1 minut innebär denna strålningsnivå även mycket hög sannolikhet för andra gradens brännskada.

/8/ BBRAD 3 – Boverkets ändring av verkets allmänna råd (2011:27) om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BFS 2013:12; Boverket 2013

Nedan redovisas uppskattad andel omkomna beroende på strålningsnivå för personer som befinner sig utomhus:

- 10 kW/m²: < 5 % sannolikhet att omkomma
 15-20 kW/m²: 50 % sannolikhet att omkomma
 > 40 kW/m²: 100 % sannolikhet att omkomma

3.2.3 Resultat

I tabell B.6 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario utifrån figur B.3.

Tabell B.6. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av brandfarliga vätskor.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)
		Oskyddad bebyggelse
Liten pölbrand	5 % inomhus	11
	100 % utomhus	7
	50 % utomhus	11
	5 % utomhus	13
Medelstor pölbrand	5 % inomhus	22
	100 % utomhus	13
	50 % utomhus	22
	5 % utomhus	25
Stor pölbrand	5 % inomhus	30
	100 % utomhus	18
	50 % utomhus	30
	5 % utomhus	36
Tankbilsbrand	5 % inomhus	20
	100 % utomhus	7
	50 % utomhus	20
	5 % utomhus	25

4. Beräkning av skadeavstånd Mäljarbanan

4.1 Ursparning

4.1.1 Metodik

I bilaga A redovisas beräkningar av ursparningsfrekvens 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 ursparningstillfället.

Skadeområdet vid en ursparning understiger i princip alltid 25-30 meter vinkelrätt ut från spåret. Detta skadescenario motsvarar en helt snedställd tågagn. Sannolikheten för detta värsta tänkbara scenario är extremt låg, se bilaga A.

Med hänsyn till gällande hastighetsbegränsningar på den aktuella järnvägssträckan (persontåg: 200 km/h och godståg: 160 km/h) beräknas det maximala vinkelräta avståndet från spåret som vagnen kan hamna ca 18 meter vid urspårning med persontåg och ca 16 meter vid urspårning med godståg. Med hänsyn till tågens höga hastigheter vid urspårningstillfället så beräknas byggnader kunna rasera inom dessa avstånd.

De ekvationer som används för beräkning av sannolikhet och frekvens som funktion av avståndet från järnvägen i bilaga A gäller för en obebyggd omgivning som ligger ungefär i samma nivå som järnvägen. Utmed den aktuella sträckan går järnvägen i nivå med omgivningen i dagsläget, men järnvägen planeras att förläggas i tråg i samband med utbyggnaden till fyra spår.

Beräkningarna kommer att omfatta två dimensionerande scenarier med skadeavstånd som motsvarar de beräkningar som redovisas i bilaga A. För att inte underskatta konsekvenserna av det aktuella skadescenariot studeras dessutom ett worst case scenario med skadeavstånd som motsvarar de maximala skadeavstånd som uppmätts vid urspårning. Det antas mycket konservativt att skadeavståndet för worst case scenario är oberoende av hastighetsbegränsningen. Sannolikheten för worst case scenario antas utgöra en mycket låg andel av den sammanlagda frekvensen för dimensionerande scenario.

Konsekvensberäkningarna omfattar följande skadescenarier:

- Urspårning persontåg (hastighetsbegränsning 200 km/h)
 - Dimensionerande scenario, medel: skadeavstånd <9 meter
 - Dimensionerande scenario, max: skadeavstånd 9-18 meter
 - Worst case scenario: skadeavstånd 30 meter (1 % av frekvens för dim. scenario, max)
- Urspårning godståg (hastighetsbegränsning 160 km/h)
 - Dimensionerande scenario, medel: skadeavstånd <8 meter
 - Dimensionerande scenario, max: skadeavstånd 8-16 meter
 - Worst case scenario: skadeavstånd 30 meter (1 % av frekvens för dim. scenario, max)

4.1.2 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.

4.1.3 Resultat

I tabell B.7 redovisas de maximala skadeavstånden för respektive skadescenario. Enligt bilaga A är dock sannolikheten för *dimensionerande scenario, max* givet en urspårning mycket låg. Enligt ovan uppskattas sannolikheten för *worst case scenario* givet en urspårning som en mycket låg andel av *dimensionerande scenario, max* (1% av frekvens för dim. scenario, max).

Tabell B.7. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid urspårning.

Skadesscenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeområde (m)	
		Bredd (utmed riskkälla)	Längd (vinkelrätt riskkälla)
Urspårning persontåg, dim.scenario min			
Inomhus	50%	500	9
Utomhus	100%	500	9
Urspårning persontåg, dim.scenario max			
Inomhus	50%	500	18
Utomhus	100%	500	18
Urspårning persontåg, worst case scenario			
Inomhus	50%	500	30
Utomhus	100%	500	30
Urspårning godståg, dim.scenario min			
Inomhus	50%	320	8
Utomhus	100%	320	8
Urspårning godståg, dim.scenario max			
Inomhus	50%	320	16
Utomhus	100%	320	16
Urspårning godståg, worst case scenario			
Inomhus	50%	320	30
Utomhus	100%	320	30

4.2 Brand i godståg

4.2.1 Metodik

Konsekvenserna av en tågbrand med avseende på påverkan på kringliggande bebyggelse m.m. är beroende av tågtyp och brandens omfattning. I bilaga A redovisas beräkningar för tre olika skadescenarier, varav två (*Stor tågbrand* respektive *Mycket stor tågbrand*) bedöms vara så omfattande att de innebär skadeområden som överskrider närområdet.

En brand i godståg kan innebära brandeffekter som uppnår över 100 MW. Stor godsbrand uppskattas motsvara cirka 100 MW och en mycket stor godsbrand uppskattas motsvara cirka 200 MW.

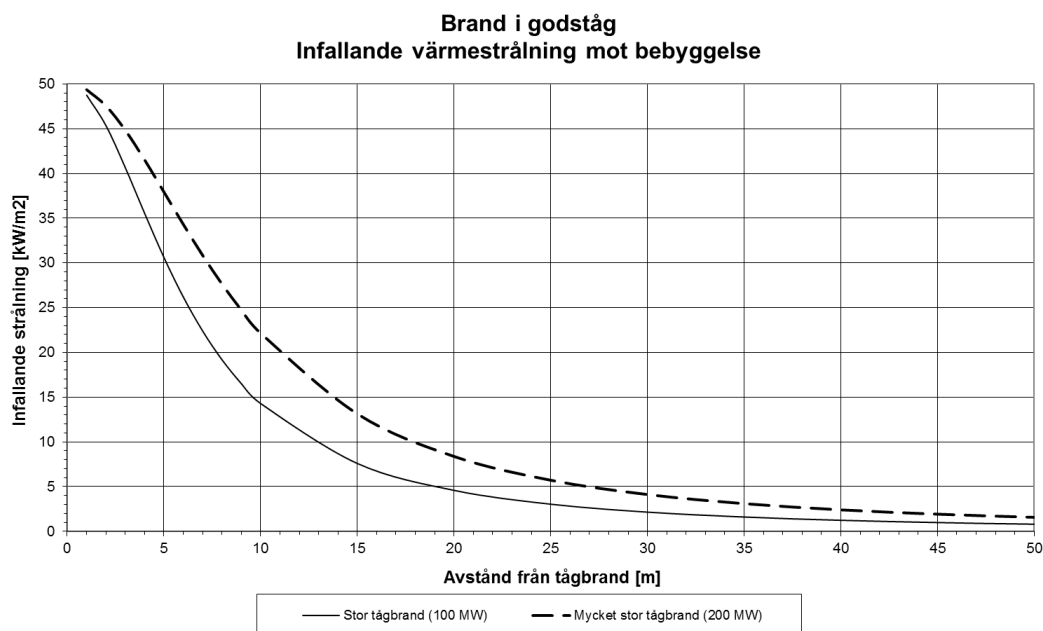
Beräkningarna av den infallande värmestrålningen som det analyserade området utsätts för i händelse av en olycka med påföljande brand genomförs med handberäkningar enligt beskrivning i avsnitt 3.2.1.

Utifrån beskriven metodik har brandeffekten, brandens diameter och flamhöjden för de olika scenarierna (se tabell B.8).

Tabell B.8. 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)	Utfallande strålning I_0 (kW/m ²)
Stor tågbrand	100	100 000	11,3	11,3	46,8
Mycket stor tågbrand	200	200 000	16,0	16,0	42,8

Beräkningarna av den infallande strålningen redovisas i figur B.4. Strålningen har beräknats på halva flammans höjd. Enligt tabell B.6 sjunker den utfallande strålningen med brandens storlek. Detta beror på att ekvationen beaktar att sotproduktionen ökar vid större bränder. Soten och röken döljer själva flammen och absorberar en avsevärd del av strålningen, vilket i sin tur minskar den utfallande värmestrålningen. För att inte underskatta den infallande värmestrålningen så kommer de fortsatta strålningsberäkningarna att utgå från ett konservativt värde på den utfallande strålningen på 50 kW/m² för samtliga brandscenarier.



Figur B.4. Infallande strålning som funktion av avståndet från brand i godståg.

4.2.2 Bedömningskriterier

I avsnitt 3.2.2 redovisas bedömningskriterier avseende pölbrand. Motsvarande bedömningskriterier är tillämpliga vid en tågbrand.

4.2.3 Resultat

I tabell B.9 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario.

Tabell B.9. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid brand i godståg.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (m)
Stor tågbrand (100MW)	5 % inomhus	10
	100 % inomhus	4
	50 % utomhus	10

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (m)
	5 % utomhus	13
Mycket stor tågbrand (200 MW)	5 % inomhus	14
	100 % utomhus	5
	50 % utomhus	14
	5 % utomhus	17

4.3 Olycka med farligt gods

4.3.1 Klass 1. Explosiva ämnen

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:

- 500 kg (transporter med < 500 kg)
- 2000 kg (transporter med 700-2 000 kg)
- 25000 kg (transporter vid >4000 kg)

Konsekvensberäkningarna följer den metodik som anges i FOA:s kurskompendium *Konsekvenser vid explosioner /9/*. 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:

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

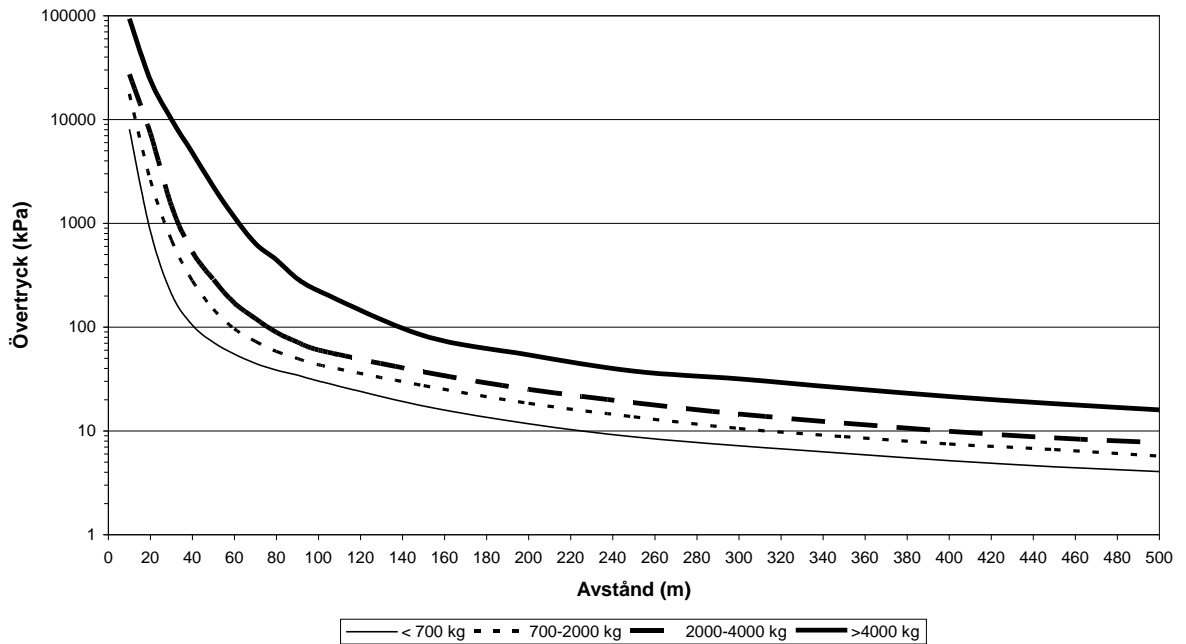
Konsekvensberäkningarna utgår från beräkningar av maximalt övertryck (P_+), impulstäthet (I_+) samt varaktighet (t_+) för de studerade explosionsscenarierna. I figur B.5 och figur B.6 redovisas beräkningar avseende tryck respektive impulstäthet som en funktion av avståndet från explosionen. Respektive 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.

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°).

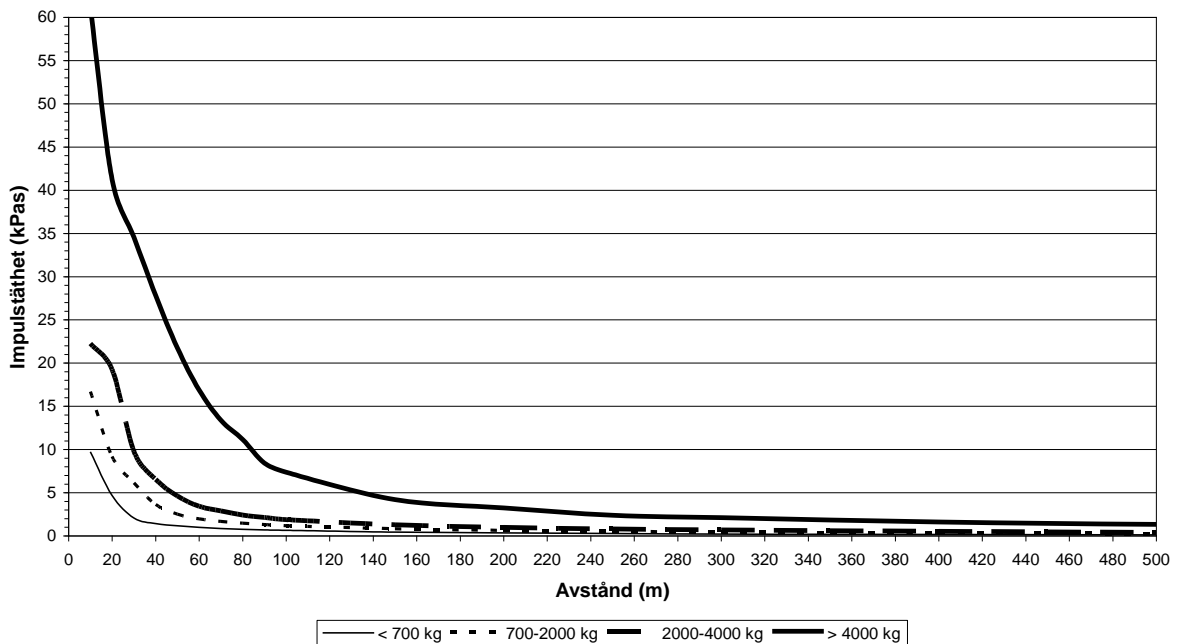
Explosionens varaktighet t_+ beräknas grovt enligt följande ekvation och blir samma oavsett infallande vinkel /9/:

/9/ Konsekvenser vid explosioner – kompendium framtaget i samband med FOAs kurs explosivämneskunskap, FOA, Rickard Forsén 1999-09-03 (Bearbetat av Stefan Olsson 2001-09-16)

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



Figur B.5. Max övertryck som funktion av avståndet från explosion vid detonation av trotyl på eller nära mark vid vinkelrätt infall.



Figur B.6. Impulstäthet som funktion av avståndet från explosion vid detonation av trotyl på eller nära mark vid vinkelrätt infall.

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 Metodik. I tabell B.10 anges karaktäristiska tryck (P_c) respektive impulstäthet (I_c) för olika byggnadsdelar beroende på byggnadsstrategi och bärighet /9/.

Tabell B.10. Karaktäristiska 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

De infallande tryck som redovisas i figur B.5 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.5 respektive figur B.6. Detta beaktas i de fortsatta konsekvensberäkningarna avseende skadeområden och uppskattat antal omkomna.

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 /10/:

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

/10/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker, FOA, september 1997

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

- 500 kg: 10 %
- 2 000 kg: 25 %
- 25 000 kg: 100 %

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.

Byggnadsdelarna har delats upp på bärande byggnadsdelar och icke bärande lätta respektive medeltunga byggnadsdelar. De infallande tryck som redovisas i figur B.5 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.5 respektive figur B.6.

I tabell B.11 redovisas skadeavstånden för dels icke skyddad bebyggelse och dels skyddad bebyggelse.

Observera att det dimensionerande skadescenariot med massexplosiva ämnen medför konsekvenser på båda sidor om järnvägen.

Tabell B.11. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av explosiva ämnen.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)	
		Oskyddad bebyggelse	Skyddad bebyggelse
500 kg massexplosion	100 % <i>inomhus</i>	20	< 20
	15 % <i>inomhus</i>	80	< 30
	10 % <i>utomhus</i>	30	< 30
2 000 kg massexplosion	100 % <i>inomhus</i>	35	30
	15 % <i>inomhus</i>	175	100
	50 % <i>utomhus</i>	50	30
25 000 kg massexplosion	100 % <i>inomhus</i>	90	60
	15 % <i>inomhus</i>	600	200
	100 % <i>utomhus</i>	100	70

4.3.2 Klass 2.1 Brännbara Gaser

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.

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

- 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 /1/:

- Litet utsläpp: 0,09 kg/s
- Medelstort utsläpp: 0,9 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.

Bedömningskriterier
Se avsnitt 3.1.2.

Resultat

I tabell B.12 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario. För jetflamma och brinnande gasmoln blir inte skadeområdet cirkulärt runt olycksplatsen utan mer plymformat, varför dess bredder även presenteras.

Beräkningarna i **Gasol** utgår från fri spridning av gas och tar ingen hänsyn till framföriggande objekt och avskärmningar som kan reducera jetflammans längd, spridningen av gasmoln respektive BLEVE m.m. vilket i sin tur reducerar skadeavstånden.

Vid tät bebyggelsestruktur så reducerar byggnaderna skadeavståndet och påverkan på bakomliggande byggnader relativt mycket. Planerad bebyggelse enligt avsnitt 2 bedöms reducera skadeavståndet (längden) för respektive scenario med åtminstone 50 % i förhållande till vad som redovisas i **Gasol**. I tabellen redovisas därför även skadeavstånden vid framföriggande skyddande bebyggelse. För skadescenarier med mindre skadeavstånd än avståndet till planerad bebyggelse görs ingen reducering.

Observera att eftersom skadeområdena för respektive skadescenario, förutom för BLEVE, är plymformade och beroende av vindriktningen så bedöms scenarierna endast medföra konsekvenser på en sida av järnvägen. Scenariot BLEVE medför däremot konsekvenser på båda sidor om järnvägen.

Tabell B.12. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av brännbara gaser.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)			
		Oskyddad bebyggelse		Skyddad bebyggelse	
		bredd	längd	bredd	längd
Liten jetflamma	5 % inomhus 50 % utomhus	6	5	6	5
Liten gasmolnsexplosion	5 % inomhus 50 % utomhus	2	5	2	5
Stor jetflamma	5 % inomhus 50 % utomhus	50	45	50	25
Stor gasmolnsexplosion	5 % inomhus 50 % utomhus	165	145	165	75
BLEVE	5 % inomhus 50 % utomhus	530	265	530	135

4.3.3 Klass 2.3 Giftiga Gaser

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**.

Nedan redovisas den indata som anges i **Spridning i Luft 1.2** med avseende på tankutformning, omgivningsstruktur och väder etc.

- 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 järnvägen.

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. Observera att eftersom skadeområdena för respektive skadeområde är plymformade och beroende av vindriktningen så bedöms scenarierna endast medföra konsekvenser på en sida av järnvägen.

Resultat

I tabell B.13 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario. Enligt ovan utgår beräkningarna i **Spridning i Luft 1.2** från bebyggelse med avseende på ytråheten (d.v.s. möjligheten för gasmolnet att spridas). Beräkningarna avser relativt fri spridning av gas som inte tar någon hänsyn till framförliggande objekt och avskärmningar som kan reducera spridningen av gasmoln vilket i sin tur reducerar skadeavstånden.

Föreslagen bebyggelsestruktur med en kraftig förtätning av bebyggelsen i direkt anslutning till riskkällan bedöms ha en avskärmande effekt som reducerar skadeavståndet (längden) för respektive scenario, åtminstone 50 % i förhållande till vad som redovisas i **Spridning i Luft 1.2**. I tabellen redovisas därför även skadeavstånden vid framförliggande skyddande bebyggelse. För skadescenarioer med mindre skadeavstånd än avståndet till planerad bebyggelse görs inget reducering.

Tabell B.13. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av giftiga gaser.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)							
		Oskyddad bebyggelse				Skyddad bebyggelse			
		Inomhus		Utomhus		Inomhus		Utomhus	
		bredd	längd	bredd	längd	bredd	längd	bredd	längd
Litet utsläpp (packningsläckage)	100%	0	0	4	10	0	0	4	10
	50%	0	0	20	30	0	0	20	15
	5%	4	15	30	50	4	15	30	25
Stort utsläpp (stor punktering)	100%	20	50	140	250	20	25	140	125
	50%	80	260	240	370	80	130	240	185
	5%	190	345	360	430	190	172,5	360	215

4.3.4 Klass 3. Brandfarliga vätskor

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.

Utformningen av spårområdet med makadam och dränering innebär att spridningen av ett vätskeutsläpp på järnvägen bedöms bli relativt begränsat, även vid ett stort utsläpp, eftersom underlagets genomsläpplighet är god. I försök har det även påvisats att pölens utbredning är kraftigt beroende av underlagets utformning och lutningar /11/. Det krävs relativt små lutningar för att vätska ska forma rännilar eller ansamlingar i lågpunkter m.m.

Med avseende på pölbrand antas det grovt att pölen har cirkulär utbredning, vilket ger en högre strålningsnivå. Utifrån ovanstående beskrivning bedöms dock även ett stort utsläpp medföra en pöldiameter som överstiger 15-20 meter. Scenariot godsvagnsbrand kommer att studeras utifrån motsvarande metodik, men i detta fall tas ingen hänsyn till pölens utbredning.

Konsekvensberäkningar utförs för följande skadescenarier:

- Liten pölbrand: 100 m²
- Stor pölbrand: 200 m²
- Godsvagnsbrand: Max brandeffekt ca 300 MW (effekten motsvarar det värde som anges i /2/ för tankbilsbrand, vilket härstammar från en bedömning som baseras på den högsta brandeffekt som uppmätts vid eldning av gods i tunnel)

Beräkningsmetodiken följer den som redovisas i avsnitt 4.2.1. Med hjälp av gällande samband och förutsättningar har brandeffekten, brandens diameter och flammhöjden beräknats för de två skadescenarierna (se tabell B.14).

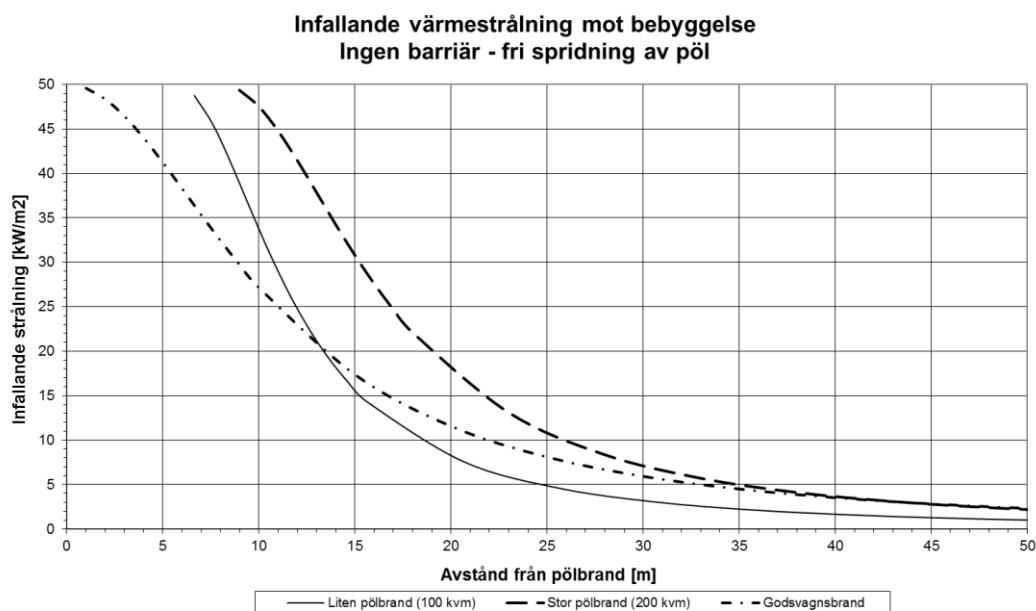
/11/ Konsekvenser vid tankbilsolycka med bensin i Stockholms innerstad, Stockholms brandförsvär, 1998

Tabell B.14. 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)	Utfallande strålning I_0 (kW/m ²)
Liten pölbrand	100	100 000	11,3	11,3	46,8
Stor pölbrand	200	200 000	16,0	16,0	42,8
Godsvagnsbrand	300	300 000	19,5	19,5	40,0

Beräkningarna av den infallande strålningen redovisas i figur B.7. Strålningen har beräknats på halva flammans höjd. I diagrammen beaktas även pölarnas radie (ej för scenariot godsvagnsbrand), vilket beror på att pölen kan spridas mot det studerade området.

Enligt tabell B.14 sjunker den utfallande strålningen med pölbrandens storlek. För att inte underskatta den infallande värmestrålningen så kommer de fortsatta strålningsberäkningarna att utgå från ett konservativt värde på den utfallande strålningen på 50 kW/m^2 för samtliga brandscenarier.



Figur B.7. Infallande strålning som funktion av avståndet från pölbrand inkl. pölradie.

Bedömningskriterier
Se avsnitt 3.2.2.

Resultat

I tabell B.15 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario utifrån figur B.7 ovan.

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

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (m)
Liten pölbrand (100 MW)	5 % inomhus	15
	100 % utomhus	9
	50 % utomhus	15
	5 % utomhus	18
Stor pölbrand (200 MW)	5 % inomhus	22
	100 % inomhus	13
	50 % utomhus	22
	5 % utomhus	25
Godsvagnsbrand (300 MW)	5 % inomhus	17
	100 % utomhus	7
	50 % utomhus	17
	5 % utomhus	22

4.3.5 Klass 5. Oxiderande ämnen och organiska peroxider

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.

I den riskanalys som togs fram för fördjupad översiktsplan för Göteborg /12/ angavs att den explosiva blandning som kan bildas vid ett utsläpp på järnväg motsvarar en explosiv blandning med 25 ton trotyl. Detta scenario utgår dock från antagandet att vagnen med oxiderande ämnen kolliderar med en vagn med brandfarlig vätska (klass 3) som blandas med utsläppet. Skadescenariot bedöms vara mycket konservativt för de förutsättningar som anges för frekvensberäkningarna (hänsyn tas t.ex. inte till att det skadedrabbade tåget transporterar både klass 5 och klass 3 eller att utsläpp sker från både en vagn med klass 5 och en vagn med klass 3).

/12/ Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, 1996

Med hänsyn till de förutsättningar som anges för frekvensberäkningarna antas ett mer trovärdigt skadescenario innebära att det oxiderande ämnet blandas med exempelvis tågets smörjmedel. Detta scenario bedöms kunna motsvara det, i /12/, dimensionerande scenario för olycka med oxiderande ämnen på väg, ca 3 ton trotyl. För att ej underskatta konsekvenserna av det aktuella skadescenariot kommer konsekvensberäkningarna att utgå från de beräkningar som redovisas i avsnitt 4.3.1 avseende explosion med **4 ton trotyl**. I de fortsatta riskberäkningarna kommer dessutom det värsta tänkbara scenariot att beaktas (d.v.s. motsvarande explosion med 25 ton trotyl enligt ovan) för 1 % av den sammanlagda frekvensen för det aktuella skadescenariot (explosionsartat brandförlopp vid självantändning).

Bedömningskriterier

Se avsnitt 4.3.1.

Resultat

I tabell B.16 redovisas skadeavstånden för skadescenario med ämne ur klass 5.

Tabell B.16. Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av oxiderande ämnen och organiska peroxider.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (m)
Dimensionerande scenario (motsvarar 7 500 kg ekvivalent trotyl)	100 % inomhus	60
	15 % inomhus	400
	50 % utomhus	75
Worst case scenario (motsvarar 25 000 kg ekvivalent trotyl)	100 % inomhus	90
	15 % inomhus	600
	100 % utomhus	100
Brandunderstödjande brandförlopp (motsvarar stor pölbrand)	5 % inomhus	17
	100 % inomhus	7
	15 % inomhus	17
	100 % utomhus	22

5. Beräkning av skadeavstånd Tvärbanan

5.1 Urspåring

I /13/ redovisas även ekvation för beräkning av **Sannolikheten att byggnad kollapsar till följd av kollision**. Denna ekvation förutsätter att en urspåring endast riskerar att leda till byggnadskollaps om tåget har en hastighet som överstiger 60 km/h. Ekvationen är baserad på järnvägsvagnar med avseende på vikt m.m. och bedöms inte vara applicerbar på spårvagn (lättare konstruktioner). Troligtvis skulle det krävas en ännu högre hastighet för byggnadskollaps vid urspåring av spårvagn. Med hänsyn till spårvagnens vikt bedöms dock kollisionskraften vara så stor att lokala byggnadsskador kan inträffa inom det maximala skadeavståndet. Inga betydande skador på människor inomhus bedöms utifrån ovanstående uppkomma i samband med en urspåring. Människor som befinner sig utomhus inom det område där den urspårade vagnen hamnar bedöms kunna skadas allvarligt. Inga dödsfall bedöms uppkomma till följd av en urspårad spårvagn.

/13/ Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone (UIC Code 777-2 R), International Union of Railways, 2nd edition September 2002

5.2 Brand i spårvagn

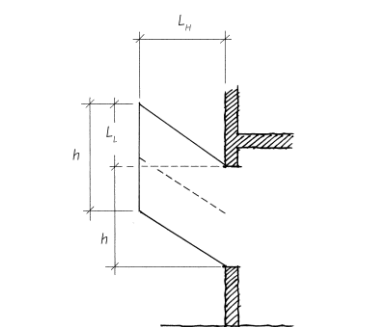
I underredet till en spårvagn sitter ett flertal olika komponenter och system som kan orsaka rökutveckling eller brand. Orsakerna till bränder är bland annat tekniska fel som t.ex. el-, motor- eller bromsfel. Bränder kan också starta inne i spårvagnen, till följd av t.ex. elfel. Inne i vagnen kan även anlagda bränder vara en möjlig brandorsak.

Med hänsyn till resenärernas säkerhet så följer utformningen av spårvagnar strikta regler för att reducera risken för omfattande bränder. Reglerna omfattar brandkrav som syftar till att förhindra både antändning och brandspridning i spårvagnen. Detta innebär att sannolikheten för en fullt utvecklad spårvagnsbrand är mycket låg. I tidigare utredningar avseende utbyggnaden av Tvärbanan bedöms en fullt utvecklad spårvagnsbrand kunna uppnå en maximal brandeffekt på ca 15 MW. Den maximala brandeffekten baseras på fullskaleförsöken från EUREKA. Detta motsvarar ungefär brand i en buss /2/.

Konsekvenserna för brand i spårvagn beräknas utifrån nedanstående metodik. Beräkningarna omfattar beräkning av den infallande värmestrålningen mot kringliggande områden och en bedömning av hur detta påverkar bebyggelse och personer.

5.2.1 Flamstorlek

Samtliga fönster i tåget antas gå sönder till följd av branden varför flammor ut genom fönstret har beräknats med formel för fönsterflamma (drag) enligt figur B.8 nedan.



Figur B.8. Flamma ut genom fönster vid drag.

Nedanstående formler har använts i beräkningarna /3/:

$$\text{Flamhöjd (m):} \quad L_L = 1,366 \times \left(\frac{1}{u}\right)^{0,43} \times \left(\frac{\dot{Q}}{\sqrt{A_v}}\right) - h$$

$$\text{Flammans horisontella projektion (m):} \quad L_H = 0,605 \times \left(\frac{u^2}{h}\right)^{0,22} \times (L_L + h)$$

$$\text{Flammans bredd (m):} \quad w_f = w + 0,4 \times L_H$$

där

\dot{Q} = utvecklad effekt (MW), max 15 MW enligt ovan.

u = vindhastighet (m/s), antas till 1 m/s, vilket ger en konservativ flamhöjd

A_v = Tågets totala fönsteröppningsarea (m²), sammanlagt 15 m² för spårvagn (en sida).

h = fönstrets höjd (m), ca 1 m

w = fönstrets bredd (m), ca 1 m per fönster, sammanlagt ca 15 m per spårvagnssida

Med ovanstående förutsättningar så erhålls följande värden:

$L_L = 4,3 \text{ m}$ mätt från undersida fönster blir höjden på den totala strålande ytan ca 5 m.

$L_H = 3,2 \text{ m}$

$w_f = 2,3 \text{ m}$ per fönster, totalt per spårvagnssida blir $w_f = 16,3 \text{ m}$

5.2.2 Flamtemperatur

Medelflamtemperaturen T_f antas vara 800°C (1073 K). Detta utgår från uppmätta temperaturer vid fullskaleförsök. Bakgrundsstrålning från tåget har också beaktats.

5.2.3 Värmestrålning

Den utfallande värmestrålningen, E , (kW/m^2) är beroende av flamtemperatur och den brinnande massans emissionstal. Emissionstalet, det vill säga materialets förmåga att avge värmeenergi, är beroende av materialets temperatur och egenskaper, särskilt vid ytan.

Värmestrålningen beräknas enligt följande ekvation:

$$E = \varepsilon \times \sigma \times T_f^4 \quad \text{där:}$$

ε = Emissionstal [-], ansätts konservativt till 1,0

σ = Stefan-Boltzmanns konstant = $5.67 \times 10^{-11} \text{ kW}/\text{m}^2\text{K}^4$

T_f = Flammans temperatur [K], 1073 K enligt ovan.

Med ovanstående förutsättningar så erhålls följande värde:

$$E = 75 \text{ kW}/\text{m}^2$$

Den infallande strålningen, E_p utgår från flammans emitterade strålning samt synfaktorn och beräknas genom:

$$E_p = F \times E \quad \text{där}$$

F = Synfaktorn (-), som anger hur stor andel av den emitterade strålningen som når den mottagande punkten eller ytan (se figur B.9).

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 flammen i själva verket normalt smalnar av väsentligt upptill. Synfaktorn mellan flammen och den mottagande punkten är en geometrisk konstruktion som beräknas enligt:

$$F_{1,2} = F_{A1,2} + F_{B1,2} + F_{C1,2} + F_{D1,2}$$

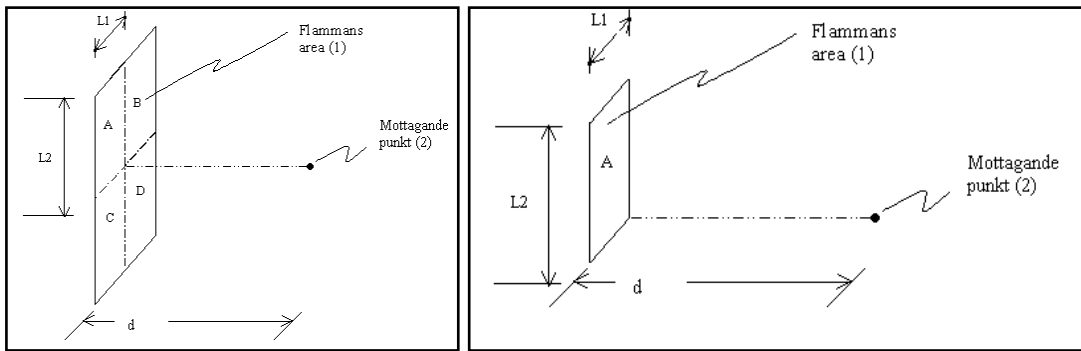
där $F_{A1,2}$ beräknas enligt följande ekvation:

$$F_{A1,2} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right)$$

där:

$$X = \frac{L_1}{d} \quad \text{och} \quad Y = \frac{L_2}{d} \quad \text{enligt figur B.9.}$$

$F_{B1,2}$, $F_{C1,2}$ och $F_{D1,2}$ beräknas på samma sätt för dess mått.



Figur B.9. Synfaktor.

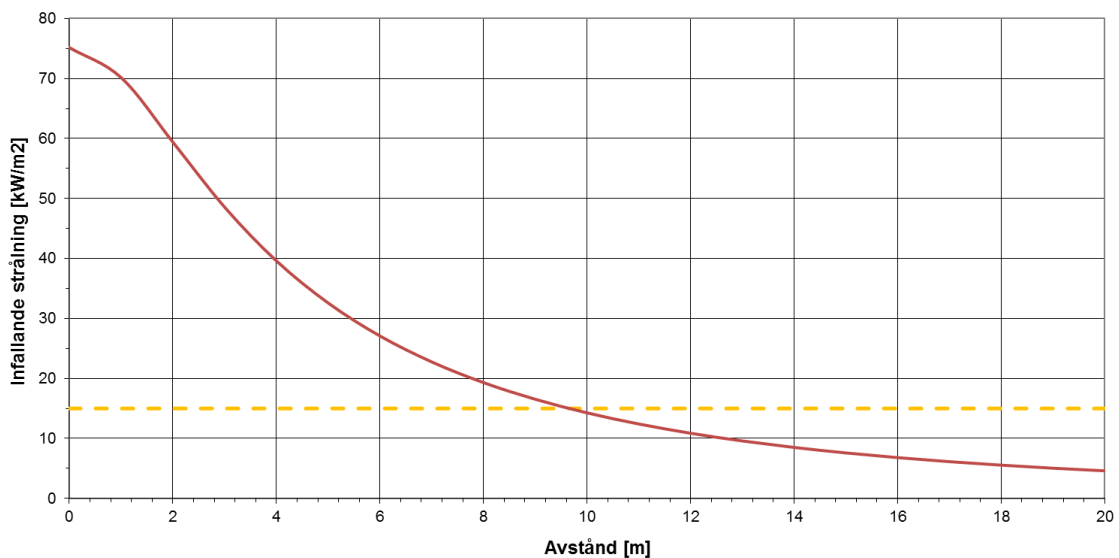
5.2.4 Bedömningskriterier

Se avsnitt 3.2.2 för värmestrålningens påverkan på människor.

För att branden ska spridas till intilliggande bebyggelse krävs ett långvarigt brandförlopp med en relativt hög infallande värmestrålning mot byggnaderna. Kritisk strålningsnivå för brandspridning till byggnader ansätts enligt riktlinjer från Boverket /8/ till 15 kW/m^2 om inga byggnadstekniska åtgärder beaktas.

Beräkningarna av den infallande strålningen redovisas i figur B.10. I figuren redovisas även nivån för kritisk värmestrålning.

Brand i spårvagn (15 MW)



Figur B.10. Infallande strålning som funktion av avståndet från brand i spårvagn (15 MW).

Enligt figur B.10 kan en brand i spårvagn (maximal brandeffekt) innebära brandspridning till kringliggande bebyggelse inom ca 9-10 meter från spårvägen. Inom detta avstånd riskerar även personer som vistas oskyddade utomhus att skadas allvarligt. På avstånd över 9-10 meter föreligger inte risk för brandspridning.

Några dödsfall till följd av scenariot bedöms dock inte uppkomma med hänsyn till varseblivningstiden och möjligheten för människor att sätta sig i säkerhet. Det är endast kontorsbyggnader som ligger så nära som 7 meter. Bostäderna ligger betydligt längre från spåret.

6. Beräkning av antal omkomna

I tabell B.17-B.18 redovisas beräknat antal omkomna (utifrån förutsättningarna i avsnitt 2) inom det studerade området (aktuella planområden samt kringliggande bebyggelse).

Tabell B.17. Beräknade konsekvenser – antal omkomna vid olycka med farligt gods på Frösundaleden.

Skadescenario	Uppskattat antal omkomna		
	Planalternativ		
	Inomhus	Utomhus	Totalt
Klass 2.1 Brännbar gas Tankbil			
Liten jetflamma	0	0	0
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område			
Liten gasmolnsexplosion	0	0	0
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område			
Medelstor jetflamma	0	0	0
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område			
Medelstor gasmolnsexplosion	2	0	3
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	3	1	4
Fullsatt område			
Stor jetflamma	1	0	2
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	2	0	2
Fullsatt område			
Stor gasmolnsexplosion	50	6	56
Normaldygn - dag	9	1	9
Normaldygn - natt	65	11	76
Fullsatt område			
BLEVE	42	9	51
Normaldygn - dag	7	1	8
Normaldygn - natt	54	18	72
Fullsatt område	0	0	0

Skadesscenario	Uppskattat antal omkomna		
	Planalternativ		
	Inomhus	Utomhus	Totalt
Klass 2.1 Brännbar gas Flaskor			
Liten jetflamma			
<i>Normaldygn - dag</i>	0	0	0
<i>Normaldygn - natt</i>	0	0	0
<i>Fullsatt område</i>	0	0	0
Liten gasmolnsexplosion			
<i>Normaldygn - dag</i>	1	0	1
<i>Normaldygn - natt</i>	0	0	0
<i>Fullsatt område</i>	1	0	1
Stor jetflamma			
<i>Normaldygn - dag</i>	1	0	1
<i>Normaldygn - natt</i>	0	0	0
<i>Fullsatt område</i>	2	0	2
Stor gasmolnsexplosion			
<i>Normaldygn - dag</i>	3	0	3
<i>Normaldygn - natt</i>	1	0	1
<i>Fullsatt område</i>	4	1	5
<i>Exploderande gasflaskor</i>			
<i>Normaldygn - dag</i>	0	0	0
<i>Normaldygn - natt</i>	0	0	0
<i>Fullsatt område</i>	0	0	0
Klass 3 Brandfarlig vätska			
Liten pölbrand	0	0	0
<i>Normaldygn - dag</i>	0	0	0
<i>Normaldygn - natt</i>	0	0	0
<i>Fullsatt område</i>			
Medelstor pölbrand	0	0	0
<i>Normaldygn - dag</i>	0	0	0
<i>Normaldygn - natt</i>	0	0	0
<i>Fullsatt område</i>			
Stor pölbrand	0	0	0
<i>Normaldygn - dag</i>	0	0	0
<i>Normaldygn - natt</i>	0	0	0
<i>Fullsatt område</i>			
Tankbilsbrand	0	0	0
<i>Normaldygn - dag</i>	0	0	0
<i>Normaldygn - natt</i>	0	0	0
<i>Fullsatt område</i>	0	0	0

Tabell B.18. Beräknade konsekvenser – antal omkomna vid olycka med farligt gods på Mäljarbanan.

Skadesscenario	Uppskattat antal omkomna		
	Inomhus	Utomhus	Totalt
1. Urspårning			
Urspårning persontåg, dim.scenario min			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Urspårning persontåg, dim.scenario max			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Urspårning persontåg, worst case scenario			
Normaldygn - dag	5	0	6
Normaldygn - natt	1	0	1
Fullsatt område	7	1	8
Urspårning godståg, dim.scenario min			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Urspårning godståg, dim.scenario max			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Urspårning godståg, worst case scenario			
Normaldygn - dag	5	0	6
Normaldygn - natt	1	0	1
Fullsatt område	7	1	8
2. Brand i godståg			
Stor tågbrand (100 MW)			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Mycket stor tågbrand (200 MW)			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
3. Olycka vid transport av farligt gods			
Klass 1.1 Masseexplosiva ämnen			
500 kg masseexplosion			

Skadescenario	Uppskattat antal omkomna		
	Inomhus	Utomhus	Totalt
Normaldygn - dag	29	0	29
Normaldygn - natt	5	0	5
Fullsatt område	38	0	38
2 000 kg massexplosion			
Normaldygn - dag	253	2	255
Normaldygn - natt	41	0	41
Fullsatt område	324	4	328
25 000 kg massexplosion			
Normaldygn - dag	1342	17	1358
Normaldygn - natt	217	2	219
Fullsatt område	1719	33	1753
Klass 2.1 Brännbar gas			
Liten jetflamma			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Liten gasmolnexplosion			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Stor jetflamma			
Normaldygn - dag	7	1	9
Normaldygn - natt	1	0	1
Fullsatt område	9	3	12
Stor gasmolnexplosion			
Normaldygn - dag	62	9	71
Normaldygn - natt	11	1	12
Fullsatt område	80	18	98
BLEVE			
Normaldygn - dag	311	77	388
Normaldygn - natt	55	8	63
Fullsatt område	402	154	556
Klass 2.3 Giftig gas			
Litet utsläpp			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	1	1
Stort utsläpp			

Skadescenario	Uppskattat antal omkomna		
	Inomhus	Utomhus	Totalt
Normaldygn - dag	660	44	703
Normaldygn - natt	113	5	118
Fullsatt område	849	88	937
Klass 3 Brandfarlig vätska			
Liten pölbrand			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Stor pölbrand			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Godsvagnsbrand			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0
Klass 5 Oxiderande ämnen			
Explosionsartat brandförlopp utan blandning (motsvarande 7500 kg massexplosion)			
Normaldygn - dag	414	1	414
Normaldygn - natt	58	0	58
Fullsatt område	525	1	526
Explosionsartad brandförlopp med blandning (motsvarande 25000 kg massexplosion)			
Normaldygn - dag	1342	17	1358
Normaldygn - natt	217	2	219
Fullsatt område	1719	33	1753
Brandunderstödjande brandförlopp (motsvarande mycket stor brand i godståg)			
Normaldygn - dag	0	0	0
Normaldygn - natt	0	0	0
Fullsatt område	0	0	0