

Bilaga B - Konsekvensberäkningar

Uppdragsnamn	Finnslätten, Västerås – Lugna gatan och Lundaleden		
Uppdragsgivare	Uppdragsnummer	Datum	
Kungsleden AB	504024	2023-05-26	
Handläggare	Egenkontroll	Internkontroll	
Felicia Klint	FKT 2023-03-15	RKL	2023-03-15

1. Inledning

I denna bilaga beräknas konsekvenserna av de olycksrisker (skadescenarier) som bedömts kunna påverka risknivån utmed Lugna gatan och Lundaleden där dessa utgör sekundära transportleder för farligt gods. I den inledande analysen (se kapitel 4 i huvudrapporten) bedöms att en fördjupad analys av följande scenarier är nödvändig:

1. Utsläpp och antändning av brännbar gas (klass 2.1)
2. Utsläpp av giftig gas (klass 2.3)
3. Utsläpp och antändning av brandfarlig vätska (klass 3)
4. Explosionsartat brandförlopp vid utsläpp av peroxider (klass 5)
5. Utsläpp av frätande ämne (klass 8)

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

Den huvudsakliga fokusen i analysen ligger på studie av samhällsrisk men även individrisken studeras översiktligt. Med hänsyn till detta omfattar konsekvensberäkningarna både beräkning av skadeavstånd/-område samt beräkning/ bedömning av antal omkomna till följd av respektive olycksrisk.

Beräkningen av antalet omkomna utgår från en beräkning av skadeområdets storlek i kvadratmeter för respektive skadescenario. Skadeområdet beräknas utifrån beräknade skadeavstånd för dödliga skador inomhus respektive utomhus. Skadeområdena multipliceras sedan med dimensionerande persontäthet inom det aktuella området, andelen av området som förväntas vara bebyggd respektive obebyggd samt sannolikheten att omkomma inom det specifika skadeområdet, för att på så sätt få ut förväntat antal omkomna.

2. Förutsättningar

För att kunna få en uppfattning om hur stora konsekvenserna blir för respektive skadescenario kommer nedan beskrivna förutsättningar och antaganden att gälla som underlag till beräkningarna.

Det område som kommer att studeras omfattar omgivningen på båda sidor Lugna gatan respektive Lundaleden utmed de sträckor som är klassade för farligt gods. En inventering görs både av befintlig bebyggelse och planerad ny bebyggelse utmed de aktuella vägsträckorna. Den planerade bebyggelsen utgår dels från trafikutredningen som gjordes av WSP /1/, dels från Västerås översiktsplan /2/.

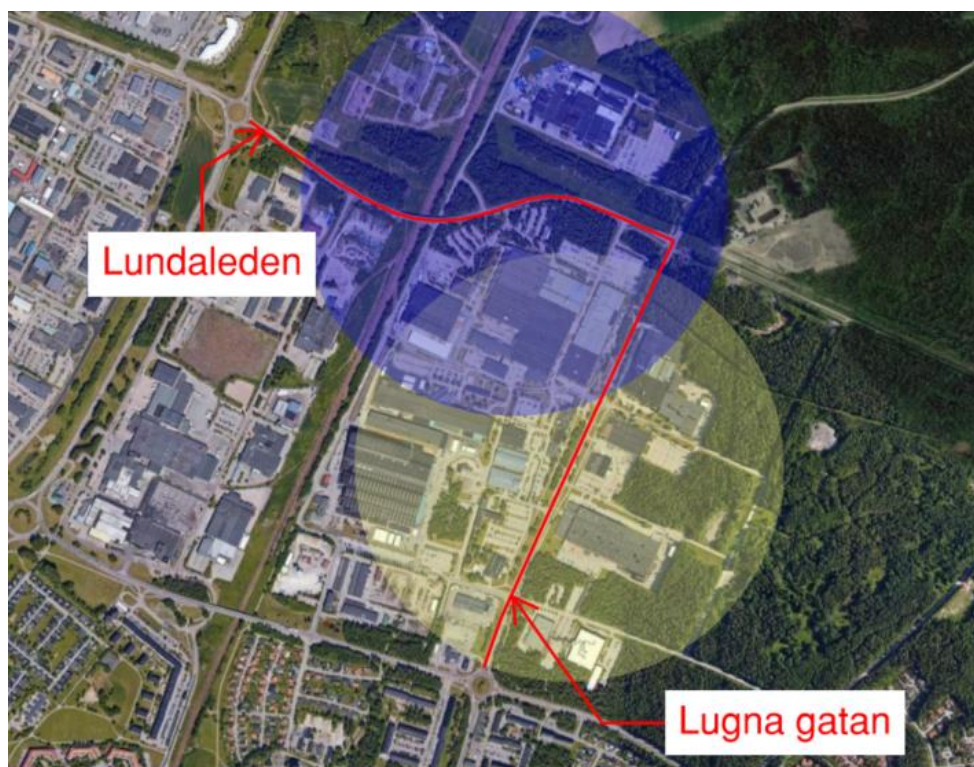
Samhällrisken kommer att beräknas för ett Nollalternativ, dvs. dagens bebyggelse samt för ett utbyggnadsalternativ som innebär att planerade exploateringar utmed studerade vägsträckor genomförts.

Frekvensberäkningarna i bilaga A omfattar en 1 km lång sträcka. Frekvenser beräknas normalt för en sträcka på 1 km oavsett sträckans längd. Detta beror på att tillämpade acceptanskriterier är anpassade utifrån detta.

Bebyggelsestrukturen och avståndet till vägen varierar utmed den studerade sträckan, men detta kommer inte att beaktas i konsekvensberäkningarna. Risknivån uppskattas vara densamma utmed hela sträckan.

Konsekvensberäkningarna för respektive skadescenario utförs istället konservativt med förutsättningen att de antas inträffa där de ger som störst skada för den planerade bebyggelsen, vilket innebär att beräkningarna utförs med utgångspunkt att olyckan inträffar där avståndet mellan riskkälla och ny bebyggelse är som kortast.

Det område som studeras redovisas i figur 1



Figur 1 Områden där samhällrisken studerats. Gul cirkel markerar potentiellt skadeområde för Lugna gatan och blå cirkel potentiell skadeområde för Lundaleden. Det är enbart de sträckor som klassas som leder för farligt gods som studeras.

/1/ Övergripande Trafikutredning Finnslätten, WSP, 2022-05-03

/2/ Västerås Översiktsplan 2026 – med utblick mot 2050, Västerås stad – Stadsbyggnadskontoret, antagen av kommunfullmäktige 2017-12-07

2.1 Nollalternativ (befintlig bebyggelse)

Området utmed Lugna gatan och Lundaleden utgör till stor del kontor och industriområden men även av natur- och grönområden. Nedan görs en övergripande beskrivning över befintlig bebyggelse utmed vägarna. Det är enbart de sträckor som är klassade för farligt gods som avses nedan.

2.1.1 Östra sidan om Lugna gatan

Öster om den studerade sidan av Lugna gatan ligger bland annat Northvolt och ABB. En stor del av den västra sidan om Lugna gatan är idag obebyggd. Byggnaderna utgör industri och kontorsbyggnader i 1-4 plan. De är främst den norra delen som är bebyggd. Den sydöstra delen av Lugna gatan består främst av framtida exploateringsområden.

Det kortaste avståndet mellan väg och befintlig bebyggelse på den västra sidan är ca 30 meter (kontor).

2.1.2 Västra sidan om Lugna gatan/Södra delen om Lundaleden

Väster om Lugna gatan finns det flertal kontors och industribyggnader. I princip hela den söndra delen om Lugna gatan är bebyggd. I direkt anslutning till Lugna gatan finns det däremot ett skyddsområde som inte är bebyggt. Likt den östra sidan är det kontorsbyggnader i 1-4 våningsplan. Bebyggelsen förekommer utmed hela den västra delen av Lugna gatan.

Det kortaste avståndet mellan väg och befintlig bebyggelse på den västra sidan är ca 30 meter (kontor).

2.1.3 Norra delen om Lundaleden

Norr om Lundaleden är det främst grönområden. I nuläget är det enbart Westinghouse som är placerat norr om Lundaleden.

Det kortaste avståndet mellan väg och befintlig bebyggelse på den västra sidan är ca 30 meter (lager).

2.2 Utförandealternativ

Utifrån den trafikutredning som gjordes av WSP, samt i enlighet med projektet, ska antalet arbetsplatser öka till 20 000 stycken inom Finnslätten. Dessutom framkommer det i analysen att antagen exploatering inom Finnslätten fördelas enligt tabell 1.

Tabell 1 Planerad BTA utifrån verksamhet

Område	BTA (m ²)
Kontor	337 600
Industri	484 300
Studentboende	49 000
Skola	10 000
Förskola	3 000
Lägenhet	46 000
Hotell	3 0000
Daglig varubruk	23 000
Sällanhandel	6 200
Restaurang	19 800
Idrott	5 000

Exploateringen avser hela Finnslätten och kommer därför att vara fördelat utmed hela området. Utifrån planprogrammet ska verksamheterna fördelas enligt figur 2 nedan.

2.3 Sammanställning

För att kunna bedöma hur stort antal personer som befinner sig inom skadeområde för respektive skadescenario så görs grova uppskattningar inom det studerade området. I tabell 2 och 3 redovisas de uppskattade personantalen och annan information som har använts i beräkningarna.

Personantalet inom det studerade området uppskattas grovt utifrån följande förutsättningar:

1. Genomsnittlig persontäthet inom kontor uppskattas grovt till ca 0,05 personer per m² BTA (1 person per 20 m²).
2. Genomsnittlig persontäthet inom flerbostadshus uppskattas grovt till ca 0,033 personer per m² BTA (1 person per 30 m²).
3. Genomsnittlig persontäthet utomhus uppskattas grovt till ca 0,005 personer per m² (50 person per hektar).
4. En förskoleavdelning förutsätts ha 20 barn + 3 personal per avdelning.
5. Persontätheten inom aktuell bebyggelse kan variera relativt kraftigt under dygnet med hänsyn till olika verksamheter inom området. Konsekvensberäkningarna utförs dock konservativt för ett scenario där maximalt personantal förväntas inom området, d.v.s. "beläggningen" ansätts till 100 %.

För de olyckor som har en "riktad" påverkan, dvs. inte en cirkulär utbredning, har påverkan antagits ske österut där det planeras skolor och bostadsbebyggelse. Detta val baseras på att

bebyggelsen inom det området är som mest tät, vilket innebär att en olycka får som störst konsekvenser.

En olycka har antagits ske i mitten av respektive väg i stället för i någon av färdriktningarna. Detta kan innebära att olyckor med små skadeområden inte enligt beräkningarna medför någon konsekvens trots att scenariot kan göra det om det sker vid väggkanten. Olyckor som leder till pöl- eller tankbilsbrand innebär dock så korta skadeområden att scenariot ändå inte innebär någon påverkan mot omgivningen vid olycka på vägen. Utöver detta scenario påverkas några mindre scenarier, bl.a. små explosioner och mindre läckage av brännbar gas. Sannolikheten för dessa är dock så pass liten så påverkan på risknivån påverkas i mycket begränsad utsträckning. Det har bedömts mer angeläget att påvisa konsekvenser på båda sidor om vägen i de aktuella fallen.

Tabell 2 Underlag till beräkningar av konsekvenser Lugna gatan

	Nollalternativ		Utbyggnadsalternativet	
	Västra Finnslätten	Östra Finnslätten	Västra Finnslätten	Östra Finnslätten
Bebyggd yta (m ²)	Ca 340 000	Ca 80 000	587 500	426 500
Verksamhet	Kontor Lager Handel	Kontor Lager	Kontor Lager Bostäder Handel	Kontor Lager Bostäder
Antal personer inomhus i området	8 000	2 000	13 500	10 500

Tabell 3 Underlag till beräkningar av konsekvenser Lundaleden

	Nollalternativ		Utbyggnadsalternativet	
	Norra Finnslätten	Södra Finnslätten	Norra Finnslätten	Södra Finnslätten
Bebyggd yta (m ²)	Ca 65 000	Ca 340 000	300 000	426 500
Verksamhet	Kontor Lager Handel	Kontor Lager	Kontor Lager Bostäder Handel	Kontor Lager Bostäder
Antal personer inomhus i området	1 200	7 000	10 000	9 000

Personantalet är en grov uppskattning utifrån tillhandahållet underlag kring BTA samt sammanställningen ovan.

Både planerad bebyggelse inom aktuellt område och kringliggande bebyggelse bedöms kunna innebära att antalet personer inom det studerade området kan variera relativt kraftigt mellan olika tidpunkter. Eftersom det finns osäkerheter i framtida personantal antas det i beräkningarna att området alltid är fullsatt.

3. Trafikolycka med farligt gods

3.2 Klass 2.1 Brännbara Gaser

3.2.1 Metodik

Transporter till området kan utgöra både tankbilar och gasflaskor. Konsekvenserna av en olycka med gasolflaskor blir betydligt mindre än vid en olycka med tankbil. Sannolikheten för ett stort läckage är låg och skadeområdena begränsade.

För brännbara gaser kan följande 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
- Exploderande gasflaskor: Motsvarande explosion då gasflaskor utsätts för en utbredd brand.

3.2.2 Transporter med tankbil

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. I tabell 4 redovisas den indata som anges i **Gasol** med avseende på tankutformning, väder etc.

Tabell 4 Indata till Gasol för simulering av skadeområden vid jetflamma och gasmoln.

Faktor	
Lagringstemperatur	15°C
Lagringstryck	7 bar övertryck vid 15°C
Tankdiameter	2,0 m
Tanklängd	18 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	Relativt öppet

-
- /3/ Luftstövåg, Morgan Johansson (Reinertsen Sverige AB), MSB, senast reviderad 2012
 - /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)
 - /5/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker, FOA, september 1997

För exempelvis gasol så beror skadeområdena för jetflamma och gasmolnsexplosion 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.

Vid tät bebyggelsestruktur så reducerar byggnaderna skadeavståndet och påverkan på bakomliggande byggnader relativt mycket. Planerad bebyggelse bedöms reducera skadeavståndet (längden) för respektive scenario med upp till ca 40 % i förhållande till vad som redovisas i beräkningsprogrammen. Reduceringen har dock enbart antagits för bebyggelse som är placerad 60 meter eller mer från väg eftersom det är denna som kommer vara skyddad.

Tabell 5 Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av brännbara gaser – komprimerade gaser (t.ex. gasol).

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)	
		Oskyddad bebyggelse	
		bredd	längd
Liten jetflamma	5 % <i>inomhus</i>	6	5
	50 % <i>utomhus</i>	6	5
Liten gasmolnsexplosion	5 % <i>inomhus</i>	10	5
	50 % <i>utomhus</i>	10	5
Medelstor jetflamma	5 % <i>inomhus</i>	15	15
	50 % <i>utomhus</i>	15	15
Medelstor gasmolnsexplosion	5 % <i>inomhus</i>	50	70 (42*)
	50 % <i>utomhus</i>	50	70 (42*)
Stor jetflamma	5 % <i>inomhus</i>	60	55
	50 % <i>utomhus</i>	60	55
Stor gasmolnsexplosion	5 % <i>inomhus</i>	215	185 (111*)
	50 % <i>utomhus</i>	215	185 (111*)
BLEVE	5 % <i>inomhus</i>	440	220 (132*)
	50 % <i>utomhus</i>	440	220 (132*)

*Reducerat avstånd till följd av framföriggande bebyggelse.

3.2.3 Transporter med gasflaskor

Även för transporter med gasflaskor har utsläppssimuleringar gjorts med simuleringsprogrammet **Gasol** för att avgöra storleken på de områden inom vilka personer kan förväntas omkomma. Utsläppssimuleringarna har utförts med gasflaskor antaget ca 100-200 gasflaskor á 10-45 kg per flaska, total mängd < 10 ton tryckkondenserad gas.

Det antas grovt att samtliga transporter innehåller tryckkondenserad gasol. I Tabell 6 redovisas den indata som anges i **Gasol** med avseende på tankutformning, väder etc.

Tabell 6 Indata till Gasol för simulering av skadeområden vid jetflamma och gasmoln.

Faktor	Gasolflaska
Lagringstemperatur	15°C
Lagringstryck	7 bar övertryck vid 15°C
Tankdiameter	0,3 m
Tanklängd	0,5 m
Tankfyllnadsgrad	80 %
Tankens tomma vikt	10 kg
Designtryck	10 bar övertryck
Bristningstryck	4 x designtrycket
Luftryck	760 mmHg
Väder	15°C, 50 % relativ fuktighet, dag och klart
Omgivning	Relativt öppet

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

Gasflaskor

- Litet utsläpp 3,3 kg/s (avslagen flaskventil på en flaska)
- Stort utsläpp 17,8 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 även för gasflaskor har det i beräkningarna antagits konservativt att utsläppet sker nära vätskeytan då detta leder till de största skadeområdena.

Tabell 7 Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av brännbara gaser – komprimerade gaser (t.ex. gasol).

Skadescenario	Skadeavstånd (meter)	
	Bredd	Längd
Liten jetflamma	25	25
Liten gasmolnsexplosion	45	45
Stor jetflamma	60	55
Stor gasmolnsexplosion	60	95 (43*)
Exploderande gasflaskor	60	30

* Reducerat avstånd till följd av framförliggande bebyggelse

3.2.4 Resultat

I tabell 5 och 7 ovan 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 utgår från fri spridning av gas och tar begränsad hänsyn till framförliggande objekt och avskärmningar som kan reducera jetflammans längd, spridningen av gasmoln respektive BLEVE m.m. vilket i sin tur reducerar skadeavstånden. I tabellerna redovisas därför även skadeavstånden vid framförliggande skyddande bebyggelse. För skadescenarier med mindre skadeavstånd än avståndet till planerad bebyggelse görs ingen reduktion.

I tabell 8 och tabell 9 nedan visas antal omkomna till följd av en olycka med brännbara gaser.

Tabell 8 Uppskatta antal omkomna inom totalt skadeområde Lugna gatan

Skadescenario	Uppskattat antal omkomna					
	Planförslag			Nollalternativ		
	Inomhus	Utomhus	Totalt	Inomhus	Utomhus	Totalt
Klass 2.1 Brännbar gas						
Olycka med gastank						
Liten jetflamma	0	0	0	0	0	0
Liten gasmolnexplosion	0	0	0	0	0	0
Medelstor jetflamma	0	0	0	0	0	0
Medelstor gasmolnexplosion	3	2	5	0	1	1
Stor jetflamma	5	3	8	1	2	3
Stor gasmolnexplosion	37	22	58	10	20	30
Bleve	59	43	101	19	69	88
Olycka med gasflaskor						
Liten jetflamma	1	0	1	0	0	0
Liten gasmolnexplosion	3	2	5	1	1	2
Stor jetflamma	5	3	8	2	2	4
Stor gasmolnexplosion	5	3	8	2	2	4
Exploderande gasflaskor	2	2	4	0	1	1

Tabell 9 Uppskatta antal omkomna inom totalt skadeområde Lundaleden.

Skadescenario	Uppskattat antal omkomna					
	Planförslag			Nollalternativ		
	Inomhus	Utomhus	Totalt	Inomhus	Utomhus	Totalt
Klass 2.1 Brännbar gas						
Olycka med gastank						
Liten jetflamma	0	0	0	0	0	0
Liten gasmolnexplosion	0	0	0	0	0	0
Medelstor jetflamma	0	0	0	0	0	0
Medelstor gasmolnexplosion	3	2	5	1	1	2
Stor jetflamma	5	3	8	2	2	4
Stor gasmolnexplosion	36	22	58	18	20	37
Bleve	52	41	93	26	42	68
Olycka med gasflaskor						
Liten jetflamma	1	0	1	0	0	0
Liten gasmolnexplosion	3	2	5	1	1	2
Stor jetflamma	5	3	8	2	2	4
Stor gasmolnexplosion	5	3	8	2	2	4
Exploderande gasflaskor	2	1	3	0	1	1

3.3 Klass 2.3 Giftiga Gaser

3.3.1 Metodik

I beräkningarna antas den giftiga gasen bestå av **tryckkondenserad ammoniak**, som är en av de giftigaste gaserna som transporteras i större tankar på vägarna i Sverige. På vägen förekommer det även flourvätesyra som en syra i klass 8. Eftersom konsekvenserna av ett läckage med syran innebär att ett giftigt gasmoln bildas har denna även beräknats under detta avsnitt.

Med simuleringsprogrammet **Spridning i Luft 1.2** beräknas storleken på det område där koncentrationen antas vara dödlig (inomhus och utomhus). Utsläppssimuleringarna har utförts för tankbil rymmandes ca **24 ton ämne**. I tabell 10 redovisas indata avseende på tankutformning, omgivningsstruktur och väder etc.

Tabell 10 Indata till **Spridning i Luft 1.2** för simulering av skadeområden vid utsläpp av giftig gas.

Faktor	Tankbil
Emballage	Tankbil (24 ton)
Bebyggelse	stad ($\rho = 1,0$)
Lagringstemperatur	15°C
Väder	15°C, vår, dag och klart

Följande, i **Spridning i Luft 1.2** fördefinierade, utsläppsscenarier har simulerats för utsläpp av giftig gas:

- Litet utsläpp (packningsläckage): 0,34 kg/s
- Medelstort utsläpp (brott på rör): 10 kg/s
- Stort utsläpp (stor punktering): 85 kg/s

Värdet har valts för ammoniak, det bedöms finnas stora osäkerheter då det inte är helt fastställt vilka gaser som går. Dessutom kommer även Flourvätesyra i klass 8 att räknas in vilket bedöms förekomma i styckegods och inte i tank vilket bedöms medföra att risken med giftiga gaser inte underskattas.

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 mot väg ca 3 meter upp på fasad.

3.3.2 Bedömningskriterier

Vid simulering av gasutsläpp med **Spridning i Luft 1.2** erhålls spridningskurvor samt uppskattningar på hur stor andel av befolkningen i området som förväntas omkomma beroende på avståndet till utsläppskällan. Andelen avtar med avståndet både i längd samt vinkelrätt mot utsläppets riktning.

3.3.3 Resultat

I Tabell 11 redovisas skadeavstånden för respektive scenario. Skadeavstånden som redovisas utgör de största enligt simuleringarna.

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, upp till ca 25-50 % i förhållande till vad som redovisas i **Spridning i Luft 1.2**. Detta kommer att beaktas vid beräkning av antal omkomna.

Tabell 11 Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av giftiga gaser.

Skadesscenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)			
		Inomhus		Utomhus	
		bredd	längd	bredd	längd
Litet utsläpp	100%	0	0	2	5
	50%	0	0	6	10
	5%	0	0	10	20
Medelstort utsläpp	100%	0	0	20	30
	50%	10	20	30	60
	5%	20	35	50	90
Stort utsläpp	100%	10	10	100	160 (96*)
	50%	25	55	130	225 (135*)
	5%	40	100	150	275 (165*)

* Reducerat avstånd till följd av framförliggande bebyggelse

I Tabell 12 redovisas uppskattat antal omkomna (utifrån redovisade förutsättningar) utmed Lugna gata respektive Lundaleden för nollalternativet respektive utförandeförslagen.

Tabell 12 Beräknade konsekvenser – antal omkomna, för skadescenarier vid transport av giftiga gaser. Antal omkomna redovisas för Lugna gatan respektive Lundaleden.

Skadescenario	Antal omkomna Lugna gatan		Antal omkomna Lundaleden	
	Planförslag	Nollalternativ	Planförslag	Nollalternativ
Litet utsläpp				
<i>Inomhus</i>	0	0	0	0
<i>Utomhus</i>	0	0	0	0
<i>Totalt</i>	0	0	0	0
Medelstort utsläpp				
<i>Inomhus</i>	2	0	2	0
<i>Utomhus</i>	2	2	2	2
<i>Totalt</i>	4	2	4	2
Stort utsläpp				
<i>Inomhus</i>	23	5	23	9
<i>Utomhus</i>	26	23	26	23
<i>Totalt</i>	49	28	49	32

3.4 Klass 3. Brandfarliga vätskor

3.4.1 Metodik

För denna farligt godsklass utgörs skadescenarierna av att tanken skadas så allvarligt att vätska läcker ut och sedan antänds. Vid beräkning av konsekvensen av en farligt godsolycka med brandfarlig vätska antas tanken rymma bensen. 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 /7/ (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:

Brandeffekt (Q) – Brandeffekten beräknas utifrån pölarean och ansätts till att 1 MW genereras per kvadratmeter pölarea /8/.

/7/ Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC Committee of Road Tunnels, 1999

/8/ Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005

Flamhöjd (H_f) – Flamhöjden (m) kan beräknas som funktion av brandeffekten och pöldiametern (D) enligt följande ekvation /9/: $H_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02D$

Ovanstående förhållande mellan brandeffekt och pölarea innebär att flamhöjden grovt kan uppskattas till $H_f = D / 8$.

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

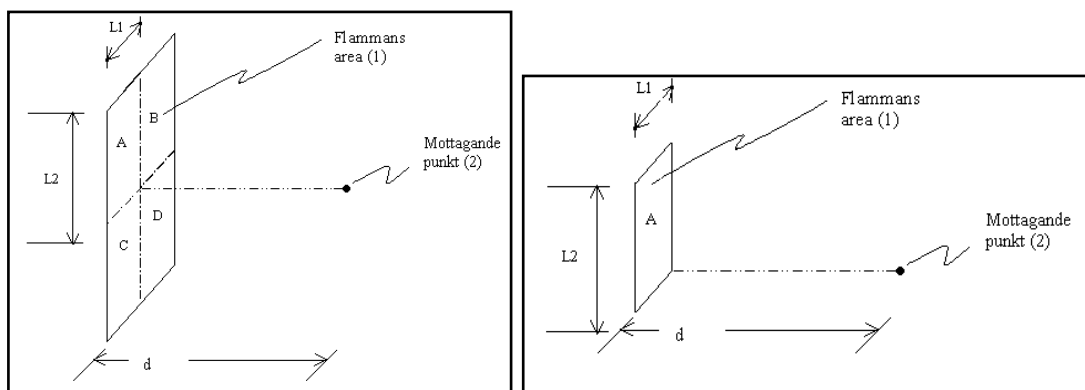
Synfaktor (F) – Synfaktorn (–) anger hur stor andel av den utfallande strålningen som når en mottagande punkt eller yta (se Figur 3.3). Vid beräkningen av synfaktorn antas att branden är rektangulär så att flammans diameter är lika stor i toppen som i botten. Detta är ett konservativt antagande då branden i själva verket normalt smalnar av väsentligt upptill.

Synfaktorn $F_{1,2}$ mellan flammans och den mottagande punkten är en geometrisk konstruktion som beräknas enligt /11/: $F_{1,2} = F_{A1,2} + F_{B1,2} + F_{C1,2} + F_{D1,2}$

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 2



Figur 2 Synfaktor.

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

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

$X = \frac{L_1}{d}$ och $Y = \frac{L_2}{d}$ enligt Figur 3.1.

/9/ Enclosure Fire Dynamics, Karlsson & Quintiere, 2000

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

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

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

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 13).

Tabell 13 Tabell med beräknade värden på effektutveckling, brandens diameter och flammhöjd samt utfallande värmestrålning.

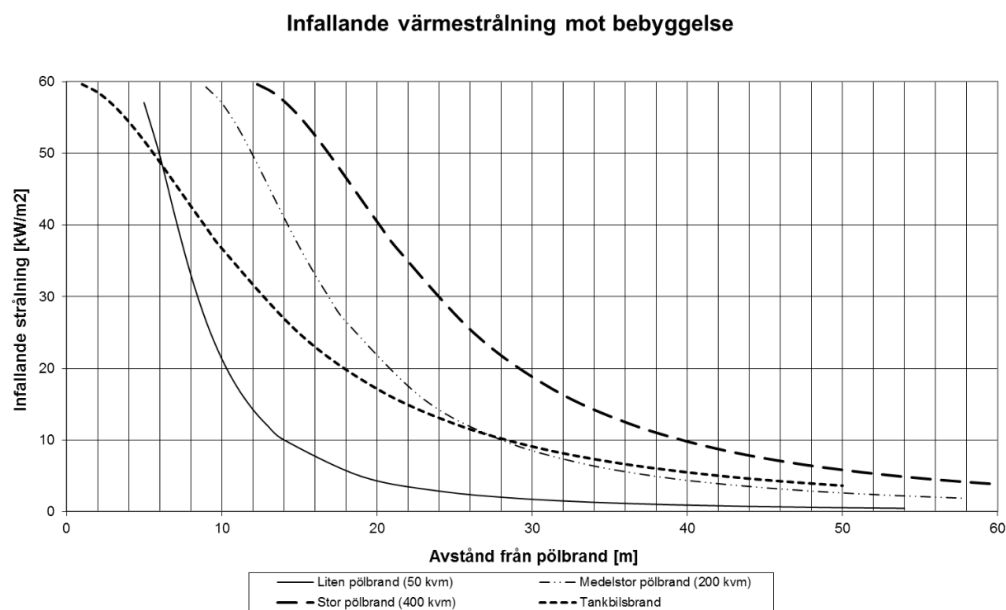
Scenario	Brinnande yta A _F (m ²)	Utvecklad effekt Q (kW)	Brandens diameter D _f (m)	Flammhöjd H _f (m)	Utfallande strålning I ₀ (kW/m ²)
Liten pölbrand	50	50 000	8,0	8,0	49,8
Medelstor pölbrand	200	200 000	16,0	16,0	42,8
Stor pölbrand / Tankbilsbrand	400	400 000	22,6	22,6	37,7

Beräkningarna av den infallande strålningen redovisas i Tabell 14. Strålningen har beräknats på halva flammans höjd. I strålningsberäkningarna används konservativt ett värde på den utfallande strålningen på 60 kW/m² för samtliga brandscenarier.

Tabell 14 Beräkning av strålning och synfaktor på halva flammans höjd för olika avstånd från pölbranden.

Avstånd (m)	Liten pölbrand		Medelstor pölbrand		Stor pölbrand / Tankbilsbrand	
	$F_{1,2}$	q_r''	$F_{1,2}$	q_r''	$F_{1,2}$	q_r''
5	0,44	26,6	0,76	45,5	0,86	51,7
10	0,17	10,0	0,44	26,6	0,61	36,7
15	0,08	4,9	0,26	15,8	0,41	24,9
20	0,05	2,9	0,17	10,0	0,29	17,1
25	0,03	1,9	0,11	6,9	0,20	12,3
30	0,02	1,3	0,08	4,9	0,15	9,1
35	0,02	1,0	0,06	3,7	0,12	7,0
40	0,01	0,7	0,05	2,9	0,09	5,5
45	0,01	0,6	0,04	2,3	0,07	4,4
50	0,01	0,5	0,03	1,9	0,06	3,6

I Figur 3 redovisas den infallande strålningen som funktion av avståndet från branden. I figuren beaktas även pölens radie, vilket ej beaktas i de avstånd som anges i Tabell 14 som utgår från flammans kant.



Figur 3 Infallande strålning som funktion av avståndet från pölbrand inkl. pölradien

3.4.2 Bedömningskriterier

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

I Tabell 15 redovisas exempel på strålningsnivåer och vilka skador dessa kan medföra avseende personskada respektive brandspridning.

Tabell 15 Effekter av olika strålningsnivåer /5,8/.

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

En person som befinner sig utomhus och upptäcker en större brand försöker med stor sannolikhet sätta sig i säkerhet. Tiden för varseblivning samt beslut och reaktion innebär dock att personen kan utsättas för värmestrålning under en kortare stund innan hen reagerar. De strålningsnivåer och effekter som anges i Tabell 16 har i Tabell 17 omvandlats till en uppskattad andel omkomna beroende på strålningsnivå för personer som befinner sig utomhus.

Tabell 16 Uppskattad sannolikhet för oskyddad person utomhus att omkomma som funktion av strålningsnivån vid pölbrand.

Strålningsnivå	Andel omkomna
10 kW/m ²	5 %
60 kW/m ²	15 %
80 kW/m ²	100 %

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

3.4.3 Resultat

I tabell 17 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario utifrån redovisade förutsättningar.

Tabell 17 Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av brandfarliga vätskor.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)
Liten pölbrand	5 % <u>inomhus</u>	11
	100 % <u>utomhus</u>	7
	15 % <u>utomhus</u>	11
	5 % <u>utomhus</u>	13
Medelstor pölbrand	5 % <u>inomhus</u>	22
	100 % <u>utomhus</u>	13
	15 % <u>utomhus</u>	22
	5 % <u>utomhus</u>	25
Stor pölbrand	5 % <u>inomhus</u>	30
	100 % <u>utomhus</u>	18
	15 % <u>utomhus</u>	30
	5 % <u>utomhus</u>	36
Tankbilsbrand	5 % <u>inomhus</u>	20
	100 % <u>utomhus</u>	7
	15 % <u>utomhus</u>	20
	5 % <u>utomhus</u>	25

I Tabell 18 redovisas uppskattat antal omkomna utmed Lugna gatan och Lundaleden med planerad exploatering respektive för nollalternativet (befintliga förutsättningar inom planområdet). För samtliga skadescenarier beräknas konsekvenserna med utgångspunkt att olyckan inträffar på närmaste körbana.

Tabell 18 Beräknade konsekvenser - antal omkomna, för skadescenarier vid transport av brandfarliga vätskor. Antal omkomna redovisas för Lugna gatan respektive Lundaleden

Skadescenario	Antal omkomna Lugna gatan		Antal omkomna Lundaleden	
	Planförslag	Nollalternativ	Planförslag	Nollalternativ
Liten pölbrand				
<i>Inomhus</i>	0	0	0	0
<i>Utomhus</i>	0	0	0	0
<i>Totalt</i>	0	0	0	0
Medelstor pölbrand				
<i>Inomhus</i>	1	0	1	0
<i>Utomhus</i>	0	0	0	0
<i>Totalt</i>	1	0	1	0
Stor pölbrand				
<i>Inomhus</i>	1	0	1	0
<i>Utomhus</i>	1	0	1	0
<i>Totalt</i>	2	0	2	0
Tankbilsbrand				
<i>Inomhus</i>	1	0	1	0
<i>Utomhus</i>	1	0	1	0
<i>Totalt</i>	2	0	2	0

3.5 Klass 5. Oxiderande ämnen och organiska peroxider

3.5.1 Metodik

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

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 /13/.

De fortsatta riskberäkningarna utgår från explosion med 4 000 kg massexplosivämne. Detta är ett konservativt antagande.

Konsekvensberäkningarna följer den metodik som anges i MSB:s rapport *Luftstövåg /14/*. Risker 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:

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

/13/ Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, 1996

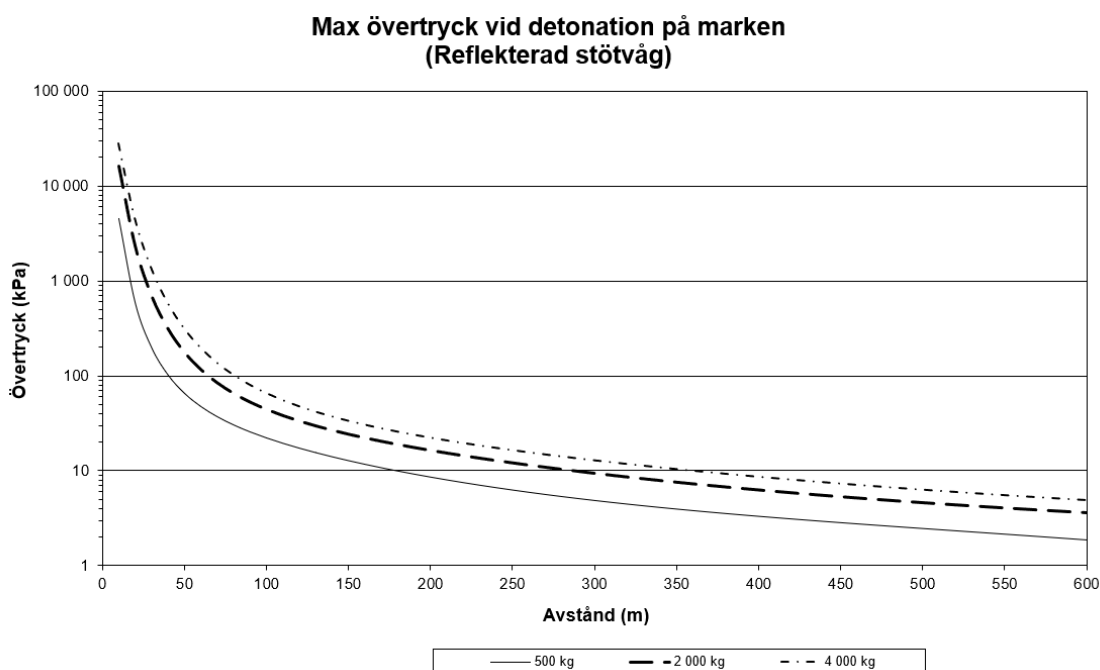
/14/ Luftstövåg, Morgan Johansson (Reinertsen Sverige AB), MSB, senast reviderad 2012

Konsekvensberäkningarna utgår från beräkningar av maximalt övertryck (P_+), impulstäthet (I_+) samt varaktighet (t_+) för de studerade explosionsscenarierna. I Figur 4 och 5 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.

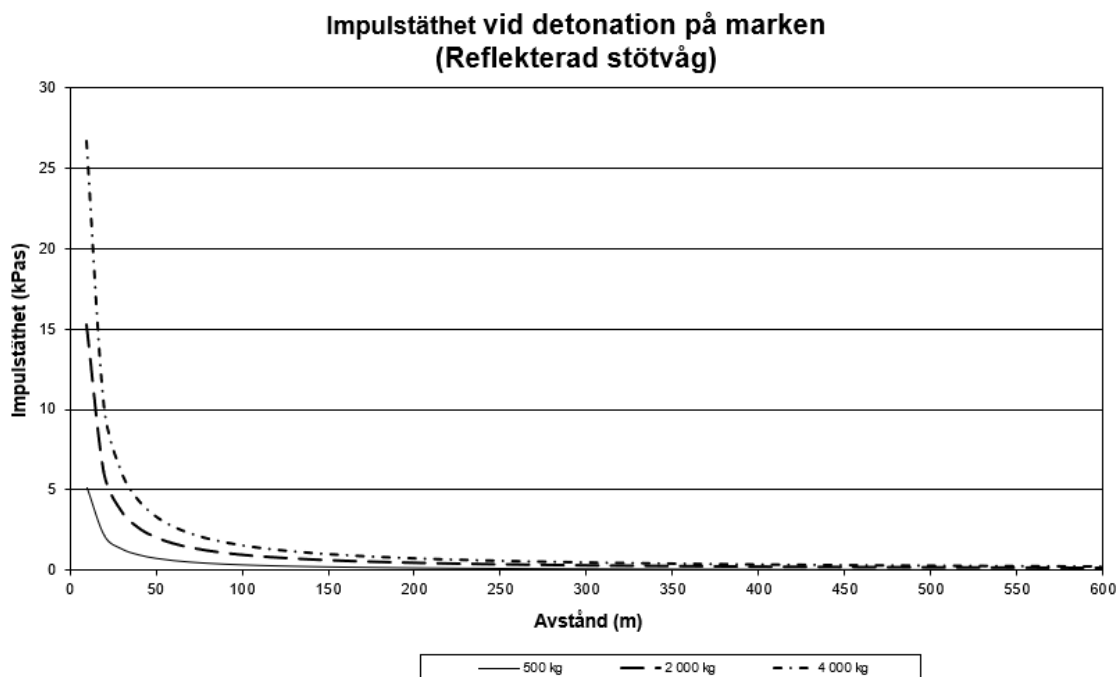
Då människor är relativt små bedöms inget reflekterande tryck uppstå vilket innebär att man vid bedömning av skadeområdet för konsekvenser utomhus studerar strykande tryck (180°).

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

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



Figur 4 Max övertryck som funktion av avståndet från explosion vid detonation av trotyl på eller nära mark vid vinkelrätt infall.



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

3.5.2 Bedömningskriterier

Inomhus: Enligt ovan beror konsekvenserna inomhus på explosionens maximala övertryck (P_+) och impulstäthet (I_+) i förhållande till byggnadsdelarnas karaktäristiska tryck (P_c) och impuls (I_c). I tabell 19 anges karaktäristiska tryck (P_c) respektive impulstäthet (I_c) för olika byggnadsdelar beroende på byggnadsstrategi och bärighet /15/.

Tabell 19 Karakteristiska tryck (P_c) respektive impuls (I_c) för olika byggnadsdelar.

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

De infallande tryck som redovisas i Figur 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 upp till ca 50 % i förhållande till vad som anges i Figur 5 respektive Figur 6. Detta beaktas i de fortsatta konsekvensberäkningarna avseende skadeområden och uppskattat antal omkomna.

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 /16/:

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

3.5.3 Resultat

I Tabell 20 redovisas skadeavstånden för respektive skadescenario med ämne ur klass 5.

Tabell 20 Beräknade konsekvenser – skadeområden, för skadescenarier vid transport av oxiderande ämnen och organiska peroxider.

Skadescenario	Sannolikhet att omkomma	Skadeavstånd (meter)	
		Oskyddad bebyggelse	Skyddad bebyggelse
Dimensionerande scenario (motsvarar 4 000 kg massexplosion)	100 % <i>inomhus</i>	50	50
	15 % <i>inomhus</i>	200	100
	50 % <i>utomhus</i>	50	40

I Tabell 21 redovisas uppskattat antal omkomna utmed Lugna gatan och Lundaleden med ny bebyggelse inom planområdet respektive för nollalternativet (befintliga förutsättningar inom planområdet).

Tabell 21 Beräknade konsekvenser – antal omkomna, för skadescenarier vid transport av oxiderande ämnen och organiska peroxider. Antal omkomna redovisas för Lugna gatan respektive Lundaleden.

Skadescenario	Antal omkomna Lugna gatan		Antal omkomna Lundaleden	
	Planförslag	Nollalternativ	Planförslag	Nollalternativ
Dimensionerande scenario (motsvarar 2 000-4 000 kg massexplosion)				
<i>Inomhus</i>	220	35	195	46
<i>Utomhus</i>	3	1	3	1
<i>Totalt</i>	223	36	196	48

/16/ Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker, FOA, september 1997