

Liseberg AB

Göteborg Liseberg riskanalys dp2



Uppdragsnr: 106 03 99 Version: 2
2019-05-02

Uppdragsgivare: Liseberg AB
Uppdragsgivarens kontaktperson: Lars-Erik Hedin
Konsult: Norconsult AB, Theres Svenssons gata 11, 417 55 Göteborg
Uppdragsledare: Herman Heijmans
Handläggare: Johan Hultman

2	2019-05-02		Johan Hultman	Herman Heijmans	
1	2019-04-17		Johan Hultman	Herman Heijmans	
Utkast	2019-03-29		Johan Hultman		
Version	Datum	Beskrivning	Upprättat	Granskat	Godkänt

Detta dokument är framtaget av Norconsult AB som del av det uppdrag dokumentet gäller. Upphovsrätten tillhör Norconsult. Beställaren har, om inte annat avtalats, endast rätt att använda och kopiera redovisat uppdragsresultat för uppdragets avsedda ändamål.

Sammanfattning

En detaljplan håller på att tas fram för fastigheterna Immeln m.fl. i Göteborg, Syftet är att möjliggöra för Liseberg AB att utvidga verksamheten söderut med hotell, vattenpark, centrumverksamhet, lagerverksamhet, berg- och dalbana och parkeringshus med centrumverksamhet samt Volvoprojektet.

Planområdet gränsar till Europaväg 6/riksväg 40 samt till Västkustbanan/Kust till kustbanan som kommer ur järnvägstunneln i planområdets södra del. Båda dessa transportleder används för transporter av farligt gods.

Riskfrågorna skall beaktas vid detaljplanering inom 150 m från transportled för farligt gods enligt Länsstyrelsens riskpolicy. Även Göteborg Stads översiktsplan ställer krav på riskutredning för det planerade området.

I den genomförda riskutredningen jämförs beräknade nivåer för individ- och samhällsrisk med kriterier som tagits fram av DNV på uppdrag av dåvarande Räddningsverket som numera accepteras nationellt vid denna typ av riskutredningar.

Riskutredningen visar att för planområdet är risksituationen sådan att skyddsåtgärder skall genomföras innan risknivåerna tolereras. Följande skyddsåtgärder skall genomföras:

- En skyddsmur mot järnväg uppförs mellan järnväg bebyggelse i södra delen av planområdet. Muren ska utformas så att den hindrar avåkande tåg från att nå planområdet. Särskilt omsorg måste användas vid utformning av start och slut av detta skydd så inte risken för skador på det avåkande tåget ökar. Skyddsmuren kommer även att fungera som skydd mot att farliga vätskor når planområdet ifall dessa släpps ut vid en olycka med farligt gods.
- Fasad (inklusive fönster) på alla sidor av byggnader med ett avstånd på mindre än 80 meter (i plan och höjd) från vägkanten på E6/rv40 ska vara tät och av lägst brandklass EI 30. Fönster ska vara klassade i EI 30 och ska inte kunna öppnas utan särskilda specialverktyg.
- Fasad (inklusive fönster) på alla sidor av byggnader med ett avstånd på mindre än 100 från vägkanten på E6/rv40 ska vara tät och av lägst brandklass EI 30 upp till 4 meter från marknivå. Fönster ska vara klassade i EI 30 och ska inte kunna öppnas utan särskilda specialverktyg.
- All ventilation ska placeras högt och vänt bort från E6/rv40 och järnvägen. Ventilationen ska kunna stängas av manuellt.
- Utrymning av byggnader ska vara möjlig bort från E6/rv40 och järnvägen.
- Byggnader ska tåla gasexplosion enligt lastfallen som presenteras i avsnitt 7.2.4.
- Områden inom 90 meter från E6/rv40 som inte är i skydd av byggnader mellan vägen/järnvägen och planområdet bör inte uppmuntra till stadigvarande vistelse.
- Skyddsmur på hela E6/rv40:s sträckning förbi planområdet som minskar sannolikhet för punktering av transportbehållare vid olycka och förhindrar att farliga vätskor rinner mot planområdet. Muren ska ha som funktion att också fånga upp tunga fordon. Alternativt uppfyller tungt vägräcke i kombination med hög kantsten samma funktion.

För berg- och dalbanan kan det vara svårt att hitta lämpliga skyddsåtgärder då människor som befinner sig utomhus ofta är svårare att skydda än de som befinner sig inomhus. Då är det ofta en bra åtgärd att försöka minska sannolikheten för att olyckor inträffar (skyddsmur föreslagen i åtgärder ovan), ha ett skyddsavstånd från riskkällan och vid en olycka kunna säkra utrymning för människor.

Nedanstående åtgärder bedöms relevanta för berg- och dalbanan.

- Ett skyddsavstånd mellan E6/rv40 och berg- och dalbanan på cirka 45-50 meter bör eftersträvas och leder till en betydande minskning av risknivåerna. Detta då ett antal av de kritiska olycksscenarierna ger mest påverkan inom detta avstånd.
- Flamdetektion eller annan övervakning mot E6 så att en olycka med brand upptäcks snabbt och lämpliga åtgärder för att säkra berg- och dalbanan kan vidtas.

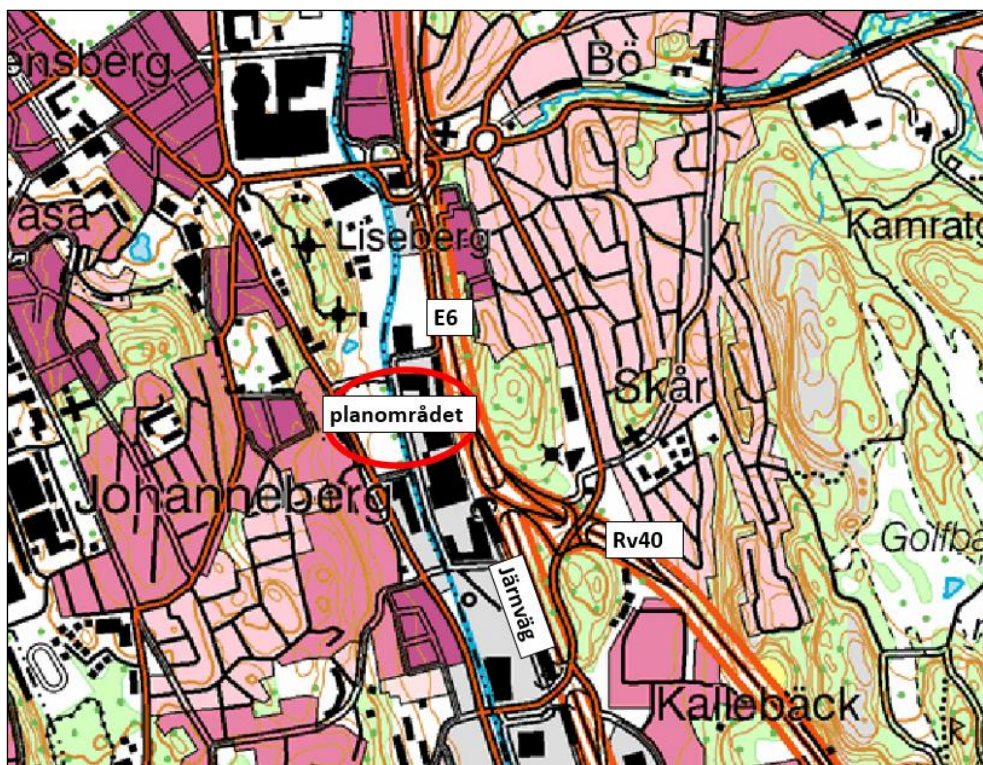
Efter att dessa åtgärder är genomförda bedöms risksituationen för planområdet vara tolerabel enligt kriterierna i DNV:s rapport "Värdering av risk" som tagits fram på uppdrag av dåvarande Räddningsverket (numera MSB). Dessa kriterier används nationellt vid riskutredning för detaljplaner längs transportleder för farligt gods.

Innehåll

1	Inledning	6
2	Risker med transport av farligt gods	7
2.1	Typer av farligt gods	7
2.2	Konsekvenser av en olycka med farligt gods	7
3	Platsen	9
3.1	Planområdet	9
3.2	Persontäthet	12
3.3	Transporter av farligt gods på E6/rv40	17
3.4	Transport av farligt gods på Västkustbanan/Kust till kustbanan	18
4	Riskbedömning i den fysiska planeringen	20
4.1	Vad är risker	20
4.2	Metodik vid riskhantering i den fysiska planeringen	21
4.3	Bedömningsgrunder för risker vid transport av farligt gods	22
5	Resultat av riskberäkningarna	28
5.1	Individrisk	28
5.2	Samhällsrisk	30
6	Osäkerhetsanalys	37
7	Diskussion och slutsatser	39
7.1	Berg- och dalbanan	42
7.2	Övriga delar av planområdet	39
7.3	Risknivå med skyddsåtgärder	43
7.4	Slutsats	44
8	Referenser	46
Bilaga 1	Riskberäkning väg	
Bilaga 2	Riskberäkning järnväg	
Bilaga 3	Fasadutformning mot explosionslast	

1 Inledning

En detaljplan håller på att tas fram för fastigheterna Immeln m.fl. i Göteborg, se Figur 1 för områdets läge. Syftet är att möjliggöra för Liseberg AB att utvidga verksamheten söderut i samband med Jubileumssatningen.



Figur 1 Områdets läge i Göteborg.

Planområdet gränsar till Europaväg 6/riksväg 40 samt till Västkustbanan/Kust till kustbanan som kommer ur järnvägstunneln i planområdets södra del. Dessa transportleder är alla utpekade för transporter av farligt gods.

Denna riskutredning är framtagen för etapp 2 av tidigare nämnd detaljplan. Etapp 2 kommer delvis att överlappa etapp 1 i områdets södra del. Vissa förutsättningar som gällde i etapp 1 kan ha ändrats till etapp 2 i det överlappande området.

Göteborgs stads översiktsplan fördjupad för transport av farligt gods (Göteborgs stad 1999) ger anvisningar för när en särskild riskanalys skall upprättas vid planering av området längs transportleder för farligt gods men tar inte hänsyn till effekten av flera transportleder längs samma område eller till annan bebyggelse än bostads- och kontorsbebyggelse.

Länsstyrelsens riskpolicy (Lst 2006) anger att riskfrågorna skall beaktas vid detaljplanering inom 150 m från transportled av farligt gods. Beslut har därför tagits att upprätta en särskild riskanalys för projektet. Den genomförda analysen och framtagna åtgärdsförslag presenteras i denna rapport.

2 Risker med transport av farligt gods

2.1 Typer av farligt gods

Enligt internationella bestämmelser (ADR/RID) delas farligt gods in i nio klasser, se Tabell 1.

Tabell 1 Indelning av farligt gods.

Klass	Innehåll	Exempel
1	Explosiva ämnen	Massexplosiva varor (dvs. sprängämnen), fyrverkerier
2	Komprimerade, kondenserade eller under tryck lösta gaser	Brandfarliga gaser (gasol), giftiga gaser (ammoniak, svaveldioxid) och andra trycksatta gaser (kvävgas, syrgas)
3	Brandfarliga vätskor	Bensin, eldningsolja
4	Brandfarliga fasta ämnen	Kalciumkarbid
5	Oxiderande ämnen	Väteperoxid, ammoniumnitrat
6	Giftiga ämnen och smittfarliga ämnen	Kviksilverföreningar och cyanider, bakterier, levande virus och laboratorieprover
7	Radioaktiva ämnen	Radioaktiva preparat för sjukhus
8	Frätande ämnen	Olika syror, lut
9	Övriga farliga ämnen och föremål	Asbest

2.2 Konsekvenser av en olycka med farligt gods

Nedan följer en allmän beskrivning av de olika sorters farligt gods som transporteras i Sverige och potentiella följder av olyckor där farligt gods är inblandat. De förväntade följderna i form av dödsfall avser, om inget annat sägs, personer som vistas utomhus utan skydd.

Konsekvenserna beskrivs mera utförligt i *bilaga 1 och 2*.

Klass 1: Explosiva ämnen

En explosion av s.k. massexplosiva ämnen kan ge omkomna upp till ca 100 m från explosionen och byggnader kan raseras på flera hundra meters avstånd. Övriga explosiva ämnen kan, i huvudsak genom raserade byggnader, ge effekter på några tiotal meters avstånd.

Klass 2: Brännbara eller giftiga gaser

Utsläpp av brännbar gas i luft kan antändas direkt och orsaka en s.k. jetflamma. Om gasen inte antänds direkt bildas först ett brännbart gasmoln som sedan kan antändas relativt omgående eller driva iväg och antändas över bebyggelsen. Detta resulterar då i en flash brand (Flash Fire) eller gasmolnsexplosion (Vapor Cloud Explosion). I ytterst sällsynta komplicerade olyckor kan gastanken explodera och bilda ett eldklot, s.k. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). Risken att omkomma av en jetflamma är vanligtvis liten på avstånd som överstiger 90 meter. Ett gasmoln som driver iväg med vinden kan hamna nära bebyggelsen och orsaka betydande skador vid antändning. En BLEVE kan ge upphov till omkomna på ett avstånd av 150 m.

Giftiga gaser kan vid ett utsläpp driva iväg i vindriktningen och leda till omkomna på flera hundra meter. Dödsfall inträffar framförallt bland de som vistas utomhus.

Klass 3: Brandfarliga vätskor

Om en tank med mycket brandfarlig vätska (exempelvis bensin) skadas rinner bensinen ut och en s.k. pölbrand kan uppstå. Eldningsolja är så svårantändlig att brandrisken är försumbar. Risken att omkomma är som regel liten på avstånd som överstiger några 10-tals meter.

Klass 4: Brandfarliga ämnen såsom svavel, fosfor och karbid

Dessa ämnen är fasta och skadar endast i olycksplatsens direkta omgivning.

Klass 5: Oxiderande ämnen

Olycka med endast dessa ämnen leder normalt ej till personskador, men om ämnena blandas med olja eller bensin kan det uppstå explosionsrisk och explosionerna kan vara lika kraftiga som för ämnen i klass 1.

Klass 6: Giftiga ämnen

Giftiga ämnen ger mestadels enbart effekter vid direktkontakt.

Klass 7: Radioaktiva ämnen

Dessa ämnen transporteras normalt endast i små mängder på väg och järnväg. Risken att omkomma är därför försumbar.

Klass 8: Frätande ämnen såsom saltsyra och svavelsyra

Risk för skador är normalt störst inom ca 20 m eftersom skada uppkommer vid direkt exponering på personen.

Klass 9: Övriga farliga ämnen och föremål

Denna klass omfattar bl.a. miljöfarligt avfall. Det är dock inga ämnen som är brandfarliga eller explosiva.

3 Platsen

3.1 Planområdet

Planområdet omfattar området söder om Lisebergs nöjespark i Göteborg, se Figur 2 där detaljplan etapp 1 anges med blå streckad linje och detaljplan etapp 2 anges med röd streckad linje. Detaljplanen i etapp 2 överlappar således i södra delen detaljplanen i etapp 1.



Figur 2 Situationsplan för Jubileumsprojektet detaljplan 2 (Wingårds 2019).

Markanvändningen för området kommer vara Vattenpark/nöjespark inomhus, lager/verkstad/kontor, besöksverksamhet, hotell, parkering och centrumverksamhet. En sammanställning av de olika volymerna som planeras inom området presenteras i Tabell 2.

Tabell 2 Markanvändning och ungefärliga BTA (Göteborgs stad 2019)

Markanvändning	BTA/antal parkeringar
Vattenpark/Nöjespark inomhus	20 000 m ²
Lager/verkstad/kontor	20 000 m ² varav cirka 2000 m ² kontor
Besöksverksamhet/centrumverksamhet	18 000 m ²
Hotell	40 000 m ²
Parkering	Cirka 1 900 platser
Volvoprojektet	17 000 m ²
Centrumverksamhet i bottenplan på P-huset	2 000 m ²
Befintlig verksamhet (Tryckeri)	Ingen uppgift
Totalt	Cirka 135 000 m²

En preliminär skiss på hur området i framtiden eventuellt kommer se ut visas i Figur 3.



Figur 3 Skiss över möjlig utformning av området i framtiden (Wingårds 2019).

Totalt handlar det om två områden:

- hotell, vattenpark/nöjespark inomhus, lager/verksamhet/kontor och eventuell berg- och dalbana
- Parkeringshus med centrumverksamhet. Ovanpå parkeringshuset med centrumverksamhet planeras det för en besöksanläggning för Volvo med konferensanläggning samt restaurang som kallas "Volvoprojektet" (Göteborgs stad 2019).

De bebyggda delarna av området kommer ligga på ett genomsnittligt avstånd på cirka 30 meter från närmaste vägkant på E6/väg 40 och på ett avstånd av i genomsnitt cirka 24 meter från närmaste räls på Västkustbanan/Kust till kustbanan. Områdets längd läng E6/väg 40 är cirka 450 meter. Västkustbanan/Kust till kustbanan går i tunnel på stora delar av sträckan förbi planområdet. Längden som Västkustbanan/Kust till kustbanan går ovan mark förbi planområdet är cirka 200 meter.

3.1.1 Hotell, vattenpark/nöjespark inomhus och lager/verksamhet/kontor

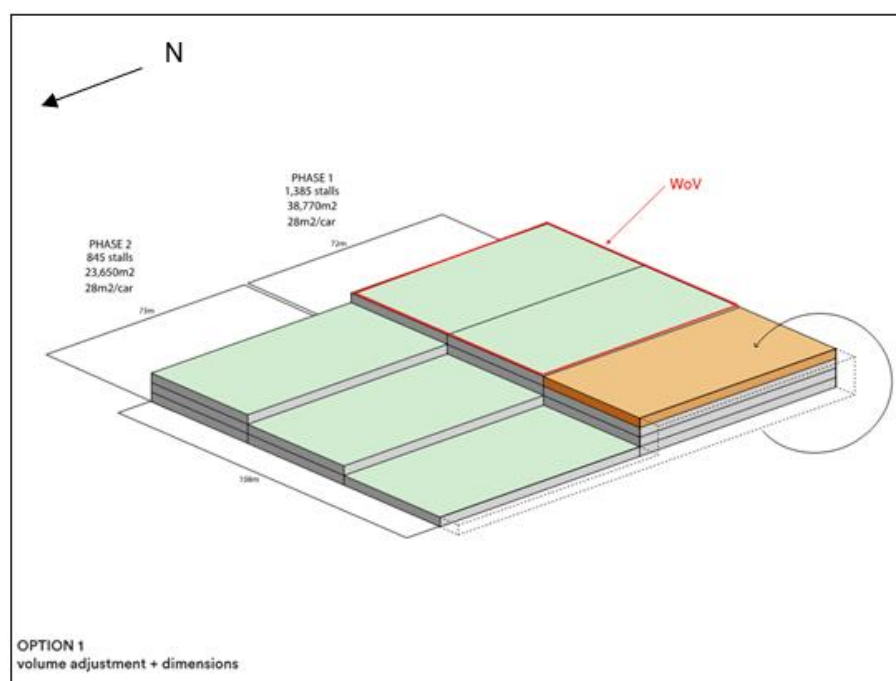
Området i detaljplanens norra del planeras att exploateras med vattenpark/nöjespark inomhus, lager/verkstad/kontor och hotell. Hotellet planeras att inrymmas cirka 450 rum. Vattenparken/nöjesparksdelen kommer vara inomhus.

Lager/verksamhet/kontor planeras inrymmas i områdets norra del. Dessa typer av verksamheter, med undantag av viss kontorsverksamhet, förväntas ha låg persontäthet.

3.1.2 Parkeringshuset med centrumverksamhet i bottenplan och Volvoprojektet

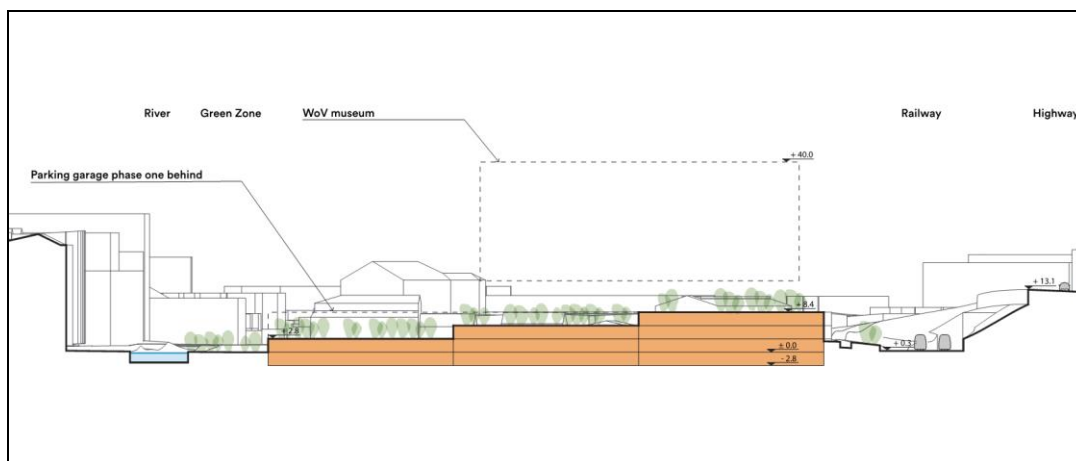
I planområdets södra del planeras ett parkeringshus med maximalt 1 900 parkeringsplatser. I bottenplanets västra del planeras även för centrumverksamhet.

Ovanpå planerat parkeringshus planeras en besöksanläggning för Volvo, konferensanläggning och restaurang i ett koncept som kallas "Volvoprojektet", se Figur 4. Definitiv utformning av denna anläggning är i dagsläget inte färdigställd.



Figur 4 Preliminär skiss över Volvoprojektet ovanpå parkeringshuset (Inhouse Tech 2018).

Volvoprojektet planeras bli cirka 17 000 m² stort och förväntas locka cirka 500 000 besökare per år (Inhouse Tech 2018). Volvoprojektet kommer ligga cirka 5 meter över markytan, se Figur 5.



Figur 5 Skiss som visar sektion för parkeringshuset och Volvoprojektet (streckad fyrkant) (Inhouse Tech 2018).

3.2 Persontäthet

3.2.1 Hotellet

Hotellet planeras att få cirka 450 rum vilket är ungefär samma som hotellet i etapp 1 (Liseberg 2019:1). Därför uppskattas antal personer på plats i hotellverksamheten vara samma antal personer enligt denna detaljplan. Det innebär att det bedöms i genomsnitt vara cirka 1200 personer på plats nattetid (18-06) och cirka 270 personer på plats på dagtid (06-18). I osäkerhetsanalysen behandlas vad som händer om det finns fler personer i hotellet än vad som antas här.

3.2.2 Vattenparken/nöjespark inomhus

I den tidigare utredningen för detaljplanens etapp 1 gjordes en bedömning att antal personer på plats i vattenparken skulle vara i genomsnitt cirka 400 personer på dagtid (06-18) och cirka 100 personer på nattetid (18-06). BTA för vattenlandet i etapp 1 är bedömd till cirka 17 000 m² (Liseberg 2019:1) och för etapp 2 till cirka 20 000 m² (Göteborgs stad 2019). Det bedöms därför vara rimligt att anta att det kommer vara cirka 18 % fler personer i vattenlandet i etapp 2 jämfört med antal personer i vattenlandet i etapp 1.

Antal personer på plats på dagtid beräknas därför bli cirka 480 och på nattetid cirka 120 personer.

3.2.3 Parkeringshuset med centrumverksamhet i bottenplan

För att få underlag till en bedömning av den framtida användningen av parkeringshuset har beläggningen på den nuvarande parkeringsplatsen inom området studerats utifrån information från Göteborgs Stads Parkerings AB (Göteborg stads parkering AB 2016).

Räknat på helåret var beläggningen på parkeringsplatsen 28 % under dagtid (kl. 06-18) och 31 % under nattetid (kl. 18-06). Skillnaden i beläggningen mellan sommar och vinterhalvåret är stor, se Tabell 3.

Tabell 3 Beläggning på parkeringsplatsen söder om Liseberg

Beläggning	Februari	Juli	Helår
Dagtid kl. 06-18	12 %	45 %	28 %
Nattetid kl. 18-06	8 %	54 %	31 %
Dygnet	10 %	49 %	29 %

Beläggningen under sommaren var ca 50 % medan den var ca 10 % under vintern.

Beläggningen varierar med tiden på dygnet, högst (över 80 %) är den mellan 16.00 och 22.00 under sommarmånaden.

För att beräkna antalet personer som i snitt uppehåller sig i parkeringshusets parkering samtidigt har följande antaganden gjorts: parkeringshuset har ca 1 900 parkeringsplatser, 3 byten sker per parkeringsplats, 4 personer per bil och en total uppehållstid på ca 6 minuter i samband med parkering.

Sommarhalvåret beräknas i snitt ca 95 personer uppehålla sig på parkeringen samtidigt, vinterhalvåret ca 20 personer. I de fortsatta beräkningarna utgår det från 100 personer i parkeringshuset då ett av syften med de nya satsningarna är att få en jämnare beläggning på Liseberg samt att de nya satsningarna kommer att locka till sig fler besökare.

I parkeringshuset planeras också för centrumverksamhet på ungefär 2 000 m². Enligt en tidigare genomförd riskutredning (Norconsult 2016:2) bedöms antal personer närvarande dagtid i denna typ av verksamhet vara cirka 11 personer i snitt per 1 000 m² och därmed cirka 22 personer totalt i snitt dagtid.

Totalt bedöms det därför vara cirka 90 personer på plats i på dagtid i parkeringshuset och centrumverksamheten. Nattetid bedöms mycket färre personer vara närvarande i parkeringshuset och centrumverksamheten. En bedömning är att cirka 10 % av antalet personer närvarande dagtid är närvarande på natten vilket ger cirka 10 personer närvarande i snitt nattetid.

3.2.4 Volvoprojektet

Antalet besökare per år beräknas vara cirka 500 000 personer årligen. "Volvoprojektet" bedöms vara öppet cirka 360 dagar per år och 12 timmar per dag vilket fördelar sig på 8 timmar dagtid (06-18) och 4 timmar på kvälls/nattetid (18-06).

Varje besökare bedöms i genomsnitt vara närvarande i cirka 3 timmar som en sammanvägd bedömning av vistelsetider till ett experience center, konferensanläggning och restaurang (Inhouse Tech 2018). Detta ger ett genomsnittligt besöksantal på dagtid på cirka 235 personer och på nattetid cirka 115 personer. Antal personer i personalen bedöms uppgå till cirka 15 personer som är närvarande i genomsnitt under hela öppettiden och adderas till den genomsnittliga persontätheten. Detta ger då ett slutgiltigt genomsnittligt personantal på cirka 250 personer på dagen och cirka 130 personer på natten.

Av dessa personer bedöms 93 % befinna sig inomhus och 7 % utomhus på dagtid. På kvälls- och nattetid bedöms 99 % befinna sig inomhus och 1 % utomhus.

3.2.5 Lager/verksamhet/kontor

Det totala BTA:n för dessa typer av verksamheter planerad till cirka 20 000 m² varav cirka 2 000 m² ska vara kontor.

För kontor används en persontäthet från Göteborgs stads vägledning till parkeringstal (Göteborgs stad 2011). I den anges att kontor har en persontäthet på 30 personer per 1 000 m² BTA. Antal besökare anges till 3-6 per 1 000 m². Ett genomsnitt på 4,5 besökare per 1 000 m² ger en total persontäthet på cirka 35 personer per 1 000 m² BTA för kontor. Beräknat på total BTA för kontorsverksamhet på 2 000 m² ger detta cirka 70 personer på plats i kontorsverksamheten. Av dessa antas alla vara på plats på dagtid (06:00-18:00). Ytterst få personer bedöms vara på plats under begränsad tid nattetid (18:00-06:00) och tas inte med i riskutredningen.

I utrymningsberäkningar används dimensionerande persontäthet för att beräkna hur utrymningsvägar ska dimensioneras. I Storbritannien är den dimensionerande persontäthet för lagerverksamhet cirka 15 % av persontätheten för kontor (LTH 2008). Utifrån tidigare beräkning av persontäthet för kontor beräknas persontätheten för lagerverksamhet vara cirka 6 personer per 1 000 m². Den totala BTA:n för lagerverksamhet på 18 000 m² ger då att det i genomsnitt beräknas befinna sig cirka 110 personer i verksamheten dagtid (06:00-18:00). Ytterst få personer bedöms vara på plats under begränsad tid nattetid (18:00-06:00) och tas inte med i riskutredningen.

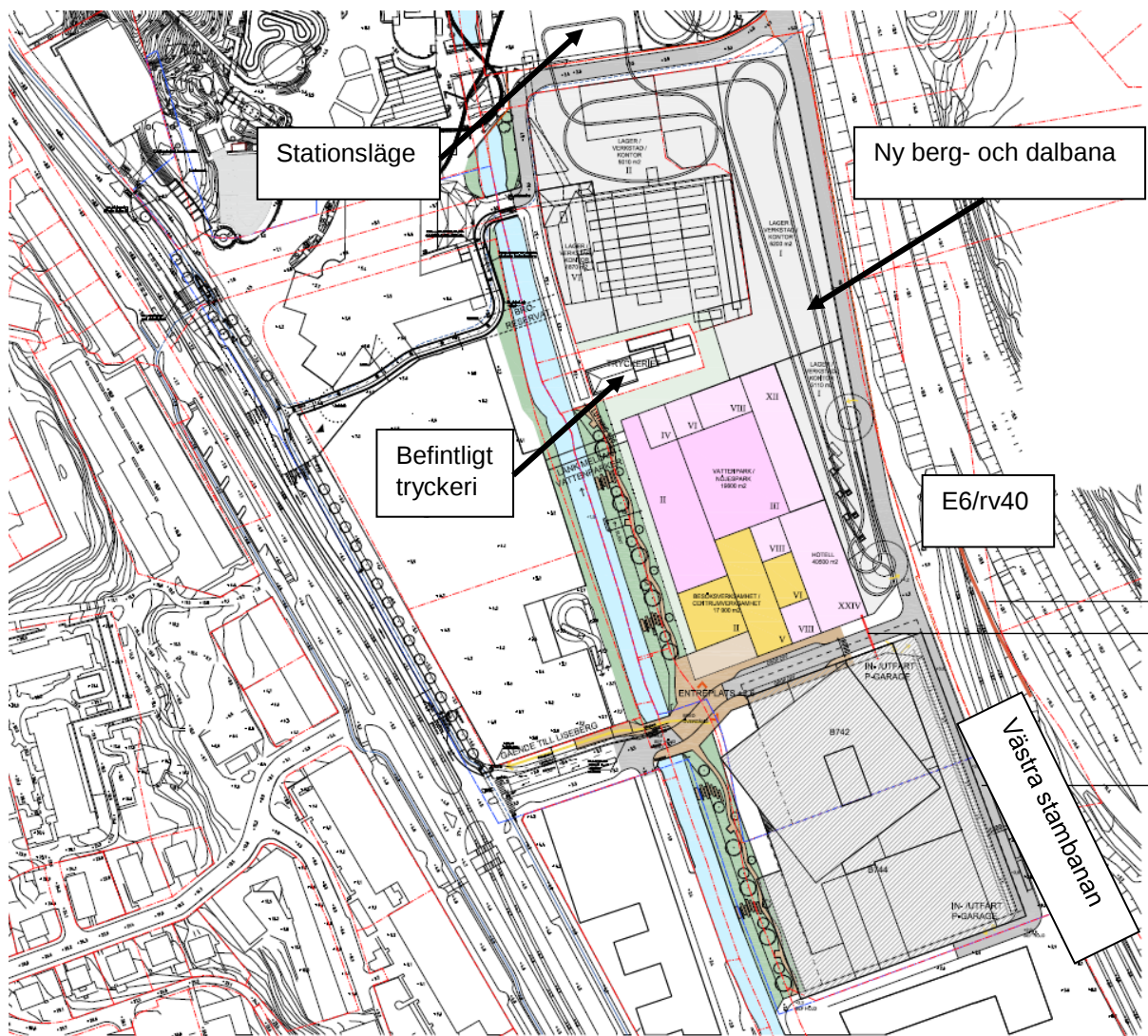
3.2.6 Berg och dalbana

Öppettider för verksamheten som kommer vara berg- och dalbanan kommer sannolikt vara samma som för Liseberg idag dvs öppet 11:00 till 23:00 under säsong cirka 6 månader (slutet av april till slutet av september). Under denna period är inte nöjesparken öppen varje veckodag. Vid andra tider är nöjesparken öppen under vissa specialevenemang såsom innan jul och halloween (Liseberg 2019:2). Enligt nuvarande öppettider beräknas attraktionen vara öppen under cirka 144 dagar per år. Öppettiderna innebär att attraktionen är öppen 7 av 12 timmar på det som definieras dagtid (06:00-18:00) och 5 av 12 timmar på det som definieras nattetid (18:00-06:00).

Den nya berg- och dalbanan bedöms kunna bestå av tre tåg med cirka 36 personer i varje tåg (Liseberg 2019:3). Berg- och dalbanan kommer till stora delar gå parallellt med E6/rv 40 medan själva stationsdelen föreslås placeras inne på Lisebergs befintliga detaljplanelagda område, se Figur 6. Stationsläget ligger på ett avstånd av cirka 100 meter från väggkant på E6/rv40 och inom redan detaljplanelagt område. Därför behandlas själva stationsdelen inte vidare i denna riskutredning.

Däremot kommer resterande delar av berg- och dalbanan gå inom området för ny detaljplan. Av de tre tåg som planeras trafikera berg- och dalbanan så bedöms två vara ute i själva attraktionen medan ett tåg alltid kommer befinna sig i stationsområdet. Det innebär att cirka 72 personer kommer befinna sig ute i själva attraktionen vid full beläggning. Hänsyn tas till öppettider enligt tidigare resonemang vilket innebär att attraktionen är tom en del av tiden under dygnet och över året. Antal personer på plats i attraktionen i genomsnitt beräknas då bli cirka 17 personer på dagen (06:00-18:00) och 12 personer på natten (18:00-06:00). Av dessa bedöms alla befinna sig utomhus.

Berg och dalbanan kommer på stora delar ligga cirka 30 meter från väggkant på E6/rv40 och på en sträcka av cirka 275 meter utmed vägen. Berg- och dalbanan går på en försumbar sträcka utmed den sträcka där Västkustbanan/Kust till kustbanan går ovan mark. Berg- och dalbanan kommer dessutom ovanpå taket på en 3 våningar hög byggnad.



Figur 6 Skiss över möjlig dragning av ny berg- och dalbana och befintligt tryckeri (Wingårds 2019), se även Figur 3.

3.2.7 Befintlig verksamhet

Inom planområdet finns ett tryckeri beläget, se Figur 6. Detta tryckeri ska vara kvar även i framtiden. Det bedöms vara cirka 10 personer som arbetar i tryckeriet vilka läggs till i den totala personmängden på dagtid.

3.2.8 Besöksverksamhet/centrumverksamhet väster om hotellet

Enligt tidigare beräkning är antalet personer på plats vid en centrumverksamhet cirka 11 personer per 1 000 m². Med en total BTA på cirka 18 000 m² för centrumverksamhet enligt avsnitt 3.2.3. så innebär det att det är cirka 200 personer befinner sig i genomsnitt i centrumverksamheten dagtid. Av dessa är cirka 10 % på plats på nattetid vilket beräknas vara cirka 20 personer.

3.2.9 Sammanfattning persontäthet

Antalet personer på plats i området enligt ovanståendebedömningar summeras och illustreras i Tabell 4

Tabell 4 Sammanställning av antal personer på plats på dagtid och nattetid i området.

Markanvändning	BTA/antal parkeringar	Antal personer dagtid (06:00-18:00)	Antal personer nattetid (18:00-06:00)
Vattenpark/Nöjespark inomhus	20 000 m ²	480	120
Lager/verkstad/kontor	20 000 m ² varav cirka 2 000 m ² kontor	180	-
Besöksverksamhet/centrumverksamhet	18 000 m ²	200	20
Hotell	40 000 m ²	270	1 200
Parkering	Cirka 1 900 platser	100	10
Volvoprojektet	17 000 m ²	250	130
Centrumverksamhet i bottenplan på P-huset	2 000 m ²	22	2
Berg- och dalbana	-	17	12
Befintlig verksamhet (Tryckeri)	-	10	-
Totalt cirka	117 000 m²	1 530	1 500

Av dessa personer befinner sig cirka 93 % inomhus och 7 % utomhus på dagtid. Motsvarande siffra på natten är 99% inomhus och 1 % utomhus.

3.3 Transporter av farligt gods på E6/rv40

Uppgifter avseende antalet transporter av farligt gods har tagit från en tidigare utredning avseende transporter förbi Gårda (Norconsult 2016:1), se Tabell 5.

Tabell 5 Transporter av farligt gods på E6/rv40 år 2030.

Klass	Andel	Antal transporter
1 Explosiva ämnen	0,1 %	100
2 Komprimerade gaser	7,6 %	6 300
3 Brandfarliga vätskor	60 %	50 000
4 Brandfarliga fasta ämnen	3,1 %	2 600
5 Oxiderande ämnen	0,6 %	500
6 Giftiga ämnen m m	0,3 %	260
8 Frätande ämnen	14 %	12 000
9 Övriga farliga ämnen	14 %	12 000
Totalt	100 %	83 000

Av de nio klasserna ovan är det ämnen i klasserna 1, 2, 3 och 5 som kan leda till olyckor med betydande konsekvenser för området. Klasserna 1, 2, 3 och 5 omfattar var för sig ett stort antal olika ämnen med varierande farlighetsgrad. För att kunna genomföra en riskberäkning måste antalet transporter beräknas för de ämnesgrupperna med de högsta risknivåerna. Detta görs nedan utifrån tillgänglig statistik på området.

I klass 1 är det de massexplosiva ämnena som står för de betydande riskerna. Andelen massexplosiva ämnen sätts till 10 % (ØSA 2004).

För klass 2 finns det uppgifter i MSB:s statistik för E6 som används. Av de 7,6 % transporter med komprimerade gaser innehåller 2,2 % brandfarliga gaser och 0,03 % giftiga gaser. Resterande 5,3 % är varken brandfarlig eller giftig.

Andelen mycket brandfarlig vätska i klass 3 (bensin mm) sätts till 75 % (ØSA 2004).

För klass 5 räknas endast de oxiderande ämnen med som bedöms kunna leda till en massexplosion. De uppskattas som högst stå för en tredjedel av den totala mängden.

Detta ger följande antal transporter i de kategorier som främst bedöms innebära risker för området, se

Tabell 6.

Tabell 6 Farligt gods på E6/rv40 år 2030 som medför betydande risker för området.

Klass och ämnesgrupp	Antal transporter
1.1 Massexplösiva ämnen	10
2.1 Brandfarliga gaser	1 800
2.3 Giftiga gaser	25
3. Mycket brandfarliga vätskor	37 000
5.1 Oxiderande ämnen med explosionsrisk	170

Beräkningen av olycksfallssannolikhet har genomförts utifrån den metod som Vägverket anger i sin handbok "Nybyggnad och förbättring – Effektkatalog", (Vägverket 2008).

På sträckan förbi planområdet har under perioden 2006-06-01 till 2016-06-01 förekommit 21 personskadeolyckor varav 3 singelolyckor enligt Trafikverkets databas STRADA som registrerar olycksfallsrapporter för personskadeolyckor från polisen och sjukvården.

Medeltrafiken på sträckan var under den perioden ca 101 000 fordon per årsmedeldygn, sträckan som olyckorna skett på är ca 320 m, vilket innebär ca 118 Mfkm under 10-års perioden. Olycksfrekvensen på sträckan blir då ca $1,8 \times 10^{-7}$ olyckor per fordonskilometer.

Andelen singelolyckor är här 14 %. Vid 86 % av olyckorna är 2 eller fler fordon inblandade. Det bortses från olyckor med fler än 2 fordon då dessa förekommer så sällan att det inte påverkar beräkningsresultatet. Detta ger att olycksrisken för ett fordon är lika med $(1 + 0,86) \times 1,8 \times 10^{-7} = 3,3 \times 10^{-7}$. Om hänsyn tas till att antal axelpar i genomsnitt är 1,1 så blir olycksrisken $3,7 \times 10^{-7}$.

3.4 Transport av farligt gods på Västkustbanan/Kust till kustbanan

Järnvägen går i tunnel större delen av sträckan förbi området, endast på en sträcka av cirka 200 meter går den i markläge, se avsnitt 3.1. Olyckor som sker i tunneln förutsätts inte ha någon stor påverkan på planområdet.

Uppgifter avseende transporter av farligt gods på järnvägen förbi planområdet har tagits från en tidigare utredning för denna järnväg, (Norconsult 2016:1). Resultaten visas i Tabell 7.

Tabell 7 Transporter av farligt gods på järnväg år 2030.

Klass	Andel	Antal transporter
1 Explosiva ämnen	0,1 %	10
2 Komprimerade gaser	13 %	980
3 Brandfarliga vätskor	17 %	1 300
4 Brandfarliga fasta ämnen	0,2 %	13
5 Oxiderande ämnen	22 %	1 700
6 Giftiga ämnen m m	2,9 %	220
8 Frätande ämnen	44 %	3 400
9 Övriga farliga ämnen	2 %	160
Totalt	100 %	7 700

Av dessa nio klasserna farligt gods är det ämnen i klasserna 1, 2, 3 och 5 som kan leda till olyckor med betydande konsekvenser för området.

Klasserna ovan innehåller ämnen med varierande farlighetsgrad och för att kunna genomföra en riskberäkning måste ämnen delas upp på ett annat sätt. Ämnena i klass 1, 2, 3 och 5 har därför delats upp ytterligare enligt nedan.

I klass 1 är det de s.k. massexplosiva ämnen som vid en olycka kan leda till en explosion som kan påverka planområdet. Andelen massexplosiva ämnen antas vara ca 10 % av den totala mängden i klass 1 (ÖSA 2004).

I klass 2 skiljs det mellan brandfarliga gaser (som gasol), giftiga gaser (klor, ammoniak m.fl.) och övriga – mindre farliga gaser. Uppdelning finns i MSB:s databas.

I klass 3 består ca 75 % av de transporterade mängderna av mycket brandfarlig vätska (bensin, flygbränsle mm) (ÖSA 2004).

För klass 5 antas konservativt att en tredjedel av ämnena i klassen kan leda till explosion.

Detta ger följande antal transporter i de kategorier som främst bedöms innebära risker för planområdet, se Tabell 8.

Tabell 8 Farligt gods på järnvägen år 2030 som medför betydande risker för området.

Klass och ämnesgrupp	Antal transporter
1.1 Massexplosiva ämnen	1
2.1 Brandfarliga gaser	500
2.3 Giftiga gaser	480
3. Mycket brandfarliga vätskor	970
5.1 Oxiderande ämnen med explosionsrisk	560

Sannolikheten för olyckor på järnvägen förbi planområdet kan beräknas med den av Trafikverket angivna metoden (Banverket 2001). Beräkningarna visas i *figur 4 i bilaga 2*. Sannolikheten för en olycka har beräknats till $3,6 \times 10^{-8}$ per vagnkilometer och år.

Järnvägen går i tunnel längs stor del av sträckan längs planområdets norra del och olyckor i tunneln bedöms inte påverka planområdet i större utsträckning. På en sträcka av 200 meter går järnvägen öppet längs området.

4 Riskbedömning i den fysiska planeringen

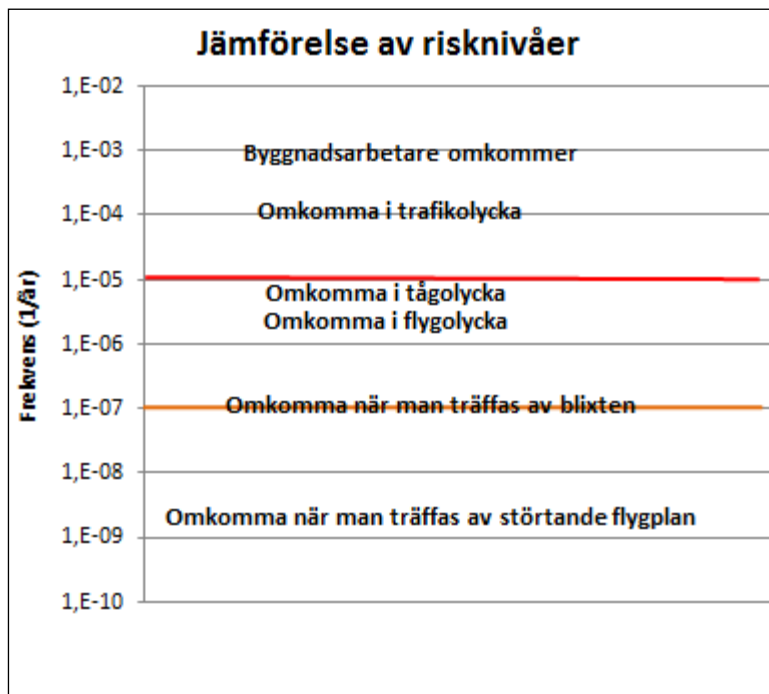
4.1 Vad är risker

Risker beror på att händelser som har oönskade konsekvenser kan inträffa. Viktiga frågor är: "Hur ofta kan dessa händelser inträffa?" och "Vad är följderna om den händelsen inträffar?". Oftast beskrivs sannolikheten för en händelse och dess konsekvenser. Risk definieras därför oftast som sannolikheten för oönskade händelser multiplicerat med konsekvenserna av dessa händelser.

Sannolikheten brukar uttryckas som antalet gånger en händelse förväntas inträffa under ett år. Detta kan bli ett väldigt litet tal för händelser som inte förväntas inträffa så ofta. En sannolikhet på 0,001 per år innebär att olyckan förväntas ske en gång per 1000 år. Sannolikheten för olyckor med farligt gods är oftast mycket lägre, exempelvis 0,000 001 per år eller en gång per 1 000 000 år (matematiskt kan detta uttryckas som 1×10^{-6} per år).

En olyckshändelse kan få många olika konsekvenser: materiella skador, miljöskador, skadade personer och omkomna personer. Det är svårt att beräkna skador på miljön, byggnader och personer då det även måste bedömas hur svår skadan är. Det är enklare (rent utredningsmässigt) att räkna på antalet personer som förväntas omkomma. Därför uttrycks konsekvensen av en olyckshändelse med farligt gods oftast som antalet omkomna. En bakomliggande tanke är att antalet skadade och övriga skador är proportionerligt till antalet omkomna. Även när kriterierna bestäms för risknivåer vid transport av farligt gods används oftast antalet omkomna.

Risker finns överallt omkring oss. Några risker och deras sannolikheter anges i Figur 7.



Figur 7 Exempel på olika risknivåer som finns i samhället. $1, \text{E}-02$ betyder 1×10^{-2} eller en gång på 100 år. De röda och orangea sträckan är kriterier för bedömning av risknivåer och förklaras i avsnitt 4.3.3.

Vid riskutredning för den fysiska planeringen skiljs det på individrisk och samhällsrisk. Individrisken är risken för en person att omkomma i en olycka när han/hon befinner sig på en specifik plats i närheten av en s.k. riskkälla. Individrisken är definierad utifrån att personen befinner sig på denna plats under ett helt år. Risken uttrycks som risken att omkomma i en olycka under det året. Individrisken är ett

mått på hur farligt det är på en viss plats och tar inte hänsyn till hur många människor som kommer att befinna sig på platsen. Individrisken är ett lämpligt mått vid riskbedömning för områden där det endast kommer att vistas ett fåtal människor.

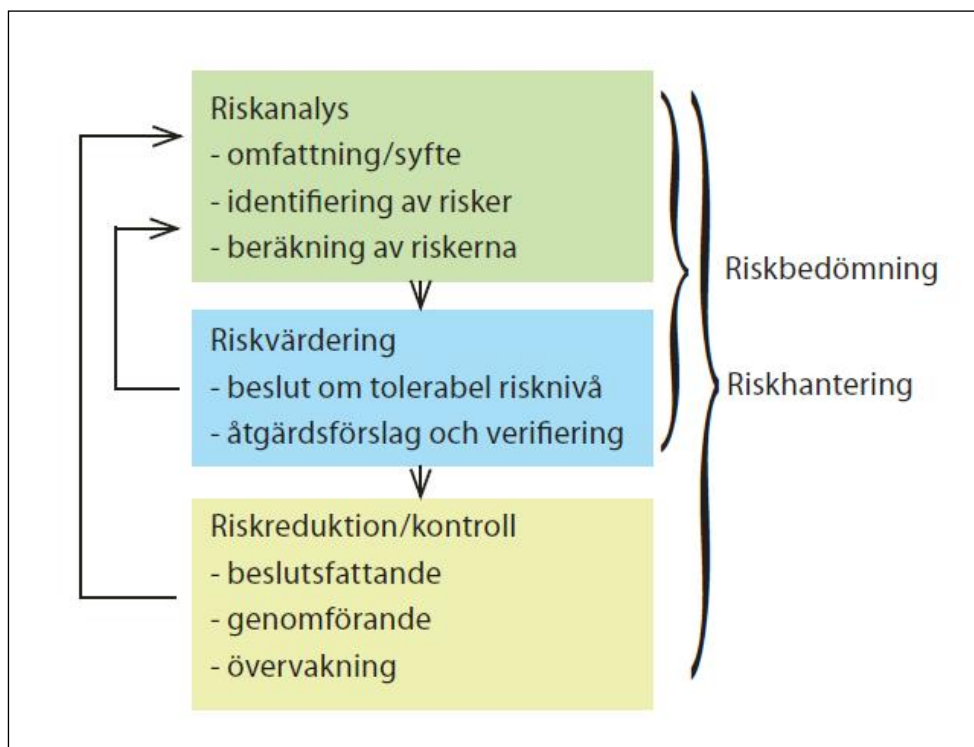
Samhällsrisken är ett mått på hur stora olyckor en riskkälla kan orsaka. Detta beror dels på riskskällans farlighet men även på hur många människor som brukar befinna sig i riskkällans omgivning. Detta mått är användbart om planeringen innebär att många människor kommer att befinna sig inom 150 m från en transportled för farligt gods. Samhällsrisk anges som sannolikheten för olyckor där minst ett visst antal personer omkommer.

Samhällsrisken återges i ett FN-diagram där F står för frekvens och N för antalet omkomna. Det som anges är med vilken frekvens (F) olyckor med ett visst antal omkomna (N) förväntas förekomma inom området. Detta ger en s.k. FN-kurva för området.

4.2 Metodik vid riskhantering i den fysiska planeringen

Krav på hantering av risker i den fysiska planeringen finns i plan- och bygglagen och miljöbalken. Hälsa och säkerhet skall beaktas så tidigt som möjligt i detaljplaneprocessen. Ofta startar detta arbete redan i programarbete för detaljplanen för att sedan bli mer detaljerat i planarbetet. Riskfrågan bör då vara så pass utredd att den kan utgöra ett beslutsunderlag för att avgöra om risken anses tolerabel eller inte. Slutsatserna från riskbedömningen bör föras in i planhandlingarna. Om riskreducerande åtgärder krävs för att nå en acceptabel risknivå ska dessa om möjligt föras in som planbestämmelser på plankartan. Åtgärder som inte omfattas av detaljplanen bör befastas på annat sätt, till exempel genom avtal.

Riskhanteringsprocessen kan delas upp i tre delar; riskanalys, riskvärdering och riskreduktion/kontroll, se Figur 8 (Lst 2006). I den första delen beräknas riskerna, i den andra delen bedöms de och åtgärder föreslås och i den tredje delen tas beslut om åtgärderna.



Figur 8 Schema över riskhanteringsprocessen (Lst 2006).

I denna rapport genomförs den första delen – risikanalys – samt ges input till den andra delen – riskvärdering – genom att riskerna jämförs med kriterier och förslag till åtgärder ges. Själva beslutet om hur riskerna skall värderas och den fortsatta hanteringen tas i kommunen med möjlighet för länsstyrelsen att överpröva beslutet.

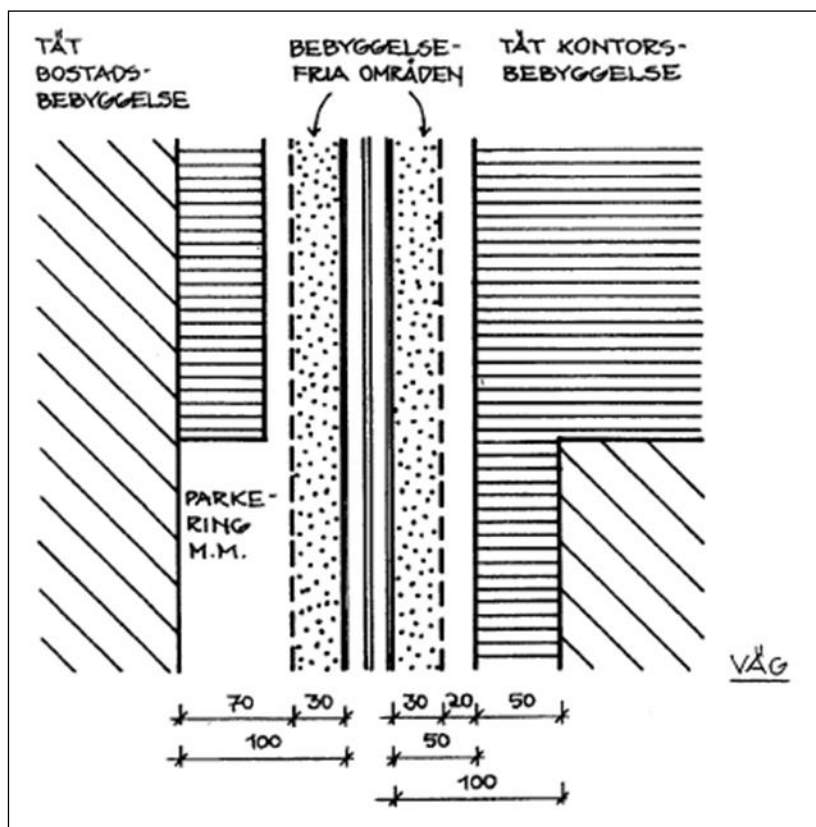
Förslag till riskreducerande åtgärder ges redan vid risknivåerna inom ALARP-området. Kravet på verifiering av dessa åtgärder aktualiseras normalt inte om inte risknivåerna överskrider gränsen för det tolerabla.

4.3 Bedömningsgrunder för risker vid transport av farligt gods

4.3.1 Göteborg Stad

Göteborgs Stad har antagit kriterier för markanvändningen i närheten av transportleder för farligt gods i "Översiktsplanen för Göteborg fördjupad för sektorn Transporter av farligt gods" (härefter kallat FÖP) som antogs av kommunfullmäktige 1999 (Göteborgs stad 1999). Dessa kriterier används ofta även i kommunerna runt Göteborg.

I översiktsplanen anges hur markanvändningen i närheten av en väg med transporter av farligt gods skall utformas, se Figur 9.



Figur 9 Markanvändning längs väg där farligt gods transporteras.

Enligt riktlinjerna bör det vara bebyggelsefritt upp till 30 meter från vägen. Närmare än 30 meter från vägen bör få människor normalt vistas och marken skall vara utformat för att förhindra att bensen eller liknande sprider sig ut från en eventuell olycksplats. I vissa fall kan det uppstå önskemål att uppföra ny bebyggelse inom det bebyggelsefria området. För att detta kan genomföras krävs en särskild riskanalys som visar vad som krävs för att uppnå en säkerhetsmässigt tillfredställande lösning.

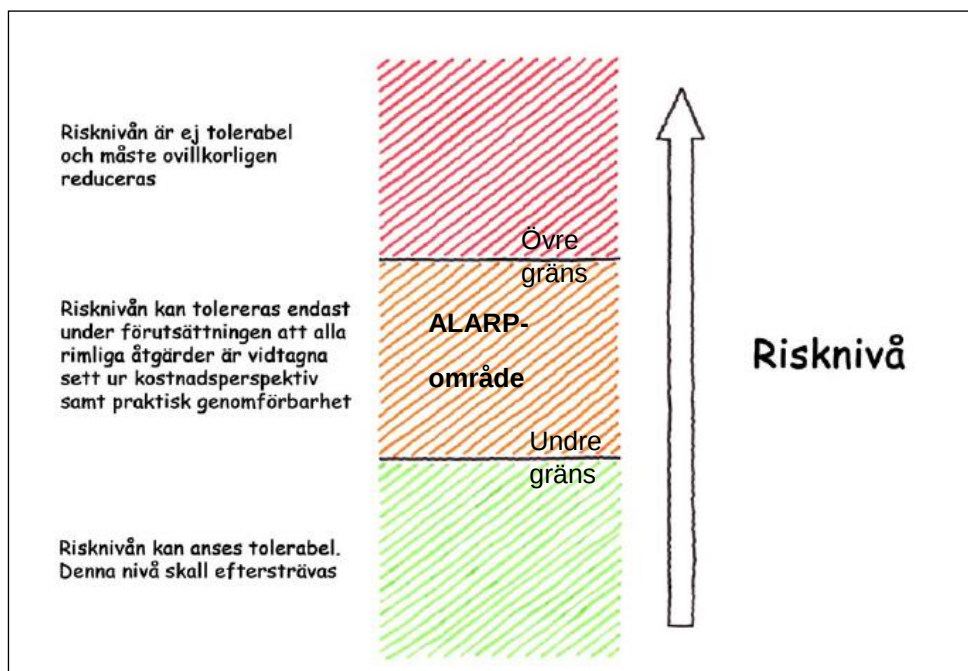
4.3.2 Länsstyrelsen

Länsstyrelsen i Västra Götaland har antagit en riskpolicy (Lst 2006) där det framgår att kravet är att åtminstone tolerabla risknivåer skall uppnås vid fysisk planering i närhet av transportleder för farligt gods. Länsstyrelsen har inte uttalat om vilka nivåer som gäller för att riskerna skall betraktas som tolerabla men anger att värderingskriterier skall motiveras. I *avsnitt 4.3.3.* behandlas kriterier för individ- och samhällsrisk och i detta avsnitt motiveras även vilka kriterier för samhällsrisk som används för projektet.

4.3.3 Kvantitativa riskkriterier

4.3.3.1 Individerisk

I många fall, främst när det inte finns särskilda kommunala krav, tas kriterier för vad som kan bedömas vara en acceptabel risknivå från rapporten "Värdering av risk" som tagits fram på uppdrag av dåvarande Räddningsverket (Räddningsverket ingår numera i Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB) (SRV 1997). I rapporten används en övre och en undre gräns, se Figur 10. Om den övre gränsen överskrids bedöms att risknivån är så hög att den inte kan tolereras.



Figur 10 Risknivåer och gränserna mellan dem (Rtj Storgöteborg 2004).

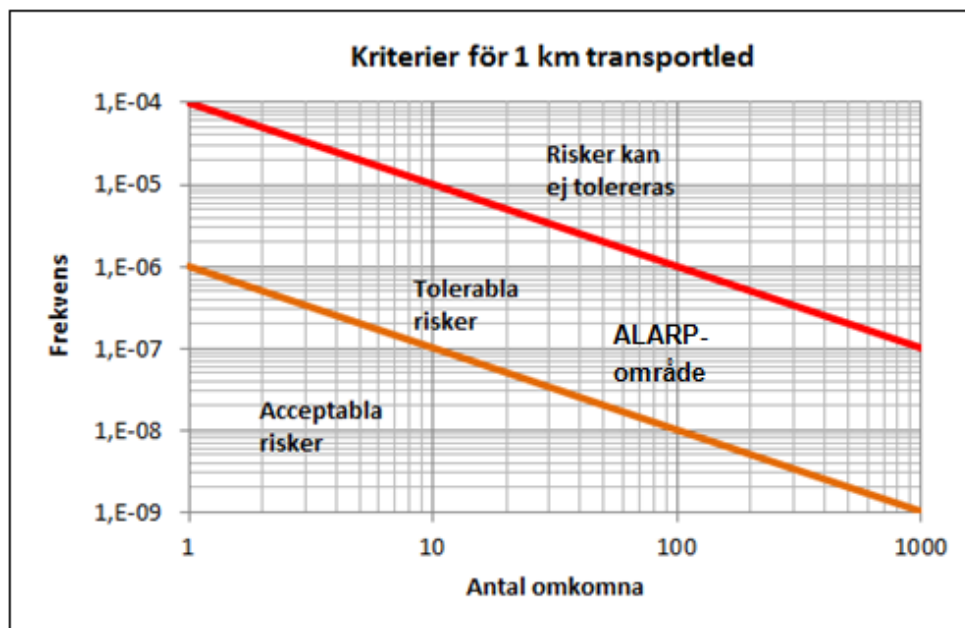
För individrisken ligger den övre gränsen på 1×10^{-5} per år (en gång på 100 000 år) och den undre på 1×10^{-7} per år (en gång på 10 000 000 år). Den undre gränsen ligger under risken att omkomma till följd av naturolyckor, vilket innebär att en sådan risknivå inte ger en signifikant påverkan på individens totala risknivå. Om risknivå ligger under denna gräns så anses den vara acceptabel och inga ytterligare åtgärder krävs.

Den övre gränsen motsvarar högst en tiondel av den totala dödsfallsrisken för olika grupper i samhället. Om risknivå ligger över denna gräns så skall åtgärder vidtas och effekten av dessa åtgärder skall verifieras (Lst 2006).

Om risknivå ligger mellan den undre och den övre gränsen, det s.k. ALARP-området, så skall alla rimliga åtgärder vidtas för att minska risknivå. Efter detta betraktas risknivå som tolerabel. Beräkningar av effekten av risknivåer krävs normalt inte.

4.3.3.2 Samhällsrisk

Kvantitativa kriterier för samhällsrisk finns i rapporten "Värdering av risk" som tagits fram av Det Norska Veritas på uppdrag av dåvarande Räddningsverket (SRV 1997). Kriterierna i "Värdering av risk" visas i Figur 11. I fortsättningen betecknas dessa kriterier med DNV.



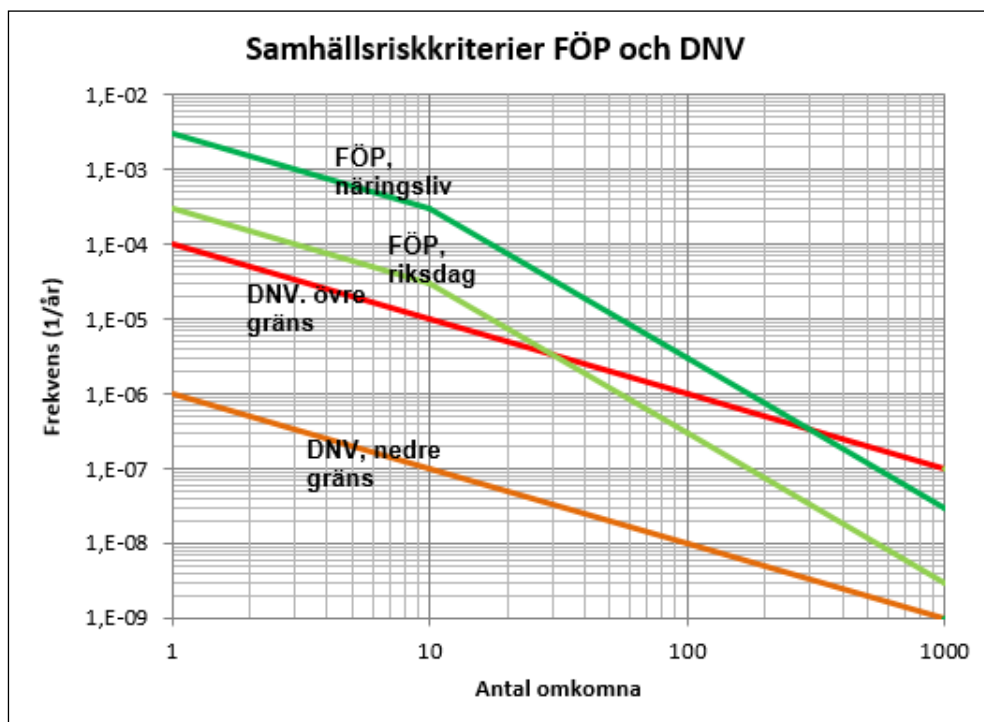
Figur 11 Riskkriterier för 1 km transportled för farligt gods med dubbelsidig bebyggelse (SRV 1997).

Kriterier i Figur 11 innebär till exempel att en olycka med högst en omkommen accepteras högst en gång på 1 000 000 år (orangea linjen). Olyckor med en omkommen kan inte tolereras oftare än en gång per 10 000 år (röda linjen). Olyckor med 10 omkomna kan accepteras om de är så sällsynta som en gång på 10 000 000 år. Om dessa olyckor förekommer oftare än en gång på 100 000 år så kan detta inte tolereras.

När risknivån ligger i det acceptabla området så krävs inga ytterligare åtgärder. Ligger risknivån i området med tolerabla risker (ALARP-område) så skall rimliga skyddsåtgärder vidtas.

Även i FÖP:en diskuteras kriterier för samhällsrisk. Dessa baseras på riksdagens mål för minskning av antalet årliga dödsoffer i vägtrafiken fram till år 2000. Riskerna under denna nivå bedöms vara acceptabla. Näringslivet har under arbetet med FÖP:en uttryckt att nivån för acceptabla risker borde ligga något högre.

FÖP:ens kriterierna utgår från samhällsrisknivåer för ett typområde på båda sidor om en sträcka av 2 km längs transportleden för farligt gods, se Figur 12, de gröna linjerna. Det finns kriterier för såväl bostäder som verksamheter, här redovisas endast kriterierna för verksamheter.



Figur 12 Kriterier för risker längs transportleder för farligt gods. FÖP betecknar Göteborg Stads kriterier i FÖP:en, DNV anger de för Räddningsverket framtagna kriterier.

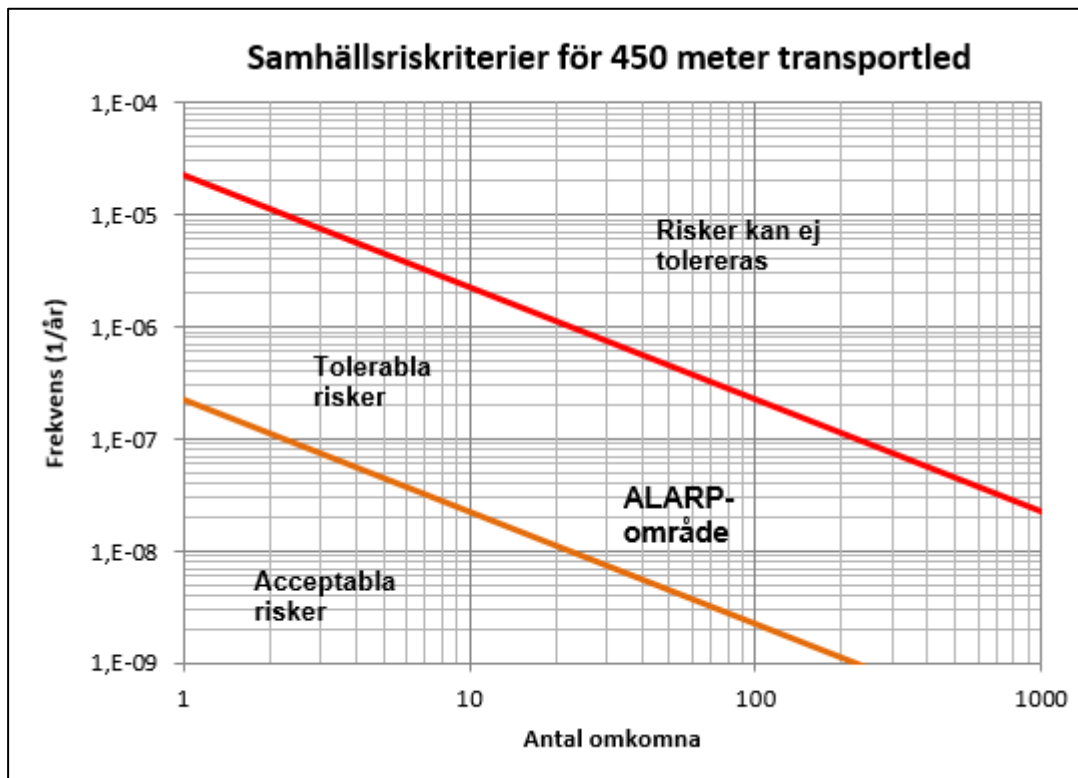
Göteborgs kriterier är satt på annorlunda sätt än DNV:s. Det anges endast ett kriterium för acceptabla risker (även om det finns olika synpunkter var gränsen för detta går). Detta skiljer de från DNV:s kriterier som skiljer på: acceptabla, tolerabla och ej tolerabla risknivåer, se även Figur 11.

Det framgår inte heller tydligt av FÖP:en vad som skall göras om risknivåerna överskrids. Det som anges är att det vid avvikelser från den föreslagna fysiska ramen, se Figur 9, skall göras en riskanalys som visar på hur riskfrågorna kan lösas på ett tillfredställande sätt men detta förtydligas inte ytterligare.

Nivåerna i kriterierna är satta på olika sätt. Göteborgs kriterier accepterar högre olycksfrekvens för olyckor med 1-10 omkomna men är strängare när det kommer till större och mer osannolika olyckor. Detta görs genom att Göteborgskriterierna lutar brantare neråt för olyckor med över 10 omkomna.

Eftersom Göteborgs stad numera använder nationella kriterier för att bedöma risknivåerna så redovisas endast nationella kriterier i riskberäkningarna i denna rapport.

Kriterierna ovan gäller för område längs 1 respektive 2 km transportled. Kriterier för planområdet beräknas utifrån transportledens längd längs området vilket är 450 meter, se Figur 13.



Figur 13 Riskkriterier för 450 meter transportled med enkelsidig bebyggelse.

5 Resultat av riskberäkningarna

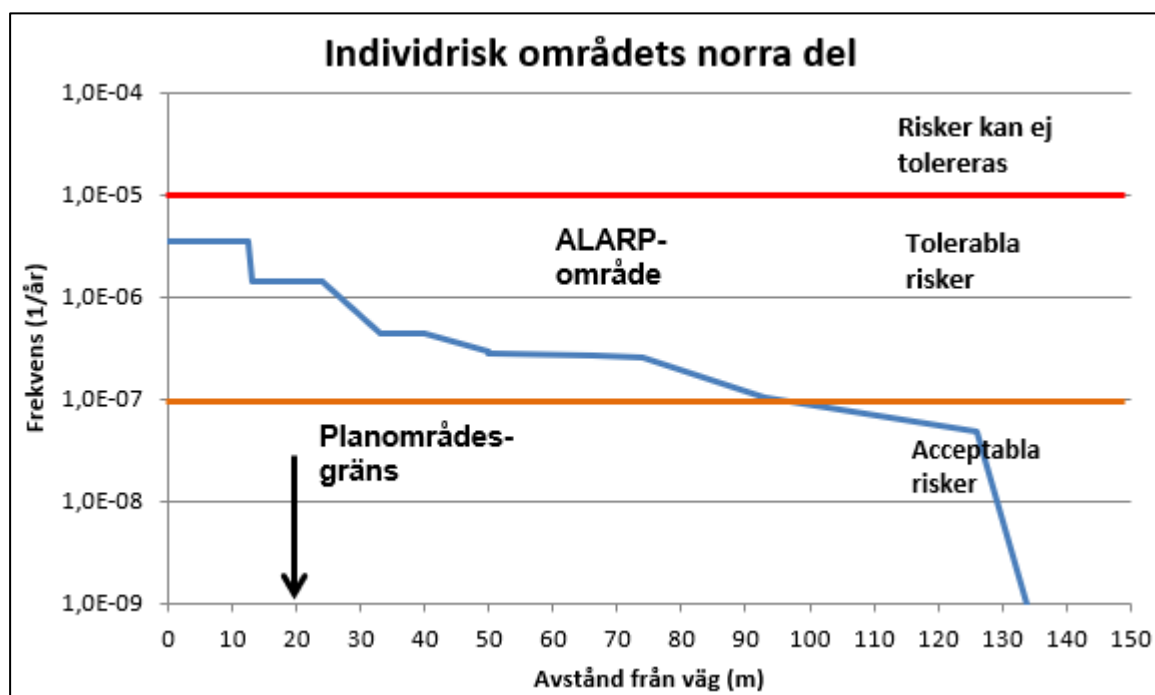
I detta kapitel redovisas beräkningsresultaten för individrisk och samhällsrisk. De ingångsvärden för beräkningarna som är specifika för planområdet har redovisats i *kapitel 3*. Ingångsvärden för sannolikheter och konsekvenser för de möjliga händelseförlopp när en olycka väl inträffat samt beräkningsmetoderna redovisas i *bilaga 1 och 2*.

5.1 Individrisk

Eftersom Västkustbanan/Kust till kustbanan endast ger riskpåverkan på södra delen av området delas beräkningarna av individrisken upp på norra och södra delen. I norra delen beräknas individrisken med bidrag endast från E6/rv 40 och i södra delen individrisken för E6/rv 40 och Västkustbanan/Kust till kustbanan.

5.1.1 Norra delen av planområdet

I norra delen av planområdet påverkas endast risknivåerna av transporter av farligt gods på E6/rv40. I Figur 14 presenteras individrisken för planområdets norra del.



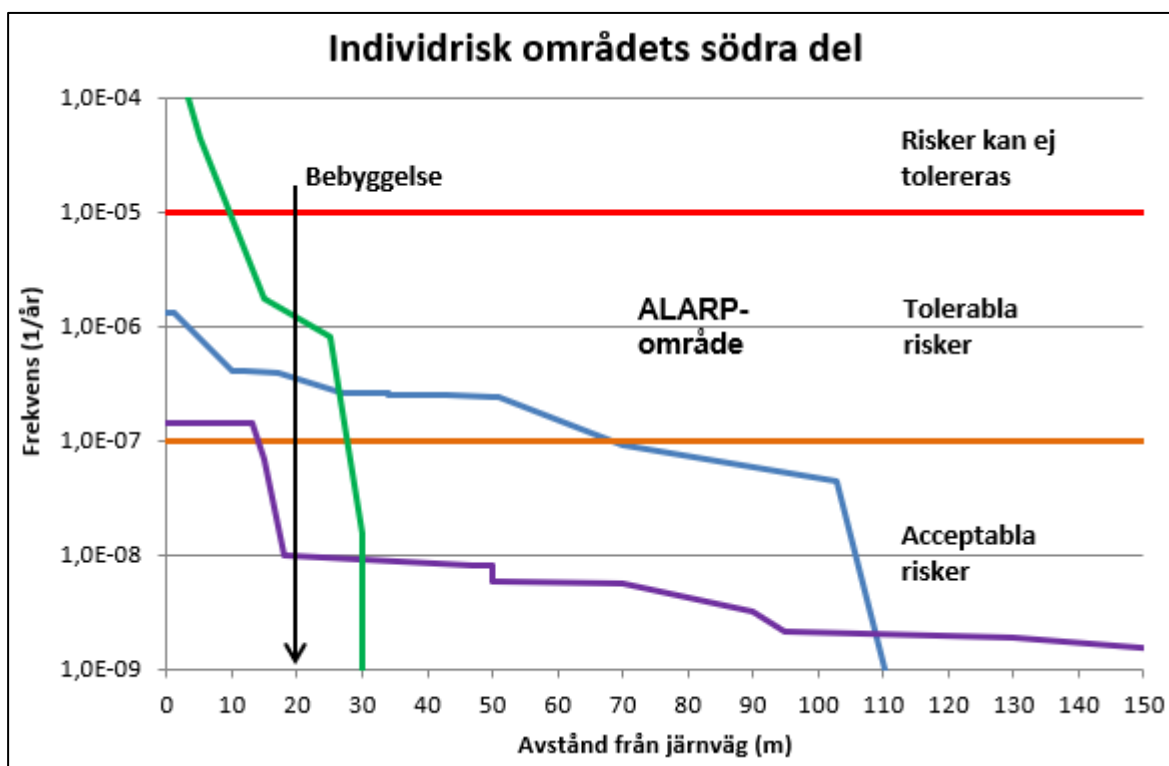
Figur 14 Individrisken i planområdets norra del där endast risknivåerna beror på transporter av farligt gods på E6/rv40.

I planområdets norra del överskrids nivån för acceptabla individrisker inom cirka 90 meter från E6/rv40.

5.1.2 Södra delen av planområdet

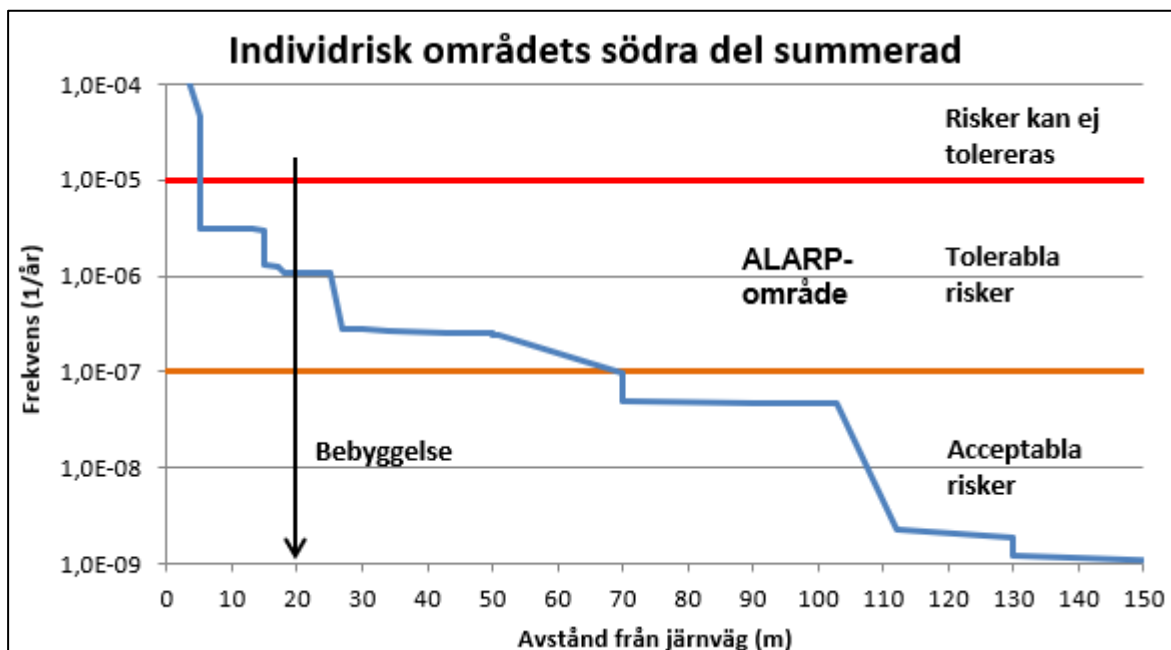
I södra delen av planområdet påverkas risknivåerna av både transporter av farligt gods på väg och järnväg men även av urspårningsrisker på järnvägen. I Figur 15 redovisas den beräknade individrisken från E6/rv40 och järnvägen för detaljplaneområdets södra del. Urspårning av tåg antas kunna få konsekvenser på upp till 30 m från spårmittpunkt (Banverket 2001). Bebyggelse planeras på ett kortaste avstånd på cirka 20 m från spårmittpunkt vilket innebär att det finns risk för att urspårande tåg påverkar bebyggelsen. Som jämförelse har kriterierna för risknivåer från transport av farligt gods angetts, några formulerade riskkriterier med avseende på urspårning finns ej. I figur 19 visas individrisknivåerna från transporter av farligt gods på väg och järnväg tillsammans med individrisken från urspårning av tåg.

I Figur 15 visas individrisken från transporter av farligt gods på väg med den blåa kurvan, från transporter av farligt gods på järnväg med den lila kurvan och urspårningsrisk med den gröna kurvan. Alla avstånd i figuren räknas från närmaste räls på Väst kustbanan/Kust till kustbanan.



Figur 15 Individrisken längs i planområdets södra del.

I Figur 16 visas den sammanräknade nivån för individrisken.



Figur 16 Den sammanräknade individrisken för urspårning samt transporter av farligt gods på väg och järnväg. Avståndet i figuren är avstånd mellan närmaste bebyggelse och järnväg.

I planområdets södra del överskrider nivån för acceptabla individrisker inom cirka 70 meter från järnvägen.

5.2 Samhällsrisk

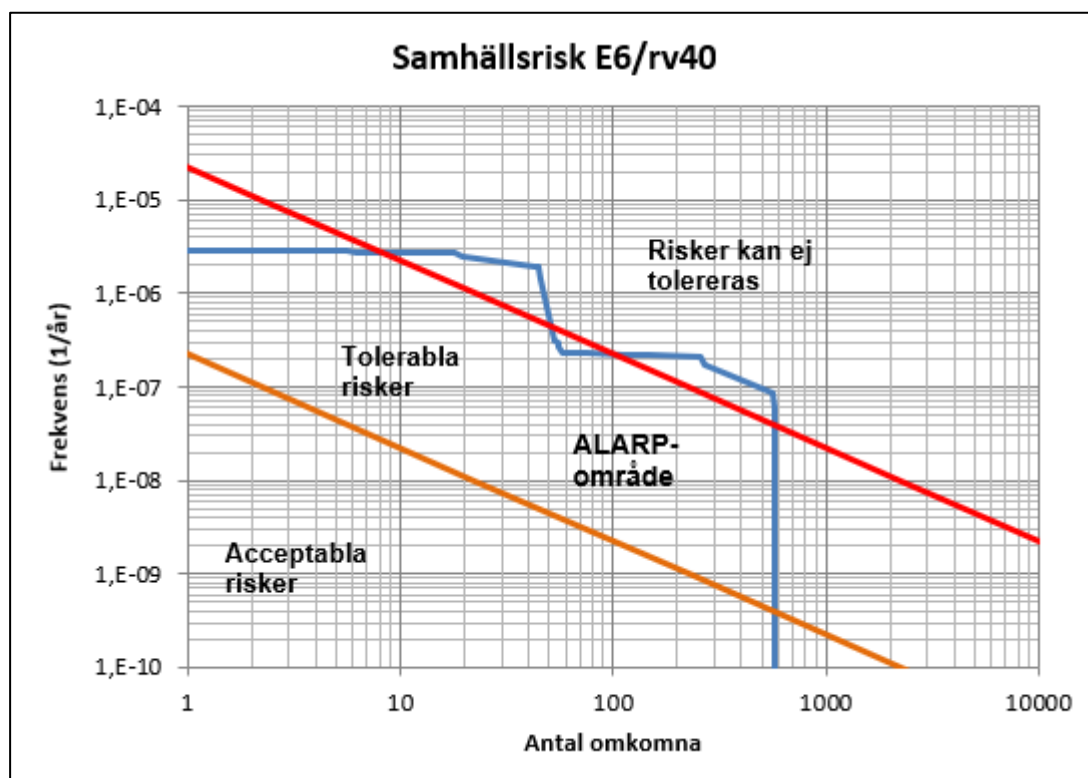
Samhällsrisken beräknas separat i fyra delar, se även Figur 17:

- Hela planområdets risknivåer på grund av transporter av farligt gods på E6/rv40, svartstreckat område.
- Risknivåer för planområdets södra del på grund av transporter på Västkustbanan/Kust till kustbanan blåstreckat område.
- Risknivåer för eventuell ny berg- och dalbana, rödstreckat område.
- Risknivåer på grund av urspårning blåstreckat område.

Dessa separata delar räknas sedan samman för att få en sammanvägd riskbild över hela området. Berg- och dalbanan tas dock inte med i den sammanvägda riskbilden då speciell hänsyn behöver tas gällande skyddsåtgärder för denna.



Riskenivåerna för planområdet till följd av transporter av farligt gods på E6/rv40 har beräknats och presenteras i Figur 18. I beräkningen ingår inte berg- och dalbanan som beräknas separat.

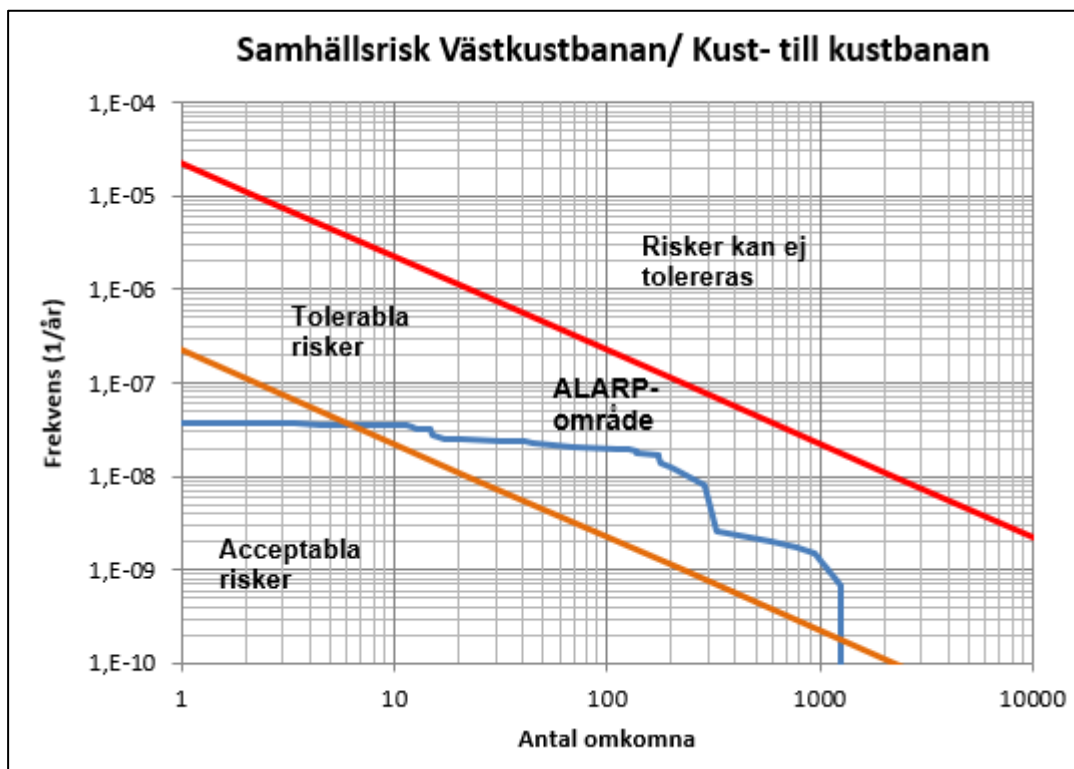


Figur 18 Samhällsrisk för planområdet till följd av transporter av farligt gods på E6/rv40.

Riskenivåerna för samhällsrisk för planområdet på grund av transporter av farligt gods på E6/rv 40 ligger inom det område där risker ej kan tolereras och skyddsåtgärder skall ovillkorligen genomföras och dess skyddseffekt verifieras.

5.2.2 Västkustbanan/Kust till kustbanan

Riskenivåerna för planområdet till följd av transporter av farligt gods på Västkustbanan/Kust till kustbanan har beräknats och presenteras i Figur 19.



Figur 19 Samhällsrisk för planområdet till följd av transporter av farligt gods på Västkustbanan/Kust till kustbanan.

I Figur 19 används kriterier för hela längden på planområdet för att visa risknivåerna i relation till hela planområdet. I beräkningen tas parkeringshuset, Volvoprojektet, hotellet och centrumverksamheten med.

Beräkningen för samhällsrisk visar på att risknivåerna till följd av transporter av farligt gods på Västkustbanan/Kust till kustbanan ligger inom ALARP-området där rimliga och tekniskt genomförbara åtgärder ska genomföras. Vid jämförelse mellan Figur 18 och Figur 19 kan det observeras att risknivåerna för Västkustbanan/Kust till kustbanan ligger mer än en faktor 10 under risknivåerna till följd av transporter av farligt gods på E6/rv40. Risknivåerna för transporter av farligt gods på E6/rv40 är därmed dimensionerande.

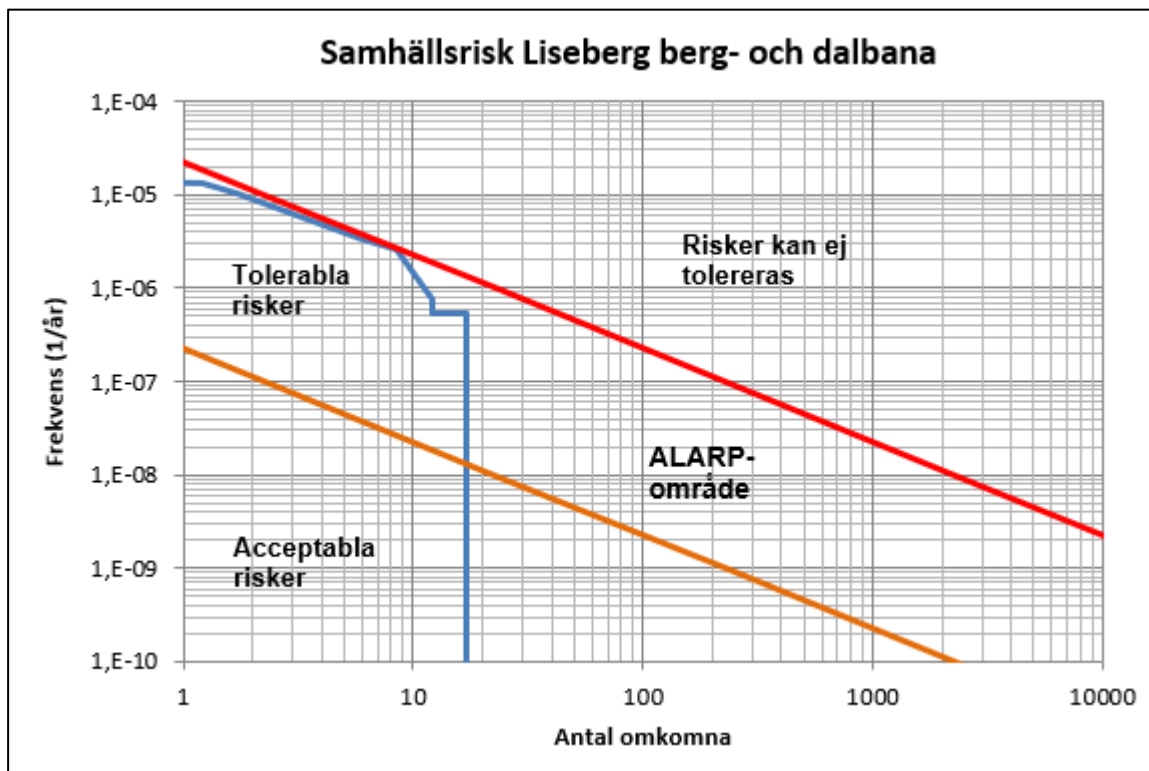
5.2.3 Berg- och dalbanan

Ett antal antaganden görs dels efter platsspecifika förhållanden och dels den speciella karaktären med en berg- och dalbana där människor hela tiden är i rörelse:

- Planerna för berg- och dalbanan är att placera den ovanpå en byggnad med 3 våningsplan. Därför bedöms scenarion molnbrand inte bli aktuellt i beräkningen för samhällsrisk för berg- och dalbanan utan huvudsakligen påverka de nedersta våningsplanen.
- I normala fall görs antaganden i beräkningar att människor befinner sig statistiskt på samma plats under olyckan och när väl olyckan inträffat på egen hand kan ta sig bort från olycksplatsen. Eftersom personer som är på plats i en åkattraktion hela tiden är i rörelse och inte på egen hand kan ta sig ur attraktionen så antas scenarion sprängämnen, Jet, Gasexplosion, BLEVE, Pölbrand och explosion med oxiderande ämnen klass 5 vid eventuell olycka drabba hela berg- och dalbanan.
- En pölbrand med brandfarlig vätska kommer få mindre effekt i och med att berg- och dalbanan ligger ovanpå en byggnad. Sannolikheten för att omkomma vid en stor pölbrand minskas därför med 50 % och en liten pölbrand minskas med 90 % på grund av att byggnaden delvis

fungerar som en barriär så att vätskorna inte rinna hela vägen mot berg- och dalbanan och även att berg- och dalbanan ligger på minst 10 meter över markytan.

Utifrån ovanstående antaganden har en samhällsriskberäkning tagits fram, se Figur 20.



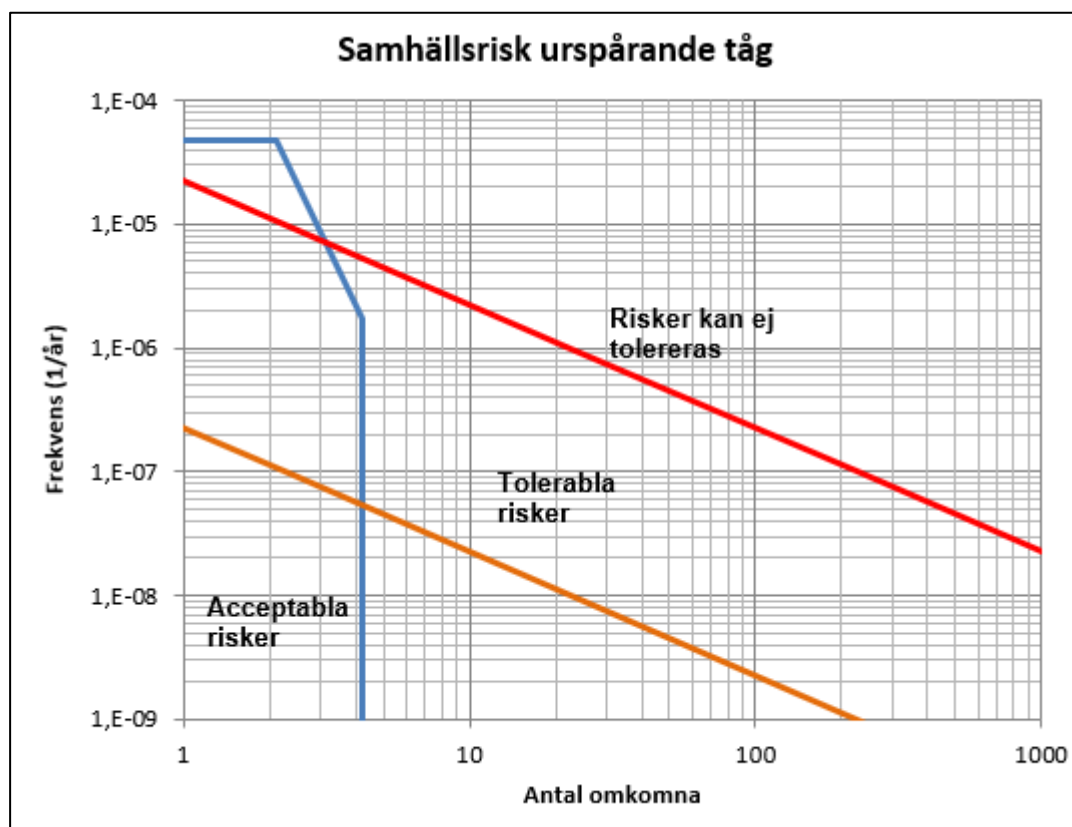
Figur 20 Samhällsrisken för ett fall där alla personer ute i åkattraktionen (2 tåg) omkommer.

Kriterier som används i redovisningen är de som gäller för 450 meter transportled. Ovan beräkning är en konservativ bedömning beroende på de stora osäkerheter som finns avseende hur berg- och dalbanan reagerar vid olycksförlopp som innefattar olika typer av bränder och explosioner.

Riskenivån ligger strax under kriteriet där risker ej kan tolereras. Detta betyder att skyddsåtgärder som är tekniskt rimliga och ekonomiskt genomförbara ska vidtas för att skydda berg- och dalbanan. Möjliga skyddsåtgärder diskuteras i avsnitt 7.2.

5.2.4 Urspråningsrisk

Enligt tidigare framtagna riskutredning för etapp 1 av detaljplanen så beräknades samhällsrisken för parkeringshuset och Volvoprojektet enligt Figur 21. Risknivåerna antas även vara applicerbara på södra delen av denna detaljplan.

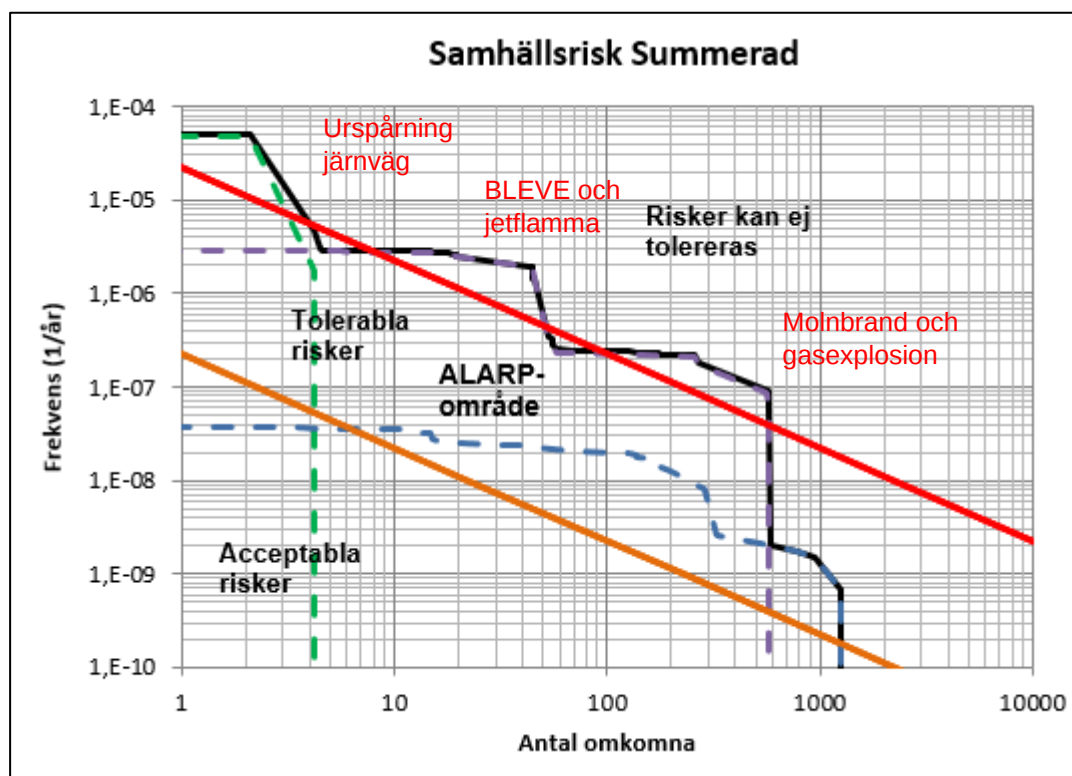


Figur 21 Risknivåer vid urspårning av tåg enligt tidigare framtagna riskutredning för etapp 1 av denna detaljplan.

Kriterier som används i redovisningen är de som gäller för 450 meter transportled. Samhällsriskerna vid urspårning ligger inom området där risker ej kan tolereras och skyddsåtgärder för att förhindra att människor omkommer på grund av urspårning måste ovillkorligen genomföras och dess skyddseffekt måste verifieras.

5.2.5 Summering av samhällsrisk

En summerad risknivå för hela planområdet för transporter av farligt gods på järnväg och väg samt urspårningsrisk presenteras i Figur 22.



Figur 22 Summering av samhällsrisk för hela planområdet presenteras med svart linje. Grönstreckad linje representerar urspårningsrisk, lilastreckad linje representerar risker från väg och blåstreckad linje representerar risker från järnväg.

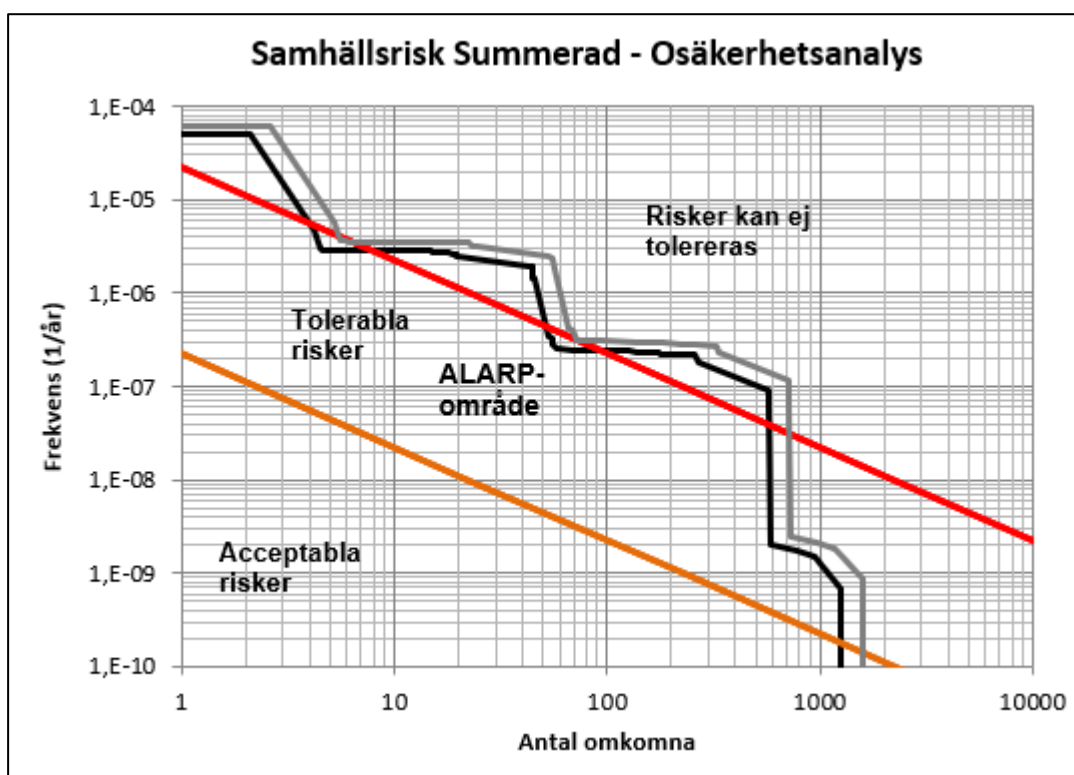
Den summerade samhällsrisk överskrider kriteriet för tolerabla risker och till betydande del i området där risker ej kan tolereras. De scenarier som bidrar mest till överskridandet är urspårningsrisk, olika typer av explosioner (BLEVE och gasexplosion) samt brandscenarier kopplade till brandfarliga gaser (gasmolnsbrand och jetflamma). Skyddsåtgärder för att minska konsekvenserna för dessa olyckor skall därför genomföras.

6 Osäkerhetsanalys

Osäkerhet avseende framtida risknivåer beror generellt på att antalet personer som uppehåller sig inom ett område och antal transporter av farligt gods kan bli högre än vad som antagits.

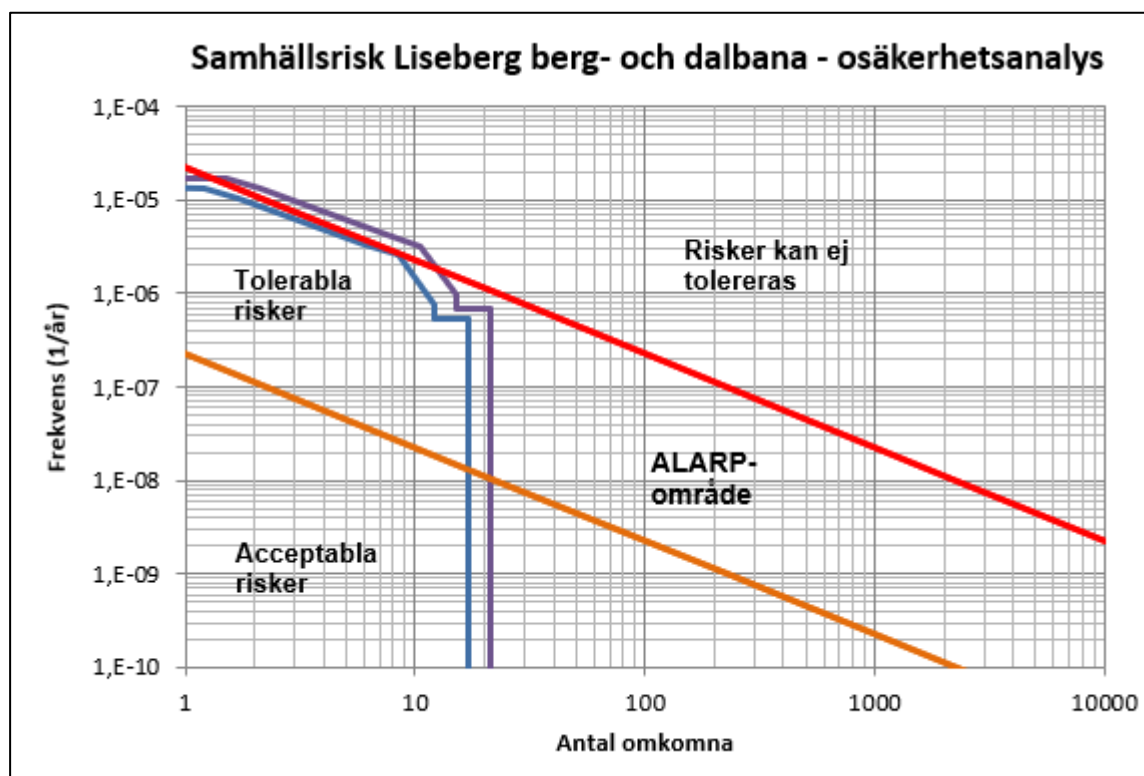
I osäkerhetsanalysen analyseras vad som händer om andelen transporter av farligt gods skulle öka med 25 %. I analysen tas dessutom höjd för att antalet personer inom området kan komma att vara högre än vad som framräknats. En ökning av totala antalet personer med 25 % har antagits.

Osäkerhetsanalysen genomförs på den summerade risknivån för planområdet och resultaten av osäkerhetsanalysen visas i Figur 23.



Figur 23 Resultaten av osäkerhetsanalysen visas med grå kurva. Svart kurva visar den ursprungliga beräkningen

En osäkerhetsanalys genomförs även på berg- och dalbanan enligt samma förutsättningar som ovan och resultatet presenteras i Figur 24.



Figur 24 Osäkerhetsanalys på samhällsrisk vid berg- och dalbanan. Osäkerhetsanalysen redovisas med lila linje och ursprunglig beräkning visas med blå linje.

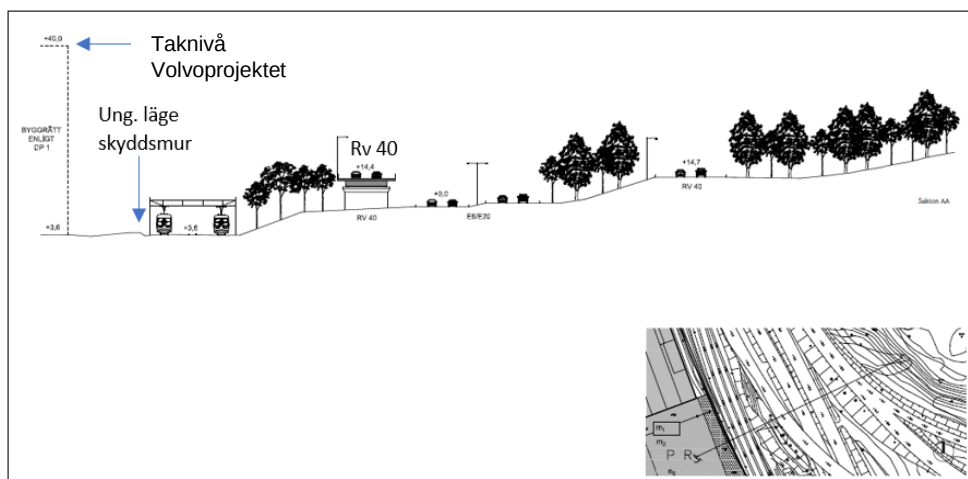
Osäkerhetsanalysen visar att en ökning på 25 % av antal personer i berg- och dalbanan och antal transporter med farligt gods leder till att risknivån för tolerabla risker överskrider och risknivåerna hamnar i det område där risker ej kan tolereras. Därför bör extra hänsyn till skyddsåtgärder genomföras för att skydda människor som befinner sig i berg- och dalbanan.

7 Diskussion och slutsatser

7.1 Planområdet förutom berg- och dalbanan

7.1.1 Skyddsåtgärd urspårning och farliga vätskor på järnvägen

Riskerna kopplade till urspårning berör den delen av P-huset som befinner sig inom 30 m från spåret. En skyddsmur mot järnväg uppförs mellan järnväg och P-huset. Muren ska utformas så att den hindrar avåkande tåg från att nå planområdet, se Figur 25. Särskilt omsorg måste användas vid utformning av start och slut av detta skydd så inte risken för skador på det avåkande tåget ökar. Skyddsmuren ska ansluta till skärningen i norr och befintlig stödmur i söder.



Figur 25 En skyddsmur planeras att anläggas längs järnvägen vid markeringen. (Wingårdhs 2019, bearbetat av Norconsult)

Skyddsmuren kommer även att fungera som skydd mot att farliga vätskor når planområdet ifall dessa släpps ut vid en olycka med farligt gods.

7.1.2 Skyddsåtgärd jetflamma

Även om riskerna från urspårning reduceras så överskrider fortfarande risknivåerna för tolerabla risker och åtgärder mot risker från transport av farligt gods, främst på E6/rv40 ska genomföras. Riskerna beror framförallt på olika scenarier med brandfarliga gaser som jetflamma och även gasbrand. Genom att utforma väggen mot vägen som en tät vägg i minst EI 30 kan dessa risker reduceras avsevärt. Dessa åtgärder är även verksamma mot samma typ risker från järnvägen.

Skyddseffekten av en fasad utformad i EI 30 beskrivs i bilaga 1 kapitel 4. Den förväntade effekten är att brandskyddet utgör ett bra skydd under mer än 15 minuter vid scenarier med bränder till följd av en olycka med brandfarliga gaser. I beräkningarna bedöms brandskyddad fasad fungera till 95 % för scenario jetflamma.

7.1.3 Skyddsåtgärd gasmolnsbrand

Scenariot gasmolnsbrand innebär att ett gasmoln kan antändas inne bland bebyggelsen vilket betyder att även fasader som inte vetter direkt mot vägen/järnvägen behöver brandklassas i EI 30 för att skydda personer inomhus. Gasmolnsbrandens effektområde är cirka 93 meter från väggkant. Brandskyddsåtgärden bedöms inte kunna fungera till fullo utan endast till 95 %.

7.1.4 Skyddsåtgärd som ökar fasadens explosionstålighet

Fasaden som vetter mot järnvägen och E6/rv40 ska utformas så att den har en ökad tålighet mot explosioner. I en tidigare utredning (Norconsult 2018) som redovisas i sin helhet i bilaga 3 har olika lastfall vid gasmolnsexplosioner tagits fram för dimensionering av en byggnadsfasad. Lastfallen beräknas med TNO Multienergimetoden (van den Berg 1985). Närmare beskrivning av koncept och beräkningsgång finns också i "Gasexplosion i det fria" (Johansson 2013) som utgivits av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap och som har samma författare som bilaga 3.

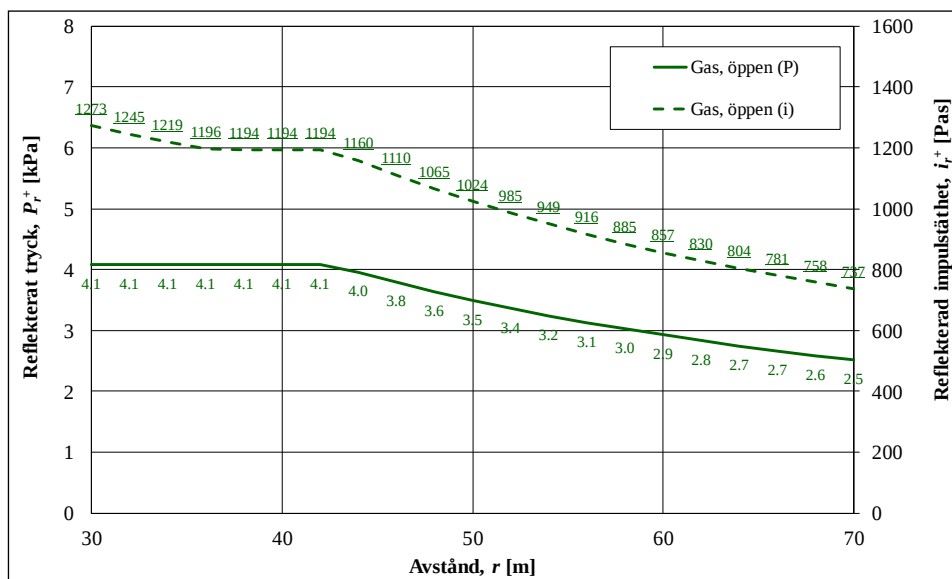
I TNO Multienergimetoden finns tre parametrar som avgör vilken last som fås vid en given gasexplosion:

- Ingående stökiometrisk blandad gasvolym (explosionskällans energiinnehåll).
- Explosionsstyrka (anges som en styrkefaktor, graderad 1-10 där ett högt värde anger en kraftig explosion – 10 motsvarar en detonation)
- Avstånd mellan explosionscentrum och studerad punkt.

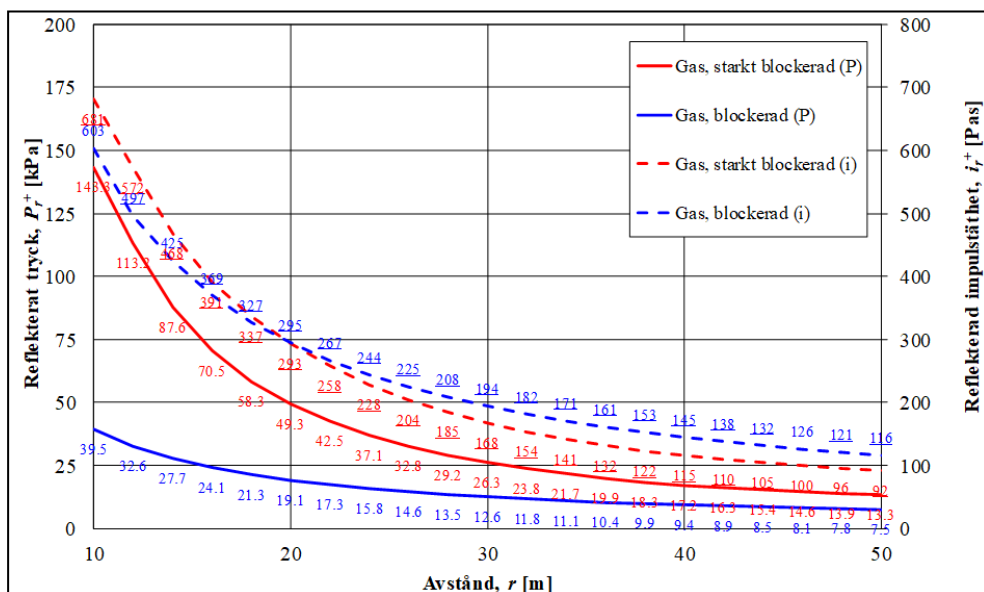
De tre identifierade lastfallen är:

- **Öppen yta ($V=4\,350\text{ m}^3$, $s=2$)**
Volymen baseras på ett område som motsvarar en cylinder med diametern 43 meter (avstånd mellan E6/rv40 och byggnadsfasad) och höjd 3 meter (uppskattad höjd på gasmoln).
Styrkefaktorn baseras på en gas som inte har hög reaktivitet samt med antagande om en omgivning utan direkta blockeringar.
- **Blockerad volym ($V=100\text{ m}^3$, $s=5$)**
Volymen baseras på ett blockerat område orsakat av ungefär 10 bilar medan styrkefaktorn baseras på en blockerad volym (gas samlas under bilar).
- **Starkt blockerad volym ($V=50\text{ m}^3$, $s=7$)**
Volymen baseras på ett starkt blockerat område orsakat av ungefär 5 bilar medan styrkefaktorn baseras på en starkt blockerad volym (gas samlas under bilar under särskilt ogynnsamma förhållanden).

Byggnaden ska i detta fall dimensioneras för alla dessa lastfall enligt Figur 26 och Figur 27.



Figur 26 Lastvärden för explosionslast från en gasexplosion på en öppen yta (Norconsult 2018).



Figur 27 Lastvärden för explosionslast från blockerad samt starkt blockerad gasexplosion (Norconsult 2018).

Om den planerade bebyggelsen dimensioneras enligt ovan så bedöms skyddseffekten vara minst 75 % för scenarion med gasexplosioner. Beroende på hur detta skydd utformas kan skyddseffekten bli större men i beräkningarna används en 75 % skyddseffekt. Åtgärden bedöms även kunna ha en viss skyddseffekt på scenarion BLEVE, massexplosion och explosioner med organiska ämnen i klass 5.1 men hänsyn till detta tas inte i beräkningarna.

Även den planerade skyddsmuren, vars primära funktion är att hindra urspårande tåg från att nå planområdet, kommer att ha en skyddseffekt avseende explosioner på spårområdet.

7.1.5 Ventilation

Risken för att brandfarliga eller giftiga gaser som kan släppas ut vid olyckor med farligt gods når ventilationen bedöms som liten när ventilationen placeras högt och vänt bort från E6/rv40 och

järnvägen. Detta beror på att dessa gaser beter sig som tunggaser som rör sig närmast marken och att bebyggelsen är minst 3 våningar hög. En skyddseffekt på 50 % antas i beräkningarna för skyddsåtgärder.

För att även ta hänsyn till brandröksutvecklingen som kan bli följd av en trafikolycka på väg eller järnväg som inte nödvändigtvis rör transporter med farligt gods rekommenderas även att manuell avstängning av ventilationen ska vara möjligt.

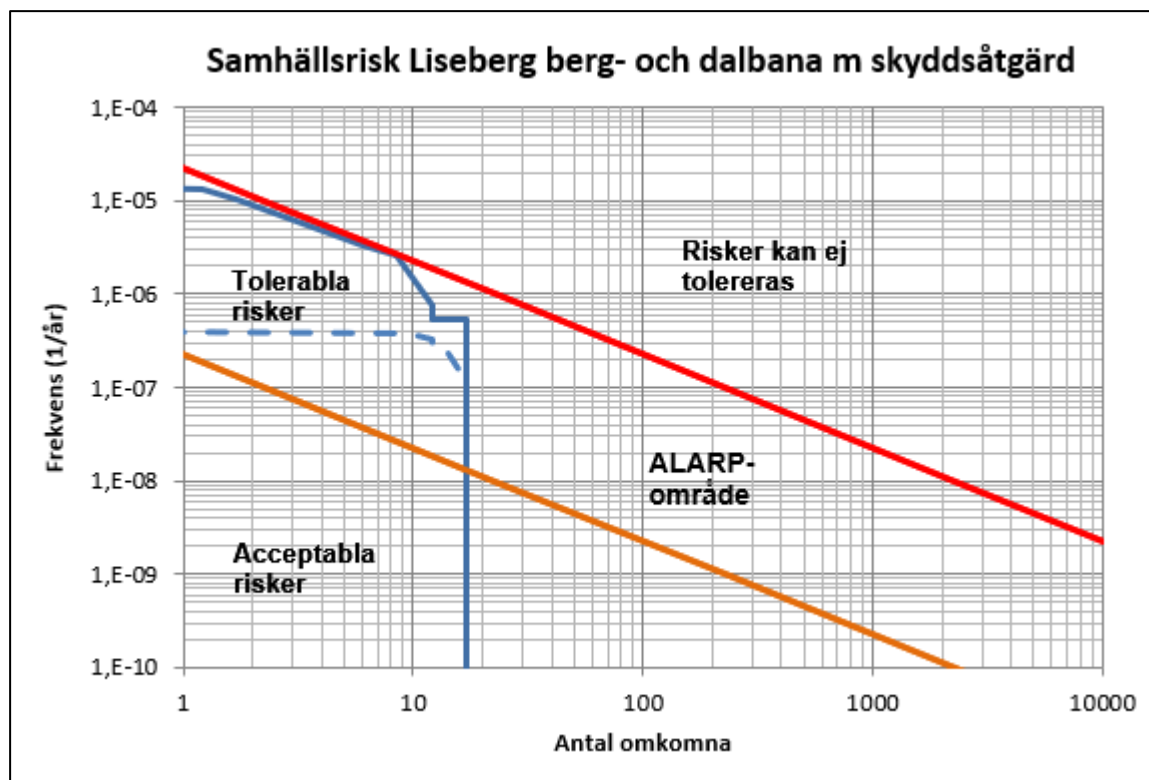
7.1.6 Skyddsåtgärder längs Europaväg 6/riksväg40

För att minska konsekvenserna av olyckor med transport av farligt gods på E6/rv40 bör tunga vägräcken eller skyddsmur enligt avsnitt 7.1 anläggas längs berörda vägsträckor. Tung vägräcken bedöms reducera risken för skador på transportfordonen så att risken för utsläpp av farliga ämnen vid en olycka halveras (VTI 2002, Vägverket 2008).

7.2 Berg- och dalbanan

Riskenivåerna för berg- och dalbanan ligger väldigt nära ett överskridande av riskenivån för tolerabla risker. En möjlig åtgärd för att sänka riskenivån är att anlägga en skyddsmur längs vägen som är utformad så att risken för skada på transportfordon för farligt gods minskas. En skyddsmur längs vägen bedöms även förhindra att brandfarliga vätskor rinner ner mot planområdet. Om en skyddsmur utformas så att de kan fånga upp fordon likt ett tungt vägräcke så bedöms olycksrisken kunna minskas med hälften (VTI 2002 Vägverket 2008).

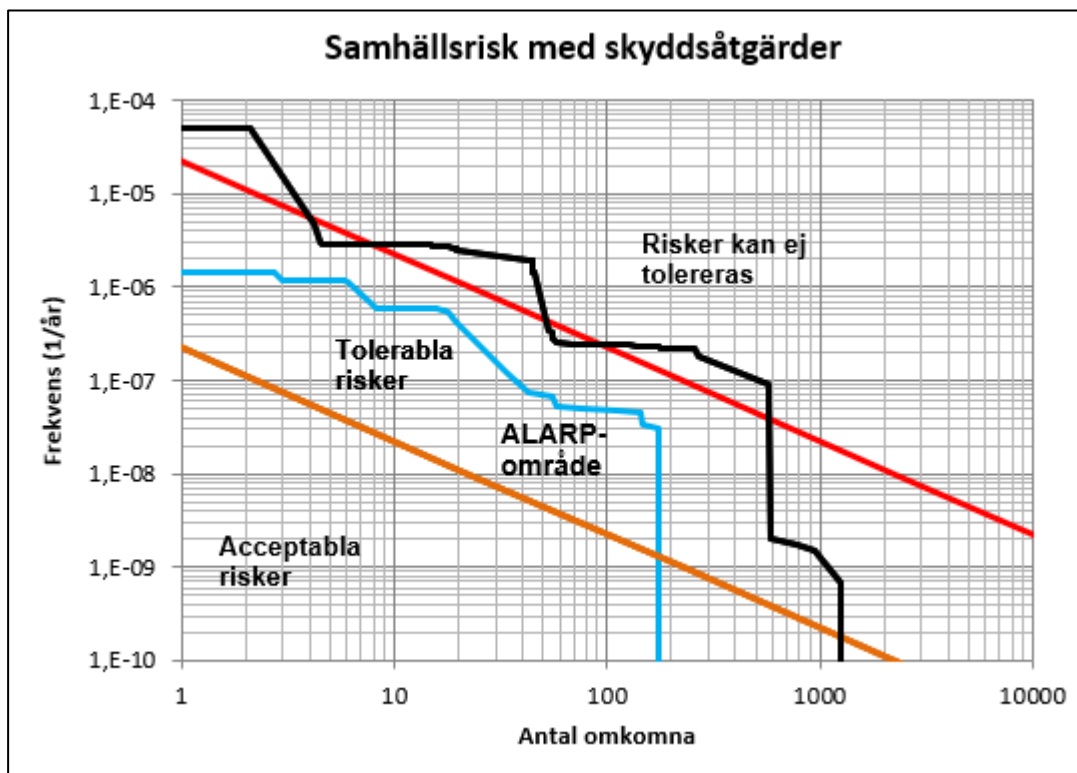
En beräkning för effekten av denna åtgärd presenteras i Figur 28.



Figur 28 Risknivån för berg- och dalbanan med skyddsåtgärd skyddsmur presenteras med blåstreckad linje. Ursprunglig beräkning visas med blå linje.

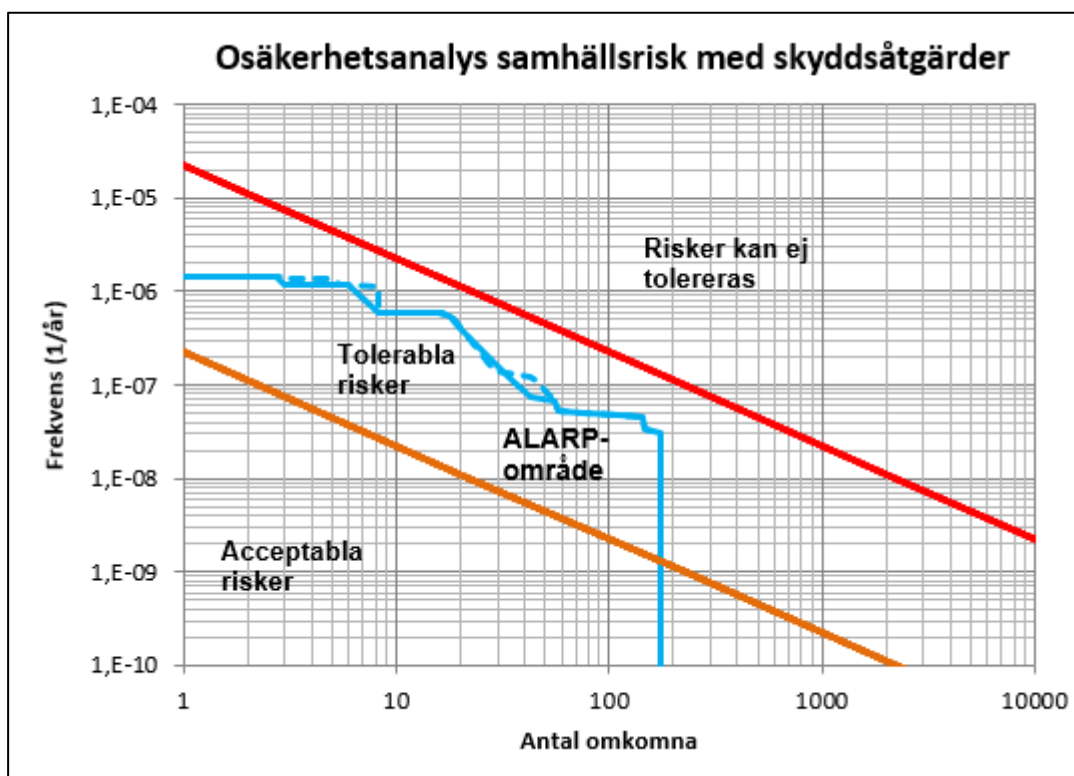
7.3 Risknivå med skyddsåtgärder

Beräkningsresultat med skyddsåtgärder för urspårning, fasad i EI 30 och ökad explosionstålighet för fasaden presenteras i Figur 29. Resultaten redovisas med blå kurva.



Figur 29 Blå kurva är sammanräknad risknivå efter skyddsåtgärder för urspårning, EI 30, explosionstålighet och tungt vägräcke. Svart är risknivån innan skyddsåtgärder, se figur 22. Risknivån ligger nu i ALARP-området med större marginal mot övre kriteriet.

För att ytterligare belysa effekten av skyddsåtgärder har en osäkerhetsanalys genomförts där det antagits att brandskyddsåtgärder är effektiva till 90% istället för 95%. Resultatet redovisas med de streckad linje i Figur 30. Effektiviteten av explosionsskyddsåtgärder hade redan antagits vara låga 75% och har därför inte ändrats.



Figur 30 Streckade linjer visar risknivå med antagandet att skyddsåtgärder för brand ger hälften så god skyddseffekt än förväntat.

Samhällsrisknivån ligger inom ALARP-området även i osäkerhetsanalysen för skyddsåtgärder.

7.4 Slutsats

Följande skyddsåtgärder skall genomföras för att tolerabla risknivåer kan anses vara uppnådda enligt de nationella kriterierna:

- En skyddsmur mot järnväg uppförs mellan järnväg bebyggelse i södra delen av planområdet. Muren ska utformas så att den hindrar avåkande tåg från att nå planområdet. Särskilt omsorg måste användas vid utformning av start och slut av detta skydd så inte risken för skador på det avåkande tåget ökar. Skyddsmuren kommer även att fungera som skydd mot att farliga vätskor når planområdet ifall dessa släpps ut vid en olycka med farligt gods.
- Fasad (inklusive fönster) på alla sidor av byggnader med ett avstånd på mindre än 80 meter (i plan och höjd) från vägkanten på E6/rv40 ska vara tät och av lägst brandklass EI 30. Fönster ska vara klassade i EI 30 och ska inte kunna öppnas utan särskilda specialverktyg.
- Fasad (inklusive fönster) på alla sidor av byggnader med ett avstånd på mindre än 100 från vägkanten på E6/rv40 ska vara tät och av lägst brandklass EI 30 upp till 4 meter från marknivå. Fönster ska vara klassade i EI 30 och ska inte kunna öppnas utan särskilda specialverktyg.
- All ventilation ska placeras högt och vänt bort från E6/rv40 och järnvägen. Ventilationen ska kunna stängas av manuellt.
- Utrymning av byggnader ska vara möjlig bort från E6/rv40 och järnvägen.
- Byggnader ska tåla gasexplosion enligt lastfallen som presenteras i avsnitt 7.2.4.
- Områden inom 90 meter från E6/rv40 som inte är i skydd av byggnader mellan vägen/järnvägen och planområdet bör inte uppmuntra till stadigvarande vistelse.

- Skyddsmur på hela E6/rv40:s sträckning förbi planområdet som minskar sannolikhet för punktering av transportbehållare vid olycka och förhindrar att farliga vätskor rinner mot planområdet. Muren ska ha som funktion att också fånga upp tunga fordon. Alternativt uppfyller tungt vägräcke i kombination med hög kantsten samma funktion.

För berg- och dalbanan kan det vara svårt att hitta lämpliga skyddsåtgärder då människor som befinner sig utomhus ofta är svårare att skydda än de som befinner sig inomhus. Då är det ofta en bra åtgärd att försöka minska sannolikheten för att olyckor inträffar (skyddsmur föreslagen i åtgärder ovan), ha ett skyddsavstånd från riskkällan och vid en olycka kunna säkra utrymning för människor. Nedanstående åtgärder bedöms relevanta för berg- och dalbanan.

- Ett skyddsavstånd mellan E6/rv40 och berg- och dalbanan på cirka 45-50 meter bör eftersträvas och leder till en betydande minskning av risknivåerna. Detta då ett antal av de kritiska olycksscenarierna ger mest påverkan inom detta avstånd.
- Flamdetektion eller annan övervakning mot E6 så att en olycka med brand upptäcks snabbt och lämpliga åtgärder för att säkra berg- och dalbanan kan vidtas.

Efter att dessa åtgärder är genomförda bedöms risksituationen för planområdet vara tolerabel enligt kriterierna i DNV:s rapport "Värdering av risk" som tagits fram på uppdrag av dåvarande Räddningsverket (numera MSB). Dessa kriterier används nationellt vid riskutredning för detaljplaner längs transportleder för farligt gods.

8 Referenser

Banverket 2001	Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Banverket Miljösektionen Rapport 2001:5; 2001-10-22
Göteborgs stad 1999	Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, antagen av Göteborgs kommunfullmäktige 1999-03-25.
Göteborgs stad 2019	Material från uppstartsmöte för utredningar inom detaljplanen, 2019-03-05.
Göteborgs stads parkering AB	E-post från Sana-Linnéa Östervall, stadsutvecklare Göteborgs Stads Parkerings AB, 2016-10-11
Inhouse Tech 2018	Möte med Nils Brazée, projektledare Volvoprojektet 2018-11-07.
Johansson 2013	Gasexplosion i det fria. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, dokument B02-121, 2013-03-11, Karlstad.
Liseberg 2019:1	Lisebergs Jubileumsprojekt, https://www.liseberg.se/om-liseberg/lisebergs-jubileumsprojekt/ , Hämtad 2019-03-26
Liseberg 2019:2	Nöjesparkens öppettider https://www.liseberg.se/oppettider/ Hämtad 2019-03-27
Liseberg 2019:3	Riskmöte med Liseberg Lars-Erik Hedin, 2018-11-14
Lst 2006	Riskhantering i detaljplanprocessen, Länsstyrelserna Skåne län, Stockholms län och Västra Götalands län, september 2006.
LTH 2008	Persontäthet vid utrymningsberäkningar – Köpcentrums persontätheter 2008.
Norconsult 2016:1	Detaljplan för Gårda 2:12 m.fl. Göteborgs stad - Riskanalys för transport av farligt gods, 2015-09-24, rev 2016-06-15.
Norconsult 2016:2	Riskanalys transport av farligt gods. Veddesta Etapp 1, Järfälla kommun. Norconsult 2016-04-12
Norconsult 2018	Stenungsund centrum, dagligvaruhandel – Riskhantering farligt gods. Bilaga PM, Last från gasexplosion. Norconsult. 2018-01-24
Rtj Storgöteborg 2004	Riktlinjer för riskbedömningar, Räddningstjänst Storgöteborg 2004.
SRV 1997	Värdering av risk; FoU rapport, Räddningsverket 1997.
Van den Berg 1985	The multi-energy method – A framework for vapour cloud explosion blast prediction. Journal of Hazardous Materials, 12 (1985), sida 1-10.
VTI 2002	Trafiksäkerhetsutvecklingen i Sverige fram till år 2001; VTI rapport 486, 2002
Vägverket 2008	Effektsamband för vägtransportsystemet. Nybyggnad och förbättring – Effektkatalog, Vägverkets publikation 2008:11.
Wingårds 2019	Situationsplan för Jubileumsprojektet Detaljplan 2, 2019-04-17.
ØSA 2004	Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen; Øresund Safety Advisers AB, 2004.

Bilaga 1 Riskberäkningar för väg

Innehåll

1. Inledning	2
1.1 Beräkningsmetod	2
1.1.1 Inledning	2
1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar	5
2. Aktuella scenarierna	9
2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.1	9
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1	18
2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3.....	23
2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1.....	26
2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1.....	28
3. Beräkningsresultat.....	30
4. Referenser	34

1. Inledning

1.1 Beräkningsmetod

1.1.1 Inledning

Riskberäkningsmetoden kan delas upp i fyra steg.

1. Beräkning av sannolikhet för olyckor med olika ämnen
2. Beräkning av sannolikhet av olika scenarier utifrån händelseträd
3. Beräkning av konsekvenserna av dessa scenarier avseende antalet omkomna utomhus och inomhus
4. Sammanräkning av resultaten som individrisk och samhällsrisk

Alla beräkningar genomförs i excelblad. Dessa excelblad finns för insyn för myndigheterna och endast vissa utdrag publiceras här.

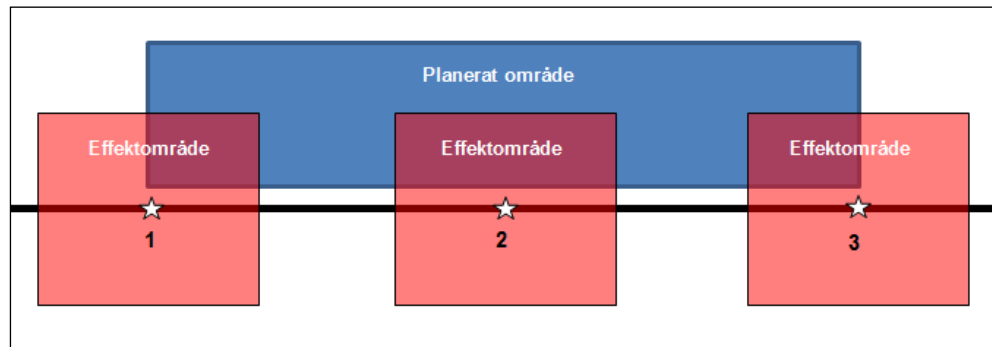
Sannolikheter och effektområdets storlek har, för klass 2.1, klass 2.2 och klass 3 tagits från den nederländska beräkningsmetoden RBMII som är en av den nederländska staten godkänd metod för riskberäkning vid transport av farligt gods utifrån de modeller som presenteras i den s.k. Gula Boken (PGS2 2005) och Lila Boken (PGS3 2005). För klass 1.1 och klass 5.1 anges mera i detalj hur sannolikheterna och effektområdets storlek har beräknats.

1.1.2 Sannolikhetsberäkning

Sannolikheten för en olycka med transport av farligt gods beräknas utifrån de av Trafikverket angivna sannolikheter för personskadeolyckor per fordonskilometer på en vägsträcka av den aktuella typen (Vägverket 2008). Olycksrisken för enstaka fordon har beräknats ur risken per fordonskilometer för olyckor på vägsträckan med antagandet en viss andel av olyckorna är singelolyckor och resten olyckor har två fordon inblandade. Uppgifterna om hur stor andel av olyckorna är singelolyckor fås från rapporten Farligt gods – Riskbedömning vid transport (SRV 1996).

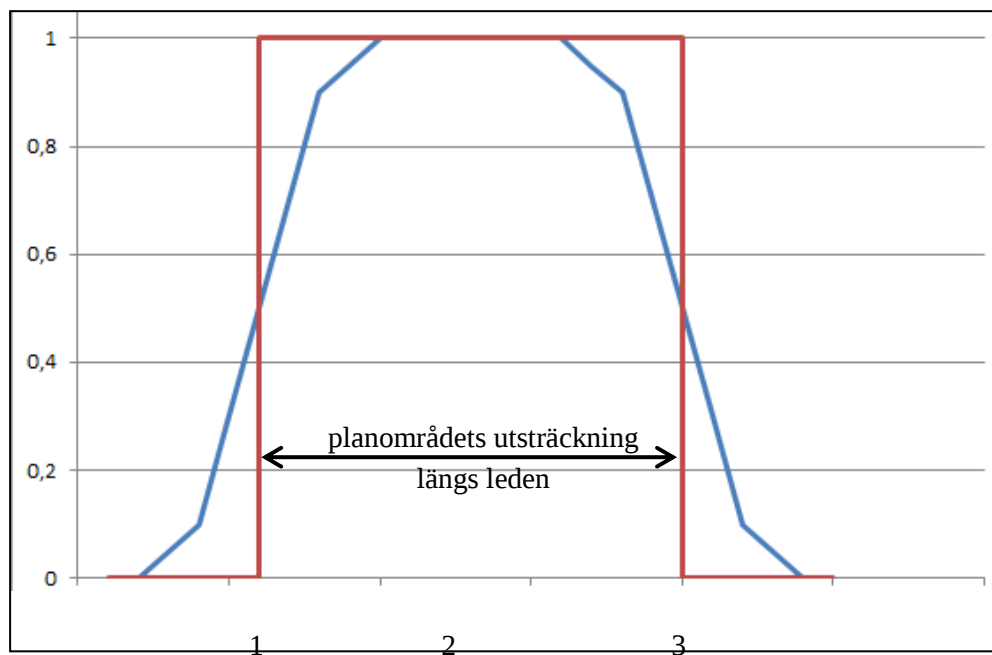
Antal transporter med de olika klasser farligt gods ger sedan antalet olyckor med transporter av de olika klasser farligt gods per kilometer. Beräkningsresultaten för dessa olyckor finns i *figur 4*. Att sannolikheten beräknas per kilometer beror på att vägsträckan som skall användas i sannolikhetsberäkningar varierar beroende på vilket scenario som är aktuellt

För samhällsrisk förklaras detta i *figur 1 till 3* nedan.



Figur 1. Tre olika lägen för en olycka med farligt gods med effektområde mindre än det planerade området.

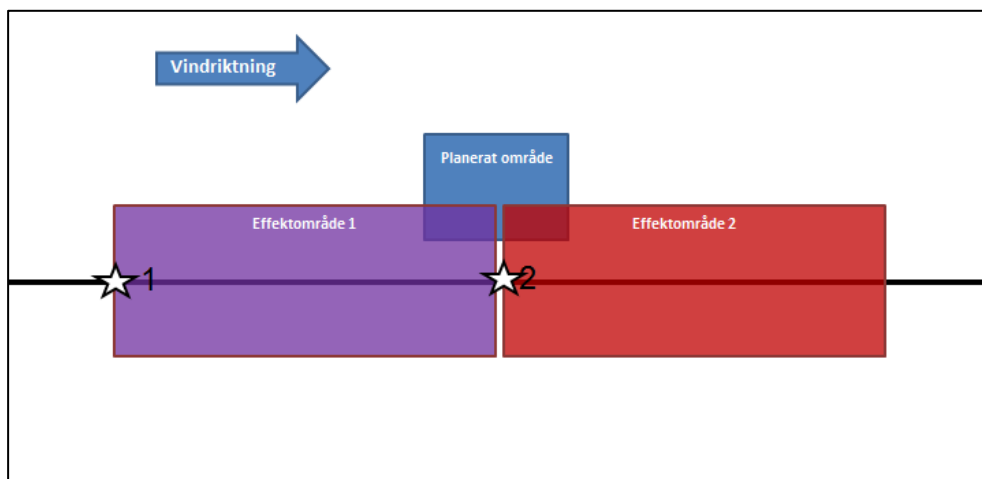
Tre lägen för olyckor visas. I läge 1 drabbas området av halva effekten, i läge 2 av hela effekten och läge 3 åter av halva effekten. Till vänster om läge 1 och till höger om läge 3 drabbas området av mindre än halva effekten. Detta förenklas till att området drabbas av hela effekten (som i olycksplats 2) för alla olyckslägen mellan 1 och 3. Olyckor utanför denna sträcka tas däremot inte med i beräkningen. Approximationen förtydligas i *figur 2* nedan.



Figur 2. Förenkling av effekten av olyckor med farligt gods.

Om effektområdets längd utmed leden är större än planområdets längd utmed leden så är det effektområdets längd som är utgångspunkten. Detta visas i figur 3 som

visar effektområdet för exempelvis ett gasmoln som blåses av vinden längs med vägen. Om olyckan sker mellan läge 1 och läge 2 så antas området drabbas av effekten. Avståndet är lika med effektområdets utsträckning längs leden.



Figur 3. Två olika lägen (lila resp röda effektområdet) för en olycka med farligt gods (gas i detta fall) med effektområde större än det planerade området.

Vid individriskberäkningar bestäms sannolikheten för olyckor alltid av effektområdenas utsträckning längs leden.

Sannolikheten att en olycka leder till ett utsläpp av betydelse (>100 kg) för klass 2.1, 2.3, 3 och 5.1 har tagits från RBMII.

Händelseträden för klass 1.1 och klass 5.1 förklaras i nästa kapitel vid aktuella scenarier

Händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 har tagits från RBMII.

1.1.3 Konsekvenser

Konsekvenserna beräknas med hjälp av effektområden för scenarier för ämnen i klass 2.2, 2.3 och 3. För ämnen i klass 1.1 och 5.1 används en något annorlunda metod som förklaras vid dessa scenarier.

Effektområden har tagits från den nederländska metoden RBMII som är föreskriven metod i Nederländerna vid denna sorts beräkningar. Effektområden har förenklats till att vara rektangulära. Storleken på dessa effektområden är generellt något större än på de effektområden som används i RBMII vilket leder till mera konservativa beräkningar.

I vissa fall finns det skäl att använda två effektområden i ett scenario. Detta är fallet när effekten av olyckan endast avklingar långsamt som exempelvis för olyckor med giftiga gaser i klass 2.3. För många scenarier avklingar effekten ganska snabbt från att alla omkommer till att nästan inga omkommer. I dessa fall används endast ett effektområde vars storlek har utökats för att även täcka de delar där endast en del av de närvarande omkommer.

Vindens påverkan tas med för de effekter som beror på vindriktningen. Alla vindriktningar mot området samlas till en vindriktning lodrätt från leden mot området. Vindriktningar längs leden beaktas också då vissa scenarier ger plymer längs leden som påverkar närmast leden.

Antalet omkomna i ett scenario beräknas utifrån ytan på området där scenariot påverkar, antal personer som befinner sig ute och inne inom detta område samt andelen av dessa som omkommer.

1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar

Resultaten av beräkningen av olycksrisk per kilometer för de olika klasser farligt gods framgår av *figur 4a och 4b*. Där framgår också beräkningarna av persontäthet inom området och i husen närmast vägen.

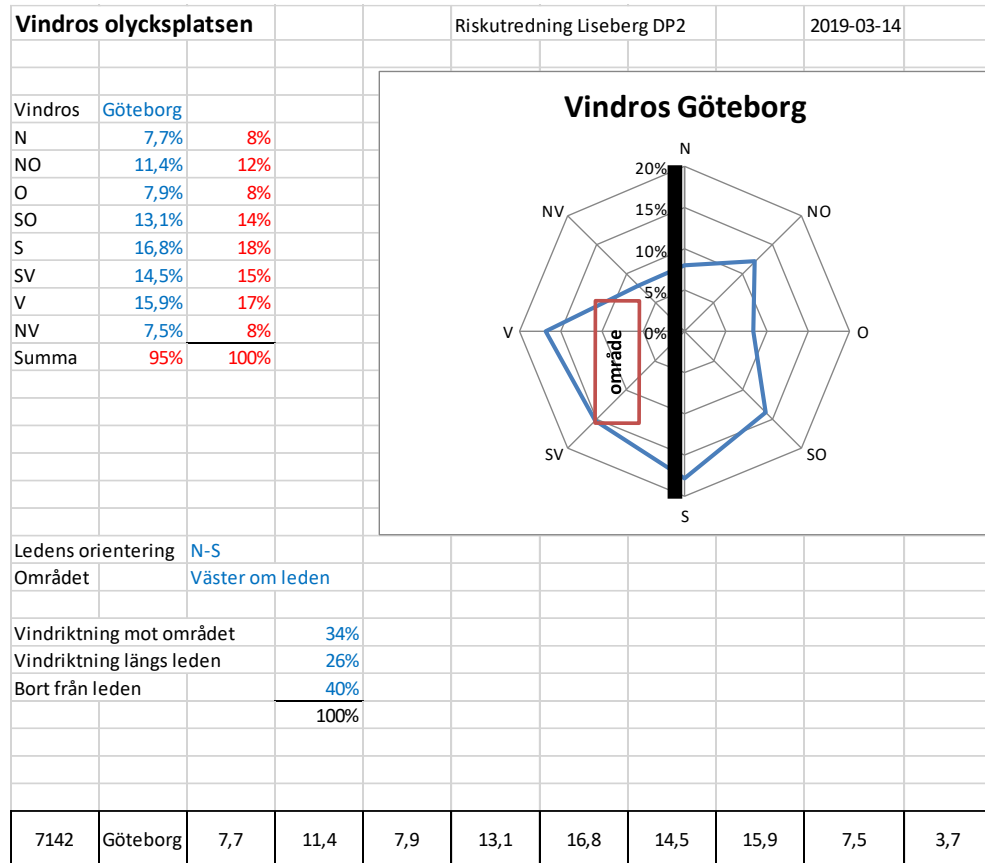
Ingångsdata		Uppdragsnamn:	Riskutredning Liseberg DP2	2019-03-27
Olycksrisk				
Risk för olycka	1,8E-07	1/fordonskm, år		
Andel singelolyckor	0,14			
Olycksrisk fordon	3,7E-07	1/km, år		
Område enl nedan	2	ange siffervärde		
Sannolikhet utströmning > 100 kg				
Område		Kondenserade gaser	Vätskor	
Motorväg	1	0,052	0,101	
Utanför tätort	2	0,034	0,077	
Inom tätort	3	0,006	0,021	
Mellan Motorväg 90 km/h	4	0,043	0,089	
Beräkning olycksrisken per klass, dag tid och natttid				
Andel transporter dagtid	0,7			
	antal transporter totalt	risk>100 kg	utsläppsris k dag/km,år	utsläppsris k natt/km,år
Klass 1, massexplosiv	10,0	1	2,6E-06	1,1E-06
Klass 2.1	1800,0	0,034	1,6E-05	6,8E-06
Klass 2.3	25,0	0,034	2,2E-07	9,4E-08
Klass 3, bensen	37000,0	0,077	7,3E-04	3,1E-04
Klass 5.1, explosionsrisk	170,0	0,077	3,4E-06	1,4E-06
Områdesinfo				
Områdets storlek				
	Inne	Ute		
Planområdets avstånd le	50	30	m	
Planområdets bredd	100	40	m	
Planområdets längd	125	275	m	
Befolkningstäthet				
	Dag			
	Inne	Ute		
Befolkning inne +ute	17		personer	
Andel inne/ute	0%	100%		
Befolkning	0,0	17,0	personer	
Befolkningstäthet	0,0E+00	1,5E-03	pers/m2	
	Natt			
	Inne	Ute		
Befolkning inne +ute	12		personer	
Andel inne/ute	0%	100%		
Befolkning	0,0	12,0	personer	
Befolkningstäthet	0,0E+00	1,1E-03	pers/m2	
	Dag	Natt		
Antal personer första raden totalt	17	12		
	Dag			
	Inne	Ute		
Andel i %	0%	100%		
Antal personer 1:a rad	0,0	17,0		
	Natt			
	Inne	Ute		
Andel i %	0%	100%		
Antal personer 1:a rad	0,0	12,0		

Figur 4a. Ingångsvärden för riskberäkningarna för Berg- och dalbanan.

Ingångsdata		Uppdrags namn:	Riskutredning Liseberg DP2	2019-03-14
Olycksrisk				
Risk för olycka	1,8E-07	1/fordonskm, år		
Andel singelolyckor	0,14			
Olycksrisk fordon	3,7E-07	1/km, år		
Område enl nedan	2	ange siffervärde		
Sannolikhet utströmning > 100 kg				
Område		Kondens erade gaser	Vätskor	
Motorväg	1	0,052	0,101	
Utanför tätort	2	0,034	0,077	
Inom tätort	3	0,006	0,021	
Mellan Motorväg 90 km/h	4	0,043	0,089	
Beräkning olycksrisken per klass, dag tid och nattetid				
Andel transporter dagtid	0,7			
	antal transporter totalt	risk>100 kg	utsläppsris k dag/km,år	utsläppsris k natt/km,år
Klass 1, massexplosiv	10,0	1	2,6E-06	1,1E-06
Klass 2.1	1800,0	0,034	1,6E-05	6,8E-06
Klass 2.3	25,0	0,034	2,2E-07	9,4E-08
Klass 3, bensin	37000,0	0,077	7,3E-04	3,1E-04
Klass 5.1, explosionsrisk	170,0	0,077	3,4E-06	1,4E-06
Områdesinfo				
Områdets storlek				
	Inne	Ute		
Planområdets avstånd le	30	20	m	
Planområdets bredd	150	150	m	
Planområdets längd	450	450	m	
Befolkningstäthet				
	Dag			
	Inne	Ute		
Befolkning inne +ute	1530		personer	
Andel inne/ute	93%	7%		
Befolkning	1422,9	107,1	personer	
Befolkningstäthet	2,1E-02	1,6E-03	pers/m2	
	Natt			
	Inne	Ute		
Befolkning inne +ute	1500		personer	
Andel inne/ute	99%	1%		
Befolkning	1485,0	15,0	personer	
Befolkningstäthet	2,2E-02	2,2E-04	pers/m2	
	Dag		Natt	
Antal personer första raden totalt	1148	1125		
	Dag			
	Inne	Ute		
Andel i %	93%	7%		
Antal personer 1:a rad	1067,2	80,3		
	Natt			
	Inne	Ute		
Andel i %	99%	1%		
Antal personer 1:a rad	1113,8	11,3		

Figur 4b. Ingångsvärden för riskberäkningarna för planområdet.

I figur 5 visas vindrosen som används vid beräkningar av vissa scenarier med gasutsläpp. Beräkningen av andelen av tiden som vinden kan föra gasen mot området respektive längs vägen framgår.



Figur 5. Vindros för Liseberg

2. Aktuella scenarierna

Här ges en generell beskrivning av scenarierna som kan leda till betydande konsekvenser för området utifrån de klasser farligt gods som kan komma att transporteras, *se rapporten*.

2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.1

2.1.1 Sannolikheter

Sannolikheten för en olycka med massexplosiva sprängämnen framgår av *figur 4*

Vid en olycka finns olika utfall som här förenklas till följande:

- ingen brand eller explosion,
- explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan,
- brand i fordonet som inte leder till explosion.
- brand i fordon som leder till explosion.

Sannolikhet för explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan

Sprängämnen som transporteras antas vara av emulsionstyp som är den typen som huvudsakligen används inom gruvindustrin. Ett antal studier har rapporterats (ERM 2008, FOA 2000) som visar att den hastighet som krävs för att en stöt skall leda till explosion av sprängämnet är jämförbara med typiska hastigheter för kulor från skjutvapen (500 m/s dvs. 1800 km/t). Vid förhöjda temperaturer sänks visserligen denna hastighet men ligger fortfarande vida över vad som förekommer vid en olycka.

Tidigare studier har visat att den kritiska hastigheten för att en projektil skall leda till en explosion för ett emulsionssprängämne är några tiotals gånger större än för dynamit. En studie med fallvikter på nitroglycerinbaserade sprängämnen har visat att sannolikheten för antändning låg under 0,1 %. I studien simulerades den stöten som skulle orsakas av ett fall på 12 m.

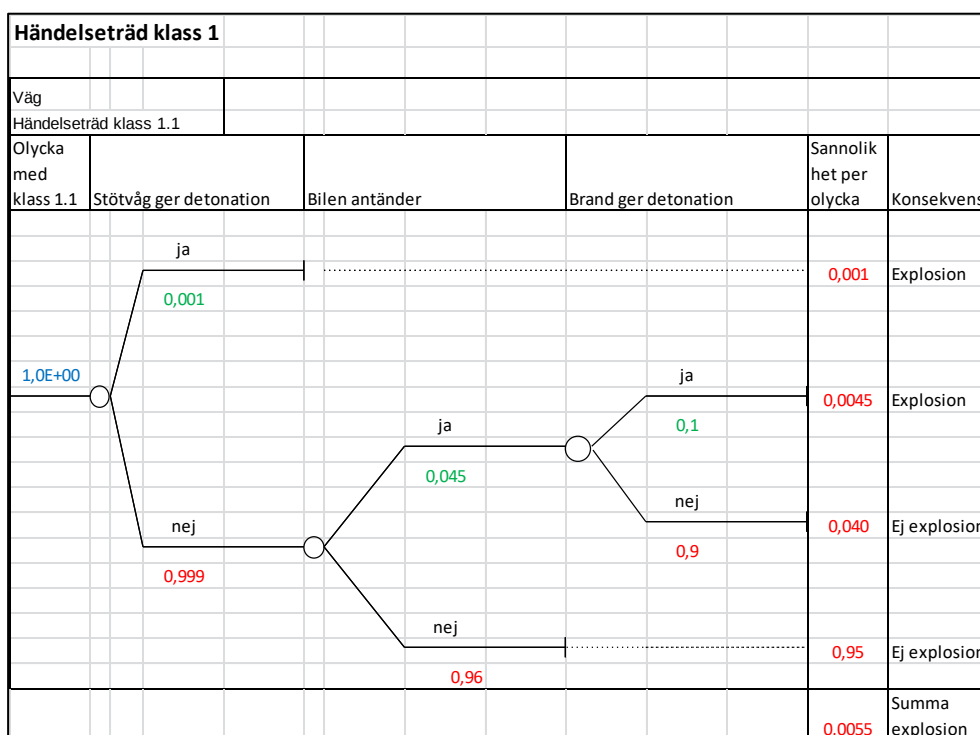
Sammantaget bedöms det att sannolikheten för detonation på grund av stöt vid en olycka med emulsionssprängämnen ligger under 0,1 %. Detta värde kommer att användas vid sannolikhetsberäkningarna.

Sannolikhet för detonation på grund av brand

Sannolikheten för att en olycka leder till en fordonsbrand beräknas utifrån statistik från USA då pålitlig svensk statistik saknas. Enligt statistiken (NFPA 2012, FEMA 2008, USCB 2012) förekom det under perioden 2005-2009 ca 52,7 miljoner

trafikolyckor på motorvägar i USA. Av dessa var lastbilar inblandade i ca 3,1 % eller 1,6 miljoner olyckor. Av trafikolyckorna på motorväg under perioden 2005-2009 ledde ca 1,13 miljoner till brand i fordon. Av dessa olyckor med brand i fordon berörde ca 6,4 % eller 72 600 lastbilar. Andelen trafikolyckor med lastbilar som ledde till brand är således $72\,600 / 1\,600\,000 = 4,5\%$ under 2005-2009 i USA. Denna siffra används som sannolikhet för att lastbil fattar eld vid en olycka.

Sannolikheten att en brand leder till detonation av sprängämnet uppskattas grovt till 10 %. Händelseträdet för olycka med sprängämnen visas i *figur 6*.



Figur 6. Händelseträd för olycka med sprängämnen, klass 1.1.

Resultaten av sannolikhetsberäkningar för fallet att en massexplosion på grund av en olycka med en sprängämnestransport visas i *tabell 2*, *avsnitt 3*.

2.1.2 Konsekvenser

Explosionslast

Vid beräkning av explosionslast utgås från en explosion av 16 ton TNT. Mängden sätts till 16 ton då detta är den maximalt tillåtna mängden som får transporteras i en vägtransport. Att välja TNT görs för att inte underskatta explosionsstyrka, ämnet

som transporteras mest är ANFO vars explosionsstyrka ligger på ca 82 % av TNT. För att inte underskatta riskerna väljs dock TNT.

Explosionens övertryck och impuls har beräknats nedan. Både oreflekterade och reflekterade värden har beräknats. De reflekterade värdena är aktuella när explosionen träffar en yta som är riktat vinkelrät mot explosionen. De oreflekterade värdena gäller för ytor som är riktade i samma riktning som explosionen.

Explosionsstyrkan beräknas med hjälp av *figur 7 och 8* som tagits från rapporten Dynamisk lastpåverkan – Referensbok (SRV 2005). För en närmare förklaring av beräkningsmetoden hänvisas till denna rapport.

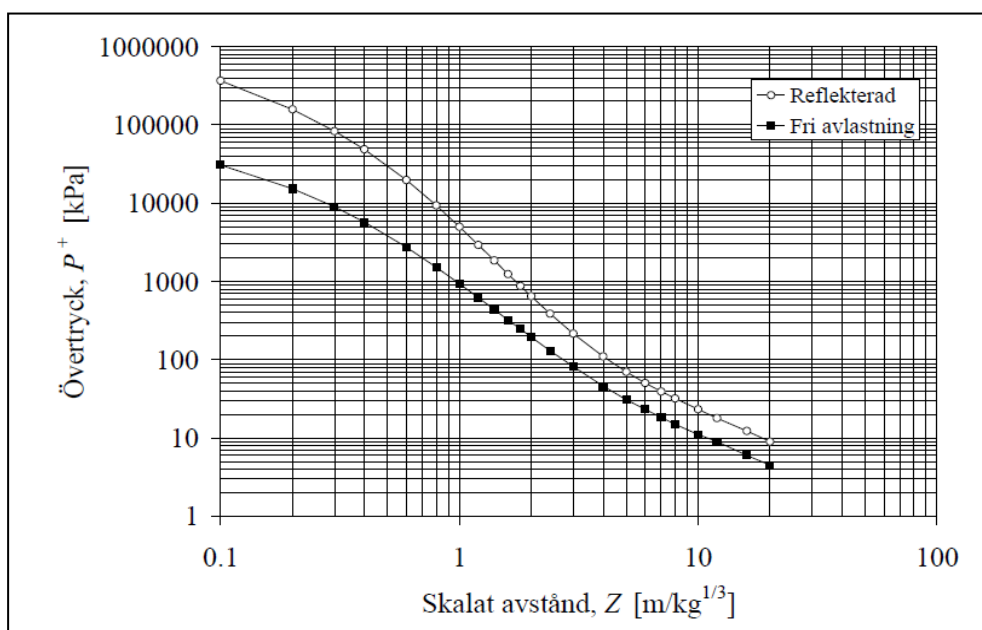
Z är det skalade avståndet enligt nedan

$$Z = \frac{R}{M^{1/3}}$$

R = avstånd från explosionscentrum (m)

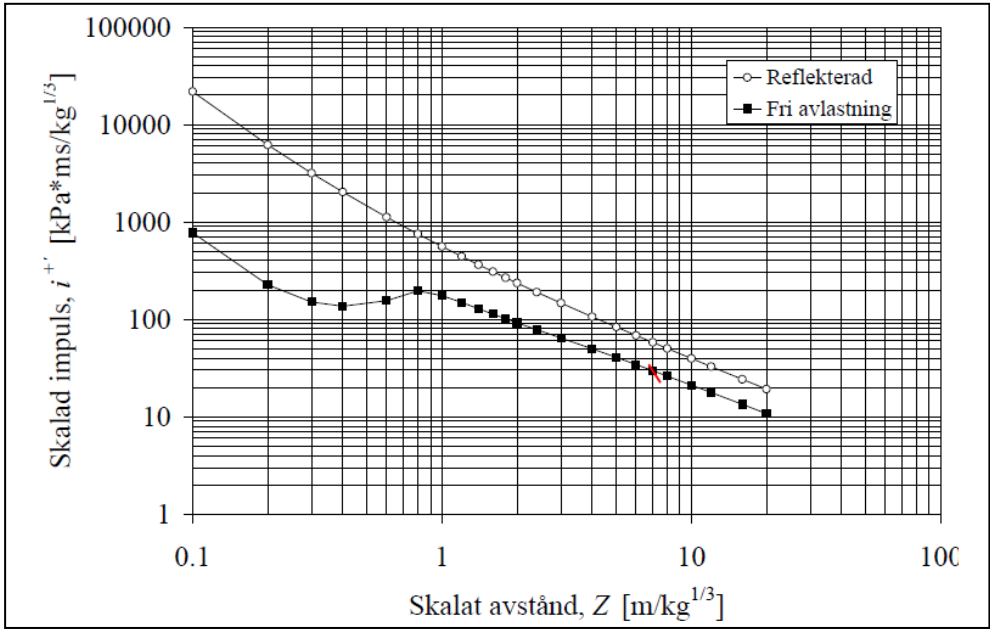
M = mängd sprängämne i explosionen (kg)

Figur 7 ger övertrycket p_+



Figur 7 Reflekterat och oreflekterat övertryck som funktion av det skalade avståndet Z (från SRV 2007).

Figur 8 ger den skalade impulsen delat med kubikroten ur mängden sprängämne: $i_+/M^{1/3}$. Den skalade impulsintensiteten räknas sedan ut genom att multiplicera med $M^{1/3} = 16000^{1/3} = 25,2 \text{ kg}^{1/3}$.



Figur 8. Reflekted och oflekted impulsintensitet som funktion av det skalade avståndet Z (från SRV 2007).

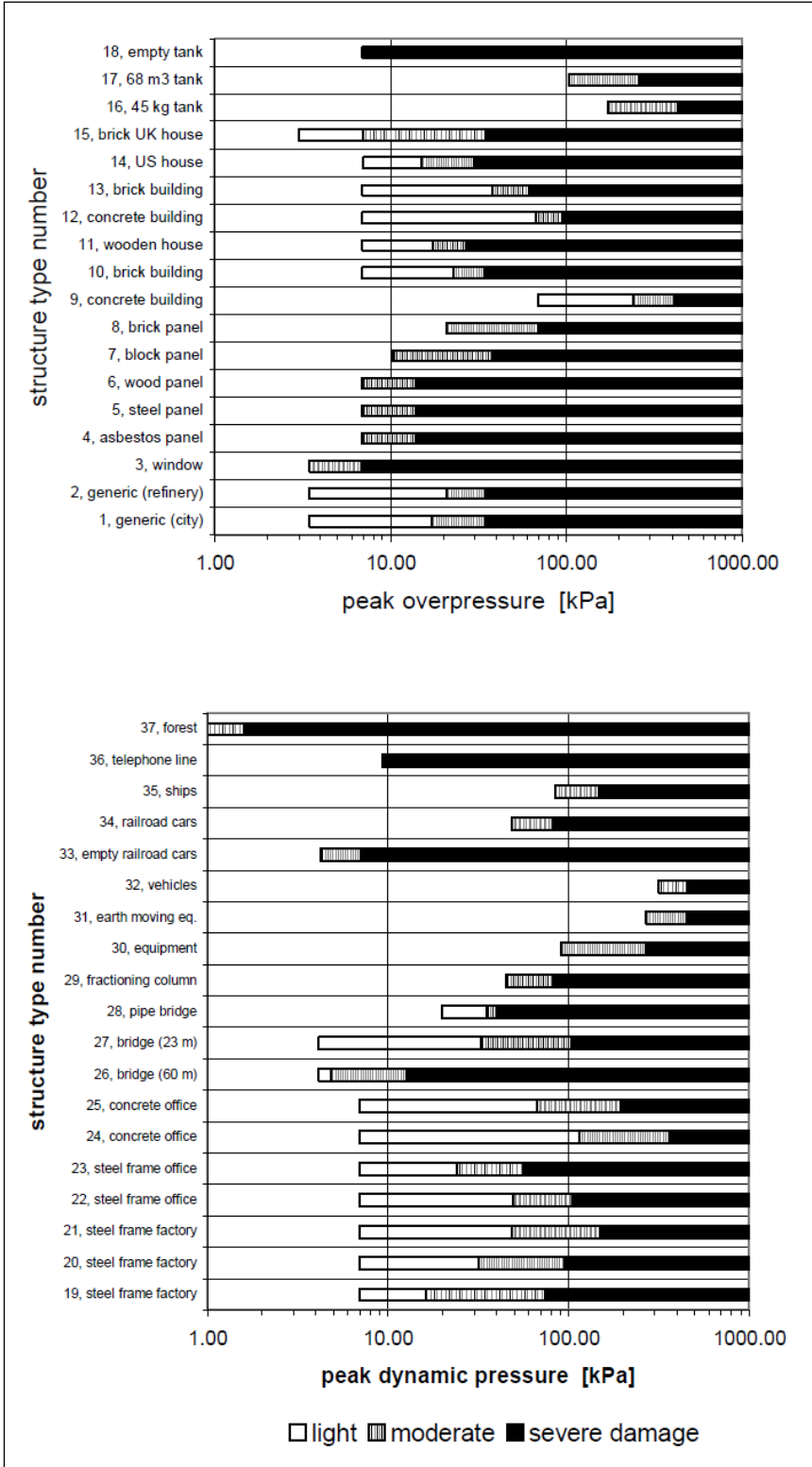
Resultaten visas i tabell 1.

Tabell 1. Reflekted och oflekted tryck och impulstäthet som funktion av avståndet till explosionscentrum.

Avstånd	Z	p^+	p_r	i^+	i_r
m	m/kg ^{1/3}	kPa	kPa	kPas	kPas
25	1,0	900	5000	4,8	14,0
50	2,0	200	750	2,3	6,3
63	2,5	120	400	1,8	4,3
75	3,0	80	220	1,6	3,3
100	4,0	45	110	1,3	2,6
125	5,0	33	70	1,0	2,0
150	6,0	23	50	0,9	1,8
175	6,9	20	40	0,8	1,5
200	7,9	15	33	0,7	1,3

Skador på bebyggelsen

Enligt amerikanska undersökningar (EAI 1997) rasar hus vid ett övertryck (p^+) på 25-35 kPa medan en vanlig stadsbebyggelse bedöms få allvarliga skador vid ungefär samma övertryck, se *figur 9 och 10*. Detta tryck uppnås enligt *tabell 1* ungefär 125 m från platsen för explosionen.



Figur 9 Övertryck som leder till raserade byggnader mm.

Type	Description of structure
1	city
2	refinery
3	glass windows, large and small
4	corrugated asbestos siding
5	corrugated steel or aluminum panelling
6	wood siding panels, standard house construction
7	concrete or cinder-block wall panels, 8" or 12" thick (not reinforced)
8	brick wall panel, 8" or 12" thick (not reinforced)
9	blast-resistant reinforced concrete windowless building
10	multi-storey wall-bearing building, brick apartment house type, up to three storeys
11	wood-frame house
12	multi-storey reinforced concrete building with concrete walls, small window area, three to eight storeys
13	multi-storey wall-bearing building, monumental type, up to four storeys
14	typical American-style house
15	typical brick-built English house
16	45 kg LPG tank
17	68000-litre LPG bulk gas plant
18	floating- or conical roof tanks, empty
19	light steel frame industrial building, single storey, with up to 5-ton crane capacity, low strength walls which fail quickly
20	heavy steel frame industrial building, single storey, with 25- to 50-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
21	heavy steel frame industrial building, single storey, with 60- to 100-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
22	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant design
23	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant design
24	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant construction.
25	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant construction.
26	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 200 ft (60 m)
27	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 75 ft (23 m)
28	pipe bridge
29	fractioning column
30	truck-mounted engineering equipment (unprotected)
31	earth-moving engineering equipment (unprotected)
32	transportation vehicles
33	unloaded railroad cars
34	loaded boxcars, flatcars, full tank cars, and gondola cars (side-on orientation)
35	merchant shipping
36	telephone lines (transverse)
37	average deciduous forest stand

Figur 10. Beskrivning av byggnadstyper mm i figur 9.

Sammantaget antas att byggnader närmast vägen får allvarliga skador inom 125 m från explosionen. Bebyggelsen bakom skyddas i stor utsträckning av husen framför och antas inte få lika betydande skador.

Storleken av området längs vägen där husen rasar beräknas utifrån husens avstånd till vägen och Pythagoras sats.

Inom området där husen skadas allvarligt antas att husens raszon sträcker sig in mot ungefär halva huset och att det i raszonen omkommer cirka en tredjedel av de personer som vistas där (FOA 1997). Detta innebär att cirka en sjättedel av de boende inom detta område antas omkomma vid en explosion med sprängämnen.

Antalet omkomna beräknas utifrån antal i husraden närmast vägen, resultaten visas i *tabell 2*.

Skador utomhus

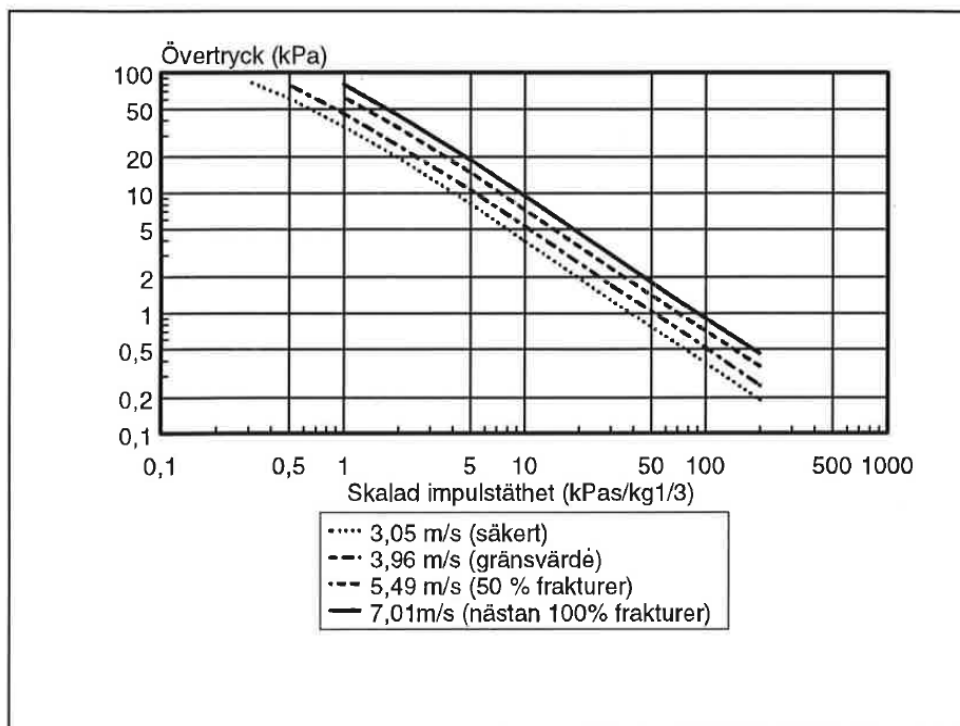
Direkta skador pga. tryck

Människan tål tryck relativt bra. Gränsen för lungskador anges vara ca 70 kPa, döda på grund av lungskador förväntas vid 180 kPa och 50 % omkomna vid 260 kPa. Detta innebär att inga omkomna förväntas pga. lungskador på ett avstånd på mer än 50 m från explosionen (FOA 1997).

Indirekta skador

Indirekta skador kan uppstå genom att någon kastas mot något hårt föremål av tryckvågen eller att personer träffas av nedfallande byggnadsdelar.

Som skademått för skador pga. att någon kastas av tryckvågen tas skallskador. Enligt FOA får en person med kroppsvikt 70 kg skallfraktur på ca 50 m från explosionen, se *figur 11* och *tabell 1*. På 75 m har sannolikheten avtagit till 50 % och minskar till 10 % på ca 90 m.



Figur 11. Kombinationer av övertryck och skalad impulstäthet som ger allvarliga skador vid islag av huvudet (från FOA 1997).

Personer utomhus kan även omkomma av fallande byggnadsdelar eller splitter och vi antar därför att alla personer som befinner sig kring hus som förväntas rasera omkommer i explosionen.

En gynnsam omständighet som inte beaktats i detta scenario är att det kommer att ta tid innan en brand i ett fordon med sprängämnen sprider sig till lasten och ger upphov till en explosion. Under denna tidsperiod finns möjligheter att evakuera personer från området. Praktiska erfarenheter från olyckor med sprängämnen visar att evakueringen ofta har kunnat genomföras och lett till en reduktion av antalet omkomna.

Det här beskrivna scenariot ger därför konservativa värden för det förväntade antalet omkomna.

Individrisk

En person antas omkomma om han befinner sig i området kring den bebyggelse som kommer att rasa vid en massexplosion. Avståndet beror på avståndet mellan transportleden och husen och husens bredd, som default används 30 m för detta.

Sannolikheten beräknas med att explosionen måste ske på de 250 m av vägen som är närmast individen.

Samhällsrisk

Sannolikheten för en person att omkomma inomhus är 17 % i de hus som antas rasa vid massexlosionen, dvs de som ligger inom 125 m från olycksplatsen. Alla personer som befinner sig utomhus kring husen antas omkomma, se avsnittet om individrisk.

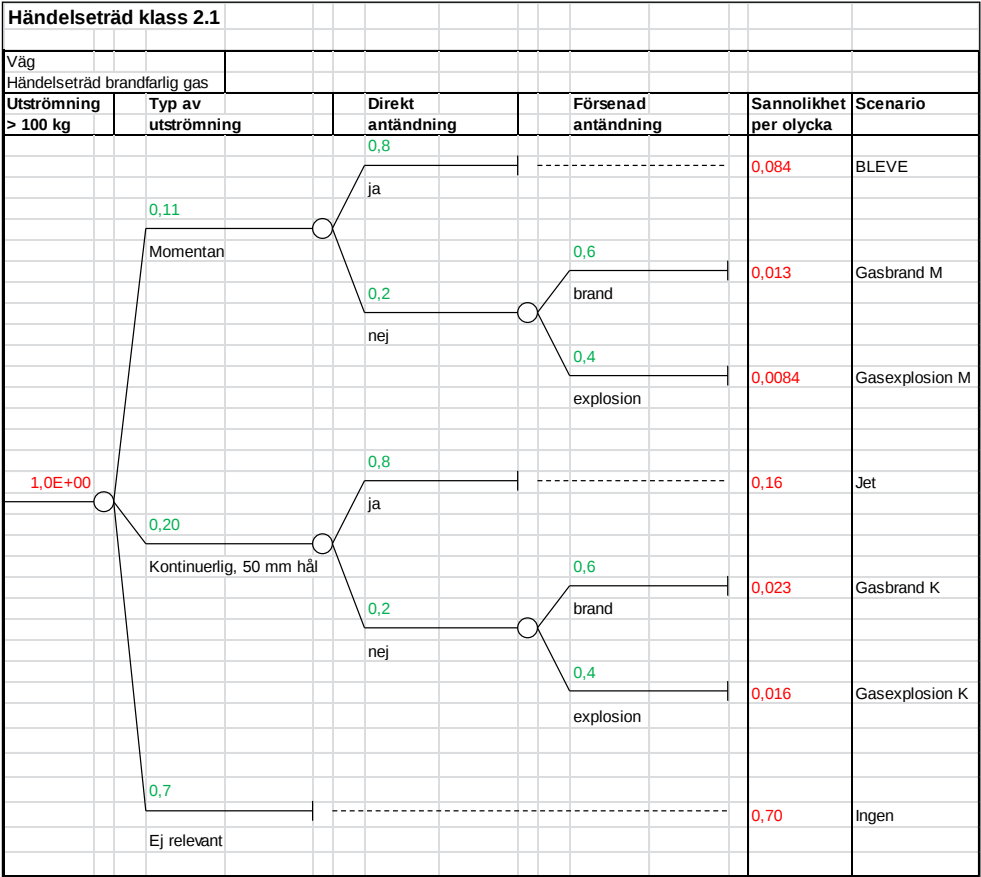
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med brandfarliga gaser per kilometer transportled har beräknats på samma sätt som för massexplösiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

2.2.1 Scenario Jetflamma

I detta scenario uppstår ett hål på 5 cm i tanken på tankfordon med komprimerad brandfarlig gas. Gasen sprutar ut och antänds vilket leder till en låga som sträcker sig från olycksplatsen in mot området. Inom ett område av 45x74 m (längs vägen x in mot området) förväntas alla omkomma. Utomhus på grund av att människorna hamnar i eller nära lågan, inomhus då byggnaden fattar eld och brinner ner.

Av händelseträdet för brandfarliga gaser, *figur 12*, framgår att sannolikheten för scenario Jetflamma vid en olycka med brandfarlig gas med betydande utströmning är lika med 0,16.



Figur 12. Händelseträd olycka med brandfarlig gas

Individrisk

Scenario Jetflamma antas leda till att oskyddade individer utomhus omkommer inom ett område på 45 m av leden i ledens riktning och som sträcker sig ca 74 m in i området.

En individ omkommer om olyckan sker på de närmaste 45 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 74 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inom ett område på 45 m längs vägen och 74 m in från vägen antas omkomma, såväl inomhus som utomhus.

2.2.2 Scenario Gasbrand vid momentant utsläpp

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds. Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, eller som en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion. Detta är scenario Gasbrand M respektive Gasexplosion M. För dessa scenarier spelar vindriktningen en mindre roll på grund av den stora mängden gas som expanderar och antänds snabbt. För scenario Gasbrand M antas gasmolnet ha sitt centrum på olycksplatsen och en storlek av 18 5x 185 m. Inom ett område av 185 x 93 m (längs vägen x in mot området) omkommer alla ute och inne. Effektområdet har valt med marginal så att det även tas hänsyn till att gasmolnet förflyttar sig i viss mån med vinden innan det antänds.

Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 10* och är lika med 0,013.

Individrisk

En individ omkommer vid detta scenario om han/hon befinner sig inom det brinnande molnet, dvs om olyckan händer inom 93 m från personen och om personen står på ett avstånd av mindre än 93 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inne i det brinnande gasmolnet antas omkomma, inne såväl som ute.

2.2.3 Scenario Gasbrand vid kontinuerligt utsläpp

I detta scenario uppstår ett hål på 5 cm i tanken på samma sätt som i scenario Jetflamma. Den brandfarliga gasen antänds inte direkt men sprids med vinden mot olycksplatsen. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds. Molnets utsträckning är då 50 x 10 m i vindriktningen. Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, scenario Gasbrand K, eller till en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion, detta är scenario Gasexplosion K.

Vid Scenario Gasbrand K antas alla som vistas i det brinnande molnet omkomma, såväl inomhus som utomhus.

Sannolikheten för Scenario Gasbrand K framgår av händelseträdet i *figur 12* och är lika med 0,023 vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 5*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området, detta är scenario Gasbrand KT. Blåser vinden i ledens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasbrand KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasbrand KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 10 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 50 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 50 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 5 m från leden.

Samhällsrisk

I scenario Gasbrand KT antas personer omkomma inom ett område med längd 10 m längs leden och bredd 50 m in från vägen.

I scenario Gasbrand KL antas personer omkomma inom ett område med längd 50 m längs leden och bredd 5 m in från vägen.

2.2.4 Scenario Gasexplosion vid momentant utsläpp

Detta är samma som scenario Gasbrand M, med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns explosionsartat. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar vid en gasexplosion inom ett område på 252 x 252 m, centrum för explosionen antas ligga på leden.

Sannolikheten för detta vid en olycka med utsläpp av brandfarliga gaser framgår av händelseträdet i *figur 12* och är lika med 0,0084 vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas.

Individrisk

I scenario Gasexplosion M omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 252 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 126 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inomhus eller utomhus inom ett område med längd 252 m längs leden och bredd 126 m från vägen antas omkomma. Inom ett område utanför detta område med längd 504 m och bredd 252 m antas 3 % av de som befinner sig inomhus omkomma.

2.2.5 Scenario Gasexplosion vid kontinuerligt utsläpp

Dessa scenarier är detsamma som scenario Gasbrand KT och KL med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns snabbare vilket leder till en gasexplosion. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar i ett område av 66x66 m. Sannolikheten för detta är enligt händelseträdet i *figur 12* lika med 0,016 per olycka med utsläpp av brandfarlig gas.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 5*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området detta är scenario Gasexplosion KT. Centrum för explosionen antas då ligga 33 m från vägen så att hela effektområdet a ligger vid sidan om vägen.

Blåser vinden i ledens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasexplosion KL. Centrum för explosionen antas då ligga på vägen men mitt framför området. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasexplosion KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 66 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 66 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 66 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 33 m från leden

Samhällsrisk

I scenario Gasexplosion KT antas personer inomhus och utomhus omkomma inom ett område med längd 66 m längs leden och bredd 66 m in från vägen.

I scenario Gasexplosion KL antas personer omkomma inom ett område med längd 66 m längs leden och bredd 33 m in från vägen inomhus och utomhus.

2.2.6 Scenario BLEVE

Vid en BLEVE havererar tanken brandfarlig gas, mestadels på grund av en brand i en annan del av fordonet, vilket leder till ett momentant utsläpp som antänds direkt. Detta kallas en BLEVE och leder till att personer omkommer inom ett område av 80x80m. BLEVE:ns centrum ligger på olycksplatsen. Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 10* och är lika med 0,084 vid en olycka.

Individrisk

En person antas omkomma inom ett område med längd 80 m längs vägen och bredd 40 m in från vägen.

Samhällsrisk

I scenario BLEVE antas personer omkomma inom ett område med längd 80 m längs leden och bredd 40 m in från vägen inomhus och utomhus.

2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med giftiga gaser per kilometer transportled har beräknats på samma sätt som för massexplosiva ämnen i *tidigare avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

Händelseträdet för scenarier med giftiga gaser framgår i *figur 13* nedan.

Händelseträd klass 2.3			
Händelseträd väg, gas			
Utströmning >100 kg	Utströmning	Sannolikhet per olycka	Scenario
1,0	0,015 Momentant	0,015	Gasmoln M
	0,20 Kontinuerligt 5 cm hål	0,20	Gasmoln K

Figur 13. Händelseträd för olycka med giftiga gaser

2.3.1 Scenario Gasmoln M

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. På grund av det snabba händelseförloppet bedöms vindriktningens spela mindre roll.

Effektområdena har dock anpassat för att ta hänsyn till spridning med vinden i olika riktningar. Storleken av effektområde 1 bedöms vara 70x70 m med centrum på olycksplatsen. Effektområde 2 har storlek 120x120 m.

Sannolikhet för scenariot framgår av händelseträdet i *figur 13* och är lika med 0,015 per olycka med utsläpp.

Individrisk

En person har 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 70 m av leden från där personen står och 35 m in från vägen. En person har 30 % att omkomma om olyckan sker på de närmaste 120 m av leden från där personen står och 60 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma här.

2.3.2 Scenario Gasmoln K

Vid detta scenario uppstår ett hål på 5 cm i tanken med ammoniakgas. En gasplym uppstår som rör sig i vindriktningen. Sannolikheten för scenariot framgår av händelseträdet i *figur 12* och är lika med 0,20 per olycka med utsläpp.

Effektområde 1 har bredd 25 m och längd 135 m i vindriktningen. Effektområde 2 har bredd 75 m och längd 220 m i vindriktningen. Båda effektområden börjar vid olycksplatsen.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 5*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen till området, detta är scenario Gasmoln KT. Blåser vinden i ledens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasmoln KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasmoln KT har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 25 m av leden från där personen står och 135 m in från vägen. En person har 30 % att omkomma om olyckan sker på de närmaste 75 m av leden från där personen står och 220 m in från vägen.

I scenario Gasmoln KL har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 135 m av leden från där personen står och 13 m in från vägen. En person har 30 % att omkomma om olyckan sker på de närmaste 220 m av leden från där personen står och 38 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma här.

2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med mycket brandfarliga vätskor på har beräknats på samma sätt som i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

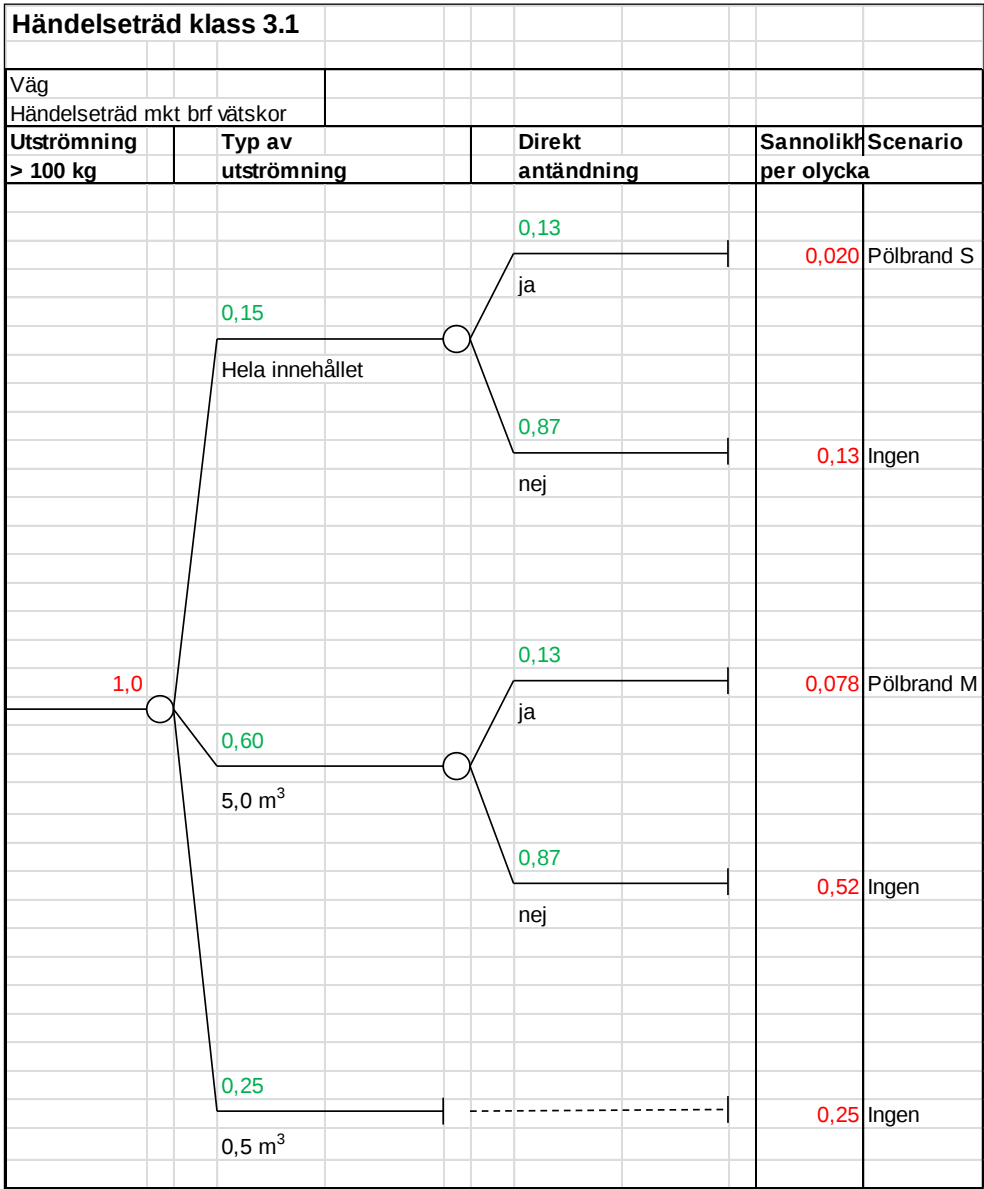
Händelseträdet för scenarier med mycket brandfarliga vätskor framgår i *figur 13* nedan.

2.4.1 Scenarier Pölbrand S och M

I scenario Pölbrand sker en olycka där tanken skadas och ett utsläpp sker av mycket brandfarlig vätska (exempelvis bensin) som rinner ut till en pöl som sedan antänds. Värmestrålningen kan leda till att människor omkommer. Vid en stor pölbrand (Pölbrand S) antas personer inom ett område på 48x48 m omkomma, såväl inne som ute. Vid en mindre pölbrand (Pölbrand M) antas personer inom ett område på 25x25 m omkomma såväl inne som ute. Områdena antas centrerade kring olycksplatsen.

Sannolikhet

Sannolikheten för att ett utsläpp leder till scenario Pölbrand S (en pölbrand med en yta på 600 m²) är lika med 0,020 per olycka med utsläpp av mycket brandfarlig vätska. Sannolikheten för scenario Pölbrand M (en pölbrand med yta 300 m²) är lika med 0,078 per olycka med utsläpp. Se händelseträdet i *figur 14* nedan.



Figur 14 Händelseträd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3.

Individrisk

I scenario Pölbrand S har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 48 m av leden från där personen står och 24 m in från vägen.

I scenario Pölbrand M har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 23 m av leden från där personen står och 13 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom ett område med längd 48 m längs vägen och bredd 24 m in från vägen antas alla omkomma såväl inomhus som utomhus i scenarion Pölbrand S.

I scenario Pölbrand M antas alla utomhus och inomhus omkomma inom ett område med längd 25 m längs vägen och bredd 13 m in från vägen.

2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med oxiderande ämnen med risk för massexplosion har beräknats på samma sätt som för massexplosiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 4*.

Händelseträdet för scenarier med oxiderande ämnen framgår i *figur 15* nedan.

2.5.1 Scenario Explosion S och M

I dessa scenariot har vi utgått från att transportererna sker som ammoniumnitrat som vid blandning med dieselolja kan leda till en explosion som motsvarar 16 ton TNT vid ett stort utsläpp av ammoniumnitrat och cirka hälften vid ett mindre utsläpp. Detta överskattar explosionens kraft då den blandningen som kommer att ske om båda ämnen rinner ut vid en olycka inte räcker för att åstadkomma ett effektivt sprängämne vilket egentligen kräver en ganska exakt blandning av dessa ämnen.

Konsekvenserna av dessa explosioner härleds på samma sätt som för massexplosiva ämnen i klass 1.

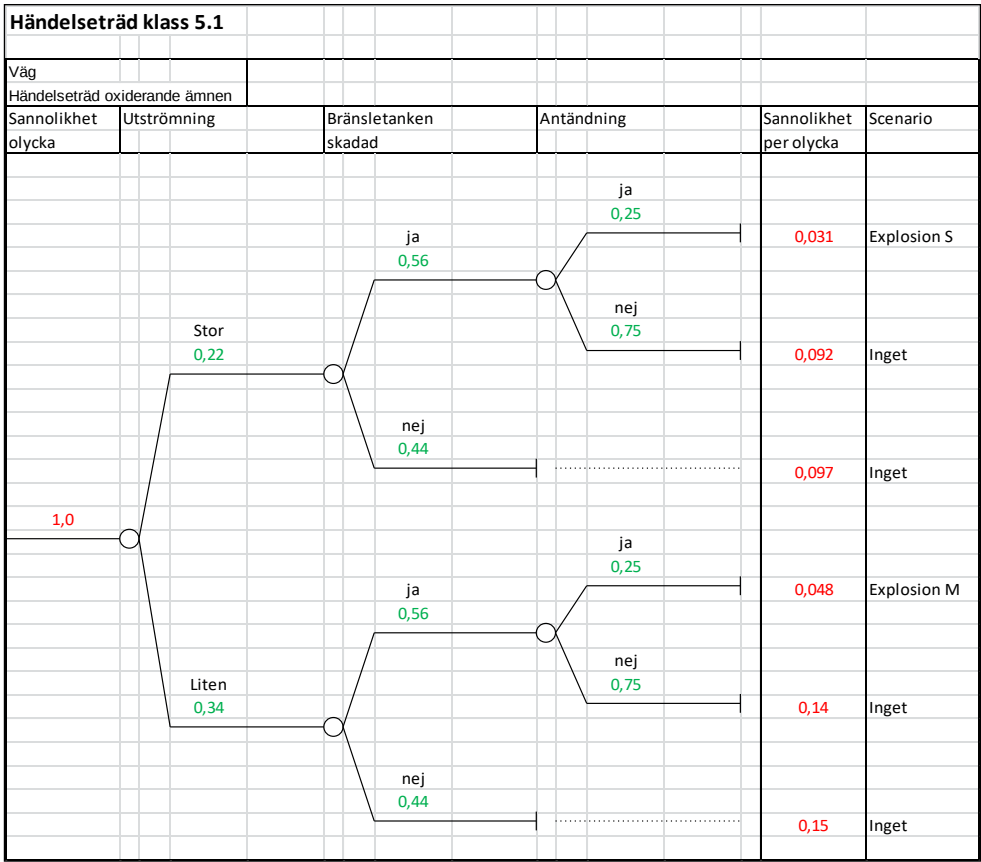
Sannolikhet

Sannolikheten för en olycka med dessa transporter per kilometer transportled framgår av *figur 3*.

För att en olycka med en transport med oxiderande ämnen skall leda till betydande konsekvenser krävs att det oxiderande ämnet blandas med dieselolja och att blandningen antänds. För att detta skall ske måste flera förutsättningar vara uppfyllda:

1. Ett betydande utsläpp av oxiderande ämnen måste ske.
2. Utsläpp av dieselolja måste ske.
3. Blandningen måste antändas.

Sannolikheten för detta framgår av händelseträdet i *figur 15* nedan. Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankbilar.



Figur 15 Händelseträd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion.

Konsekvenser

Två scenarier finns beroende på storleken på utsläppet av det oxiderande ämnet. Storleken på utsläppet av den brandfarliga vätskan är av mindre vikt då en explosiv blandning endast kräver en mindre mängd brandfarlig vätska (ca 1 del brandfarlig vätska på 7 delar oxiderande ämne). Ett stort utsläpp av oxiderande ämnen ger scenario Explosion S, ett något mindre utsläpp ger scenario Explosion M.

Konsekvenserna av en stor explosion har antagits vara desamma som för en explosion av 16 ton TNT. Konsekvenserna avseende individrisk och samhällsrisk är således desamma som i scenariot för klass 1.1.

Konsekvenserna för en mindre explosion har antagits vara hälften av konsekvenserna av en stor explosion.

3. Beräkningsresultat

I tabell 2a och b presenteras resultaten av riskberäkningarna för planområdet utan attsärskild skyddsåtgärder vidtagits. Detta presenteras grafisk med de blå kurvor i figur 14 och 20 i rapporten. Beräkningarna för övriga figurer avseende risken från vägen har genomförts på samma sätt.

Tabell 2a. Riskberäkningar för Berg- och dalbanan.

Sammanställning av beräkningsresultat dagtid												Riskutredning Liseberg DP2				2019-03-27	
Effektområde 1												Effektområde 2					
	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{seend} /år, km	längd	bredd	F _{omk} inne	F _{omk} ute	längd	bredd	F _{omk} inne	F _{omk} ute	Om-komma	F _{seend} /år				
1.	2,6E-06	Masseexplosion	1,4E-08	275	80	0,17	1,00	-	-	-	-	17	3,4E-09				
2.1	1,6E-05	Jet	2,5E-06	275	74	1,00	1,00	66	80	0,00	0,00	17	3,1E-07				
		Gasbrand M	2,0E-07	185	93	1,00	0,00	-	-	-	-	0	3,7E-08				
		Gasbrand KT	1,3E-07	10	50	1,00	0,00	-	-	-	-	0	1,6E-08				
		Gasbrand KL	9,5E-08	50	5	1,00	0,00	-	-	-	-	0	1,2E-08				
		Gasexplosion M	1,3E-07	275	126	1,00	1,00	-	-	-	-	17	3,3E-08				
		Gasexplosion KT	8,4E-08	275	70	1,00	1,00	-	-	-	-	17	1,1E-08				
		Gasexplosion KL	6,4E-08	275	70	1,00	1,00	-	-	-	-	17	8,0E-09				
		Bleve	1,3E-06	275	70	1,00	1,00	110	55	0,00	0,00	17	1,7E-07				
2.3	2,2E-07	Giftig gasmoln M	2,3E-08	70	35	0,10	0,00	120	60	0,03	0,00	0	2,9E-09				
		Giftig gasmoln KT	1,5E-08	25	135	0,10	0,00	75	220	0,03	0,00	0	1,8E-09				
		Giftig gasmoln KL	1,1E-08	135	13	0,10	0,00	220	38	0,03	0,00	0	1,5E-09				
3.	7,3E-04	Stor pölbrand	1,4E-05	275	70	1,00	0,50	-	-	-	-	9	1,8E-06				
		Liten pölbrand	5,7E-05	275	70	1,00	0,10	33	17	0,00	0,00	2	7,2E-06				
5.1	3,4E-06	Stor explosion	1,7E-08	104	72	0,17	1,00	-	-	-	-	17	2,1E-09				
		Liten explosion	6,8E-08	55	57	0,17	1,00	-	-	-	-	17	8,5E-09				
Sammanställning av beräkningsresultat natttid												Riskutredning Liseberg DP2				2019-03-27	
Effektområde 1												Effektområde 2					
Natt	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{seend} /år, km	längd	bredd	F _{omk} inne	F _{omk} ute	längd	bredd	F _{omk} inne	F _{omk} ute	Om-komma	F _{seend} /år				
1.	1,1E-06	Masseexplosion	6,1E-09	275	80	0,17	1,00	-	-	-	-	12	1,5E-09				
2.1	6,8E-06	Jet	1,1E-06	275	74	1,00	1,00	66	80	0,00	0,00	12	1,3E-07				
		Gasbrand M	8,5E-08	185	93	1,00	0,00	-	-	-	-	0	1,6E-08				
		Gasbrand KT	5,4E-08	10	50	1,00	0,00	-	-	-	-	0	6,8E-09				
		Gasbrand KL	4,1E-08	50	5	1,00	0,00	-	-	-	-	0	5,1E-09				
		Gasexplosion M	5,7E-08	275	126	1,00	1,00	-	-	-	-	12	1,4E-08				
		Gasexplosion KT	3,6E-08	275	70	1,00	1,00	-	-	-	-	12	4,5E-09				
		Gasexplosion KL	2,7E-08	275	70	1,00	1,00	-	-	-	-	12	3,4E-09				
		Bleve	5,7E-07	275	70	1,00	1,00	110	55	0,00	0,00	12	7,1E-08				
2.3	9,4E-08	Giftig gasmoln M	9,9E-09	70	35	0,10	0,00	120	60	0,03	0,00	0	1,2E-09				
		Giftig gasmoln KT	6,3E-09	25	135	0,10	0,00	75	220	0,03	0,00	0	7,8E-10				
		Giftig gasmoln KL	4,7E-09	135	13	0,10	0,00	220	38	0,03	0,00	0	6,4E-10				
3.	3,1E-04	Stor pölbrand	6,1E-06	275	70	1,00	0,50	-	-	-	-	6	7,7E-07				
		Liten pölbrand	2,5E-05	275	70	1,00	0,10	33	17	0,00	0,00	1	3,1E-06				
5.1	1,4E-06	Stor explosion	7,3E-09	104	72	0,17	1,00	-	-	-	-	12	9,2E-10				
		Liten explosion	2,9E-08	55	57	0,17	1,00	-	-	-	-	12	3,7E-09				

Tabell 2b. Riskberäkningar för Planområdet.

Sammanställning av beräkningsresultat dagtid													Riskutredning Useberg DP2				2019-03-14	
Effektområde 1													Effektområde 2					
Klass	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{scen} /år, km	längd	bredd	F _{omk} , inne	F _{omk} , ute	längd	bredd	F _{omk} , inne	F _{omk} , ute	Om-komma	F _{scen} /år					
1.	2,6E-06	Massexplosion	1,4E-08	253	60	0,17	1,00	-	-	-	-	145	6,4E-09					
2.1	1,6E-05	Jet	2,5E-06	45	74	1,00	1,00	66	80	0,00	0,07	46	1,1E-06					
		Gasbrand M	2,0E-07	185	93	1,00	1,00	-	-	-	-	267	8,9E-08					
		Gasbrand KT	1,3E-07	10	50	1,00	1,00	-	-	-	-	5	5,7E-08					
		Gasbrand KL	9,5E-08	50	5	1,00	1,00	-	-	-	-	0	4,3E-08					
		Gasexplosion M	1,3E-07	252	126	1,00	1,00	-	-	-	-	575	6,0E-08					
		Gasexplosion KT	8,4E-08	66	66	1,00	1,00	-	-	-	-	55	3,8E-08					
		Gasexplosion KL	6,4E-08	66	33	1,00	1,00	-	-	-	-	6	2,9E-08					
		Bleve	1,3E-06	80	40	1,00	1,00	110	55	0,00	0,07	20	6,0E-07					
2.3	2,2E-07	Giftig gasmoln M	2,3E-08	70	35	0,10	1,00	120	60	0,03	0,30	6	1,0E-08					
		Giftig gasmoln KT	1,5E-08	25	135	0,10	1,00	75	220	0,03	0,30	20	6,6E-09					
		Giftig gasmoln KL	1,1E-08	135	13	0,10	1,00	220	38	0,03	0,30	3	5,0E-09					
3.	7,3E-04	Stor pölbrand	1,4E-05	48	24	1,00	1,00	-	-	-	-	0	6,4E-06					
		Liten pölbrand	5,7E-05	25	13	1,00	1,00	33	17	0,00	0,04	0	2,6E-05					
5.1	3,4E-06	Stor explosion	1,7E-08	131	60	0,17	1,00	-	-	-	-	75	7,7E-09					
		Liten explosion	6,8E-08	97	57	0,17	1,00	-	-	-	-	56	3,1E-08					
Sammanställning av beräkningsresultat nattetid													Riskutredning Useberg DP2				2019-03-14	
Effektområde 1													Effektområde 2					
Natt	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{scen} /år, km	längd	bredd	F _{omk} , inne	F _{omk} , ute	längd	bredd	F _{omk} , inne	F _{omk} , ute	Om-komma	F _{scen} /år					
1.	1,1E-06	Massexplosion	6,1E-09	253	60	0,17	1,00	-	-	-	-	111	2,7E-09					
2.1	6,8E-06	Jet	1,1E-06	45	74	1,00	1,00	66	80	0,00	0,07	44	4,7E-07					
		Gasbrand M	8,5E-08	185	93	1,00	1,00	-	-	-	-	259	3,8E-08					
		Gasbrand KT	5,4E-08	10	50	1,00	1,00	-	-	-	-	4	2,4E-08					
		Gasbrand KL	4,1E-08	50	5	1,00	1,00	-	-	-	-	0	1,8E-08					
		Gasexplosion M	5,7E-08	252	126	1,00	1,00	-	-	-	-	562	2,6E-08					
		Gasexplosion KT	3,6E-08	66	66	1,00	1,00	-	-	-	-	53	1,6E-08					
		Gasexplosion KL	2,7E-08	66	33	1,00	1,00	-	-	-	-	5	1,2E-08					
		Bleve	5,7E-07	80	40	1,00	1,00	110	55	0,00	0,07	18	2,6E-07					
2.3	9,4E-08	Giftig gasmoln M	9,9E-09	70	35	0,10	1,00	120	60	0,03	0,30	3	4,4E-09					
		Giftig gasmoln KT	6,3E-09	25	135	0,10	1,00	75	220	0,03	0,30	13	2,8E-09					
		Giftig gasmoln KL	4,7E-09	135	13	0,10	1,00	220	38	0,03	0,30	1	2,1E-09					
3.	3,1E-04	Stor pölbrand	6,1E-06	48	24	1,00	1,00	-	-	-	-	0	2,8E-06					
		Liten pölbrand	2,5E-05	25	13	1,00	1,00	33	17	0,00	0,04	0	1,1E-05					
5.1	1,4E-06	Stor explosion	7,3E-09	131	60	0,17	1,00	-	-	-	-	57	3,3E-09					
		Liten explosion	2,9E-08	97	57	0,17	1,00	-	-	-	-	42	1,3E-08					

4. Skyddseffekt brandklass EI30

I rapporten rekommenderas att brandklass EI30 skall gälla för stora delar av fasaden på byggnaderna som skydd för ett antal scenarier där brandfarliga gaser antänds. Brandklass EI 30 innebär att fasaden skall kunna motstå en standardbrandkurva enligt ISO 834 under 30 minuter. Dessutom innebär detta att fönster och dörrar inte skall kunna öppnas utan specialverktyg.

Eftersom brandförloppet vid en olycka med brandfarliga gaser avviker från standardbrandkurvan som är framtagen för rumsbränder görs här en bedömning av

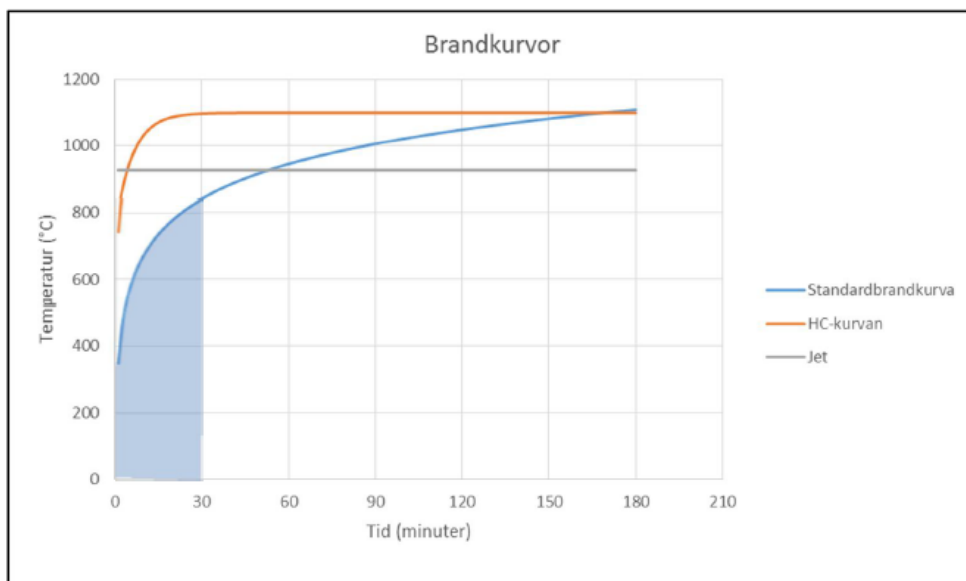
vilket skydd som kan förväntas vid de typer av gasbrand som kan vara aktuella vid en olycka på vägen.

Temperaturen och varaktighet

Temperaturen i en gasbrand beror till stor del på hur fullständig förbränningen är. Under sociometrisk förhållanden (exakt rätt blandning av luftens syre och bränsle som endast kan uppnås i ett laboratorium) kan temperaturen i en brand med propangas uppgå till nästan 2000 °C. Dessa förhållanden kommer inte att vara uppnådda vid en brand till följd av en olycka. Temperaturen bedöms ligga på ca 1200 K eller 923 °C (PGS2) vid verkliga förhållanden.

Varaktigheten av brandförloppen varierar mellan de olika scenarierna. För en BLEVE bedöms varaktigheten inte överskrida 20 sekunder. (PGS3). Även i scenarier med gasbrand bedöms förloppet vara snabbt. Scenario Jetflamma är mer svårbedömd. I scenariot antas att jetflamman riktas direkt mot fasaden vilket är ett konservativt antagande eftersom sannolikheten att jetflamman riktas bort från fasaden egentligen är större. Om jetflamman riktas direkt mot fasaden kan dock varaktigheten vara längre än de 20 sekunder som är aktuella vid de andra scenarierna. Detta scenario är därför dimensionerande.

För att bedöma hur länge en fasad i brandklass EI30 kan motstå en jetflamma används en som tagits fram för att kunna jämföra motståndskraften vid en verklig brand med en standarbrandkurva (Buchanan 2001). Metoden innebär att ytan under standarbrandkurvan för EI30 jämföras med en antagen brandkurva för en jetflamma. Detta ger en uppfattning om storleksordningen av tiden som en fasad i EI30 kan förväntas motstå påkänningen av en jetflamma. I *figur 16* jämförs standarbrandkurvan enligt ISO834 och EN 1363-1 med en antagen brandkurva för en jetflamma vid en olycka med temperatur 923 °C /(1200 K). Dessutom anges den sk hydrokarbonkurvan (HC-kurvan) som anger temperatursförloppet vid kolvätebränder enligt EN1363-2.



Figur 16. Standardbrandkurvan, antagen brandkurva för scenario Jet och HC-brandkurvan.

Den ljusblåa ytan under standardbrandkurvan under 30 minuter motsvarar ytan under ca 23 minuter av Jet-kurvan och 21 minuter av HC kurvan. Om det konservativa antagandet görs att Jet-kurvan ligger på maxvärdet för HC-kurvan (1100 °C) motsvarar detta 19 minuter.

Utifrån ovanstående dras slutsatsen att ett brandskydd EI30 kan förväntas utgöra ett bra skydd under mer än 15 minuter vid scenarier med olika former av bränder till följd av en olycka med brandfarliga gaser.

5. Referenser

- | | |
|---------------|--|
| Buchanan 2001 | Structural Design For Fire Safety, Andrew H Buchanan, Wiley 2001 |
| EAI 1997 | High explosive assessment model, 5th industrial version in SI units, Engineering Analysis Inc. 1997 |
| ERM 2008 | SAFEX-paper Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Link: An overview of the explosives aspects in a quantitative risk analysis for the road transport of cartridged emulsion explosives and accessories through a densely populated area. ERM-Hong Kong Ltd, 2008 |
| FEMA 2008 | Highway Vehicle Fires, Topic Fire Report Series Volume 9, Issue 1, FEMA September 2008 |
| FOA 1997 | Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, Försvarets Forskningsanstalt, september 1997 |
| FOA 2000 | Explosivämneskunskap, Institutionen för energetiska material, Försvarets Forskningsanstalt 2000 |
| NFPA 2010 | National Fire Protection Association, US Vehicle Fire Trends and Patterns, June 2010 |
| PGS2 2005 | Methods for the calculation of Physical Effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases), Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Committee for the Prevention of Disasters, 2005. |
| PGS3 2005 | Guidelines for quantitative risk assessment, Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Advisory Council in Dangerous Substances, 2005 |
| SRV 1996 | Farligt gods – Riskbedömning vid transport, Statens Räddningsverk, Risk- och miljöavdelningen 1996 |

SRV 2005	Dynamisk lastpåverkan – Referensbok, Statens Räddningsverk, Karlstad, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2005
SRV 2007	Bebyggelsens motståndsförmåga mot extrem dynamisk belastning, delrapport 1 Last av luftstöt våg, Statens Räddningsverk, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2007
USCB 2012	United States Census Bureau, Statistical Abstract of the United States: 2012
Vägverket 2008	Effektsamband för vägtransportsystemet. Nybyggnad och förbättring, Effektkatalog Kap 6 Trafiksäkerhet, Vägverket publikation 2008:11

Bilaga 2

Riskberäkningar för järnväg

Innehåll

1. Inledning farligt gods	2
1.1 Beräkningsmetod	2
1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar	5
2. Scenarierna farligt gods	9
2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.	9
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1	18
2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3.....	24
2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1.....	27
2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1.....	30
3. Beräkningsresultat farligt gods.....	35
4. Beräkningsmetod urspårning.....	36
5. Sannolikhetsberäkning urspårning.....	37
6. Konsekvenser urspårning	39
7. Referenser	40

1. Inledning farligt gods

1.1 Beräkningsmetod

1.1.1 Inledning

Riskberäkningsmetoden kan delas upp i fyra steg.

1. Beräkning av sannolikhet för olyckor med olika ämnen
2. Beräkning av sannolikhet av olika scenarier utifrån händelsesträd
3. Beräkning av konsekvenserna av dessa scenarier avseende antalet omkomna utomhus och inomhus
4. Sammanräkning av resultaten som individrisk och samhällsrisk

Alla beräkningar genomförs i excelblad. Dessa excelblad finns för insyn för myndigheterna och endast vissa utdrag publiceras här.

Sannolikheter och effektområdets storlek har, för klass 2.1, klass 2.3 och klass 3 tagits från den nederländska beräkningsmetoden RBMII som är en av den nederländska staten godkänd metod för riskberäkning vid transport av farligt gods utifrån de modeller som presenteras i den s.k. Gula Boken: Methods for the calculation of Physical Effect due to releases of hazardous materials (liquids and gases) (PGS2 2005) och Lila Boken: Guidelines for Quantitative Risk Assessment (PGS3 2005). En bra beskrivning av utgångspunkter och parameterar hittas i del 2 av PGS3 som behandlar riskanalys för transport av farligt gods.

För klass 1.1 och klass 5.1 anges mera i detalj hur sannolikheterna och effektområdets storlek har beräknats.

1.1.2 Sannolikhetsberäkning

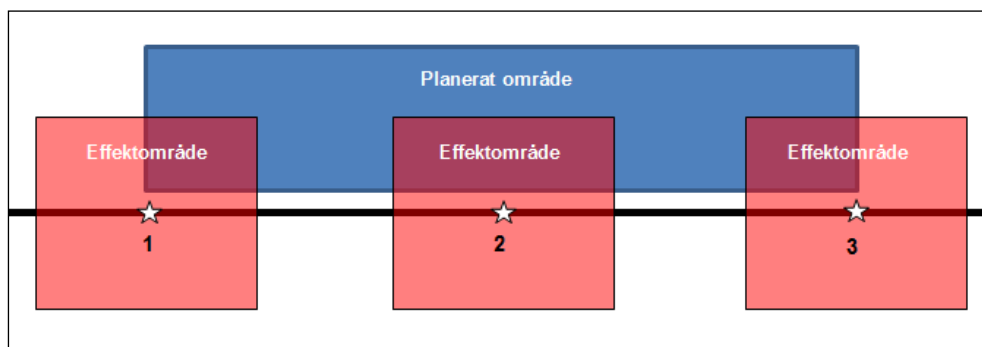
Olycksrisken för tåg beräknas enligt den av Banverket (numera en del av Trafikverket) angivna metod (Banverket 2001).

Antal transporter med olika klasser farligt gods ger sedan antalet olyckor med transporter av olika klasser farligt gods per kilometer. Beräkningsresultaten för dessa olyckor finns i *figur 4*. Att sannolikheten beräknas per kilometer beror på att sträckan som skall användas i sannolikhetsberäkningar varierar beroende på vilket scenario som är aktuellt.

Antal transporter med olika klasser farligt gods ger sedan antalet olyckor med transporter av olika klasser farligt gods per kilometer. Beräkningsresultaten för dessa olyckor finns i *figur 5*. Att sannolikheten beräknas per kilometer beror på att

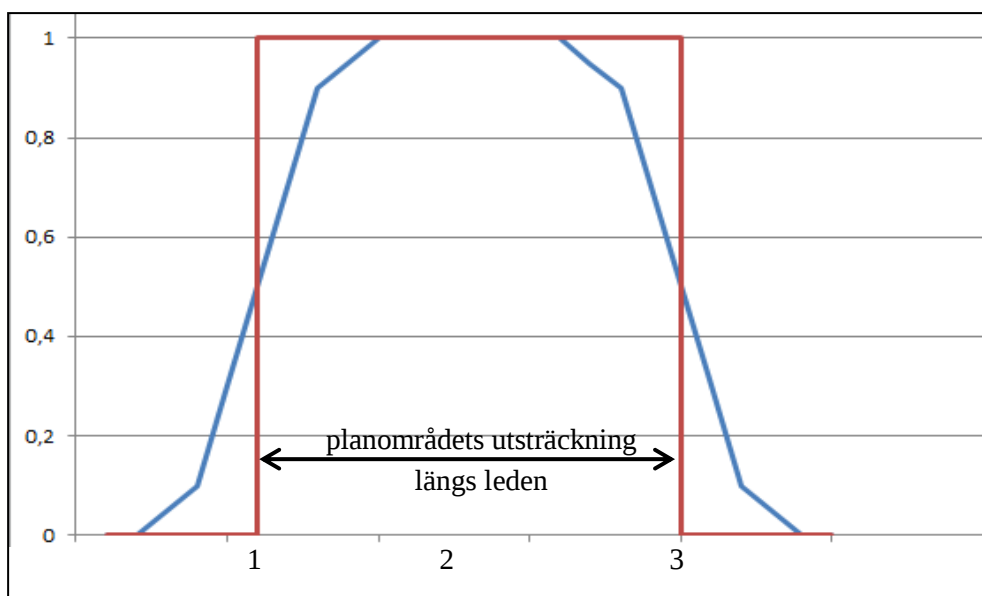
vägsträckan som skall användas i sannolikhetsberäkningar varierar beroende på vilket scenario som är aktuellt

För samhällsriskén förklaras detta i *figur 1 till 3* nedan.



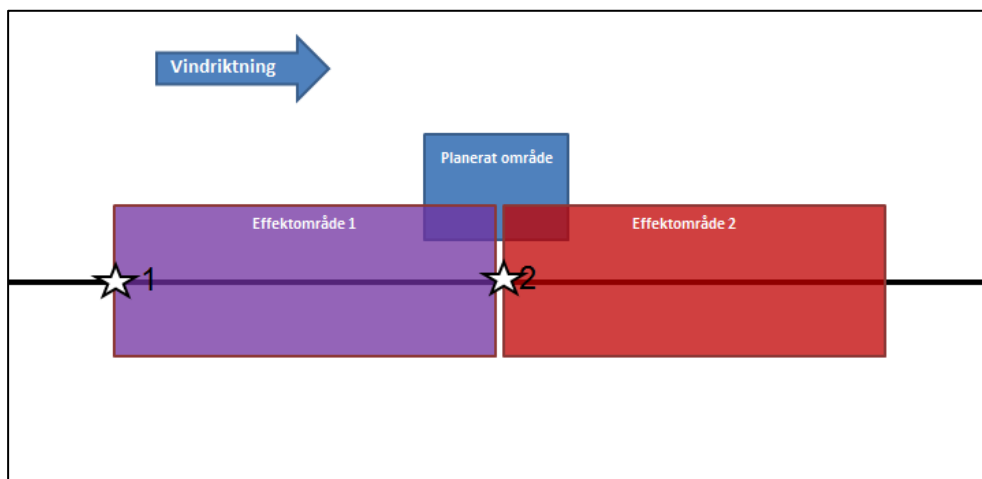
Figur 1. Tre olika lägen för en olycka med farligt gods med effektområde mindre än det planerade området..

Tre lägen för olyckor visas. I läge 1 drabbas området av halva effekten, i läge 2 av hela effekten och läge 3 åter av halva effekten. Till vänster om läge 1 och till höger om läge 3 drabbas området av mindre än halva effekten. Detta förenklas till att området drabbas av hela effekten (som i olycksplats 2) för alla olyckslägen mellan 1 och 3. Olyckor utanför denna sträcka tas däremot inte med i beräkningen. Approximationen förtydligas i *figur 2* nedan.



Figur 2. Förenkling av effekten av olyckor med farligt gods.

Om effektområdets längd utmed leden är större än planområdets längd utmed leden så är det effektområdets längd som är utgångspunkten. Detta visas i *figur 3* som visar effektområdet för exempelvis ett gasmoln som blåses av vinden längs med vägen. Om olyckan sker mellan läge 1 och läge 2 så antas området drabbas av effekten. Avståndet är lika med effektområdets utsträckning längs leden.



Figur 3. Två olika lägen (lila resp röda effektområdet) för en olycka med farligt gods (gas i detta fall) med effektområde större än det planerade området.

Vid individriskberäkningar bestäms sannolikheten för olyckor alltid av effektområdenas utsträckning längs leden.

Sannolikheten att en olycka leder till ett utsläpp av betydelse (>100 kg) för klass 2.1, 2.3, 3 och 5.1 har tagits från RBMII.

Händelseträden för klass 1.1 och klass 5.1 förklaras i nästa kapitel vid aktuella scenarier

Händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 har tagits från RBMII. Programmet skiljer på sannolikheten för olika händelseförlopp beroende på om tågets hastighet är större eller mindre än 40 km/h. Därför presenteras två händelseträd för var och en av klasserna 2.1, 2.3 och 3. Även i händelseträden för klass 1.1 och 5.1 används uppgifter från RBMII så även där presenteras händelseträd för hastigheter större och mindre än 40 km/h.

1.1.3 Konsekvenser

Konsekvenserna beräknas med hjälp av effektområden för scenarier för ämnen i klass 2.2, 2.3 och 3. För ämnen i klass 1.1 och 5.1 används en något annorlunda metod som förklaras vid dessa scenarier.

Effektområden har tagits från den nederländska metoden RBMII som är föreskriven metod i Nederländerna vid denna sorts beräkningar. Effektområden har förenklats till att vara rektangulära. Storleken på dessa effektområden är generellt något större än på de effektområden som används i RBMII vilket leder till mera konservativa beräkningar.

I vissa fall finns det skäl att använda två effektområden i ett scenario. Detta är fallet då effekten av olyckan endast avklingar långsamt som exempelvis för olyckor med giftiga gaser i klass 2.3. För många scenarier avklingar effekten ganska snabbt från att alla omkommer till att nästan inga omkommer. I dessa fall används endast ett effektområde vars storlek har utökats för att även täcka de delar där endast en del av de närvarande omkommer.

Vindens påverkan tas med för de effekter som beror på vindriktningen. Alla vindriktningar mot området samlas till en vindriktning lodrätt från leden mot området. Vindriktningar längs leden beaktas också då vissa scenarier ger plymer längs leden som påverkar närmast leden.

Antalet omkomna i ett scenario beräknas utifrån ytan på området där scenariot påverkar, antal personer som befinner sig ute och inne inom detta område samt andelen av dessa som omkommer.

1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar

Olycksrisken för tåg beräknas enligt den av Banverket (numera en del av Trafikverket) angivna metod (Banverket 2001). Resultaten av beräkningen av olycksrisk per kilometer och år för de olika klasser farligt gods framgår av *figur 4*. Transporter av gods på järnvägen sker i stor utsträckning på natten då det finns bättre utrymme på banan pga. färre persontransporter. Utifrån en tidigare undersökning av fördelningen av godstransporter på Västra Stambanan antas att 25 % av godset transporteras dagtid och 75 % nattetid.

I *figur 5* framgår beräkningarna av persontäthet för planområdet.

Ingångsdata 1(2)		Uppdragsnamn: Riskanalys Liseberg DP 2		2019-04-17	
Beräkning av olycksfrekvens enligt Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Banverket 2001:5					
Ingångsdata					
Sträcka	1	km	Färgernas betydelse: Fylls i Standard Beräknas		
Vagnaxel/vagn	2,75				
Tåglängd	104	m			
Vagnlängd	20	m			
Godståg/dag	8				
Persontåg/dag	220				
Pendeltåg/dag	0				
Antal vagnar/tåg	5,2				
Antal tåg/dag	228				
Antal tåg/år	83220				
Antal tåg/v	1600				
Antal växlar	1				
Plankorsn. bommar	0				
Plankorsn. ljus	0				
Plankorsn. Kryss	0				
Vagnaxelkm/år	1,2E+06				
Vagnkm	4,3E+05				
Beräkning olycksrisken					
		Intensitet		Frekvens	
Orsak	Parameter	Spårklass A	Spårkl. B o C	Spårklass A	Spårkl. B o C
Rälsbrott	Vagnaxelkm	5,0E-11	1,0E-10	6,0E-05	1,2E-04
Solkurva	Spårkm	1,0E-05	2,0E-04	1,0E-05	2,0E-04
Spårlägesfel	Vagnaxelkm	4,0E-10	4,0E-10	4,8E-04	4,8E-04
Växel sliten	Antal tågpassager	5,0E-09	5,0E-09	4,2E-04	4,2E-04
Växel ur kontroll	Antal tågpassager	7,0E-08	7,0E-08	5,8E-03	5,8E-03
Vagnfel	Vagnaxelkm	3,1E-09	3,1E-09	3,7E-03	3,7E-03
Lastförskjutning	Vagnaxelkm	4,0E-10	4,0E-10	4,8E-04	4,8E-04
Plankorsn. bommar	Antal tågpassager	5,0E-08	5,0E-08	0,0E+00	0,0E+00
Plankorsn. ljus	Antal tågpassager	1,5E-08	1,5E-08	0,0E+00	0,0E+00
Plankorsn. Kryss	Antal tågpassager	2,0E-08	2,0E-08	0,0E+00	0,0E+00
Annan/okänd	Tågkm	2,0E-07	2,0E-07	1,6E-02	1,6E-02
Summa	Olyckor per år/km			2,7E-02	2,8E-02
Antal tågkm/år				8,3E+04	8,3E+04
Olyckor per tågkm, år				3,3E-07	3,3E-07
Antal vagnkm/år				4,3E+05	4,3E+05
Olyckor per vagnkm, år				6,3E-08	6,4E-08

Figur 4. Ingångsvärden för parkeringshuset med centrumverksamhet i riskberäkningarna.

Ingångsdata 2(2)

Riskanalys Liseberg DP 2

2019-04-17

Beräkning olycksrisken per klass, dag tid och nattetid

	antal vagnar totalt	antal vagnar dagtid/år	olycksrisk dagtid/km ,år	antal vagnar natt/år	olycksrisk natt/km,år
Klass 1, massexplosiv	1,0	0,3	1,6E-08	0,8	4,7E-08
Klass 2.1	500	125,0	7,9E-06	375,0	2,4E-05
Klass 2.3	480	120,0	7,6E-06	360,0	2,3E-05
Klass 3, bensin	970	242,5	1,5E-05	727,5	4,6E-05
Klass 5.1, explosionsrisk	560	140,0	8,8E-06	420,0	2,6E-05

Beräkning antal vagnar med mkt brandfarliga vätskor per godståg

antal godståg	2920
andel m bensinvagnar	33%

Områdesinfo

Områdets storlek

	Inne	Ute	
Planområdets avstånd le	24	14	m
Planområdets bredd	150	150	m
Planområdets längd	200	200	m

Befolkningstäthet

	Dag	
	Inne	Ute
Befolkning inne +ute	820	personer
Andel inne/ute	93%	7%
Befolkning	762,6	57,4 personer
Befolkningstäthet	2,5E-02	1,9E-03 pers/m2

	Natt	
	Inne	Ute
Befolkning inne +ute	1340	personer
Andel inne/ute	99%	1%
Befolkning	1326,6	13,4 personer
Befolkningstäthet	4,4E-02	4,5E-04 pers/m2

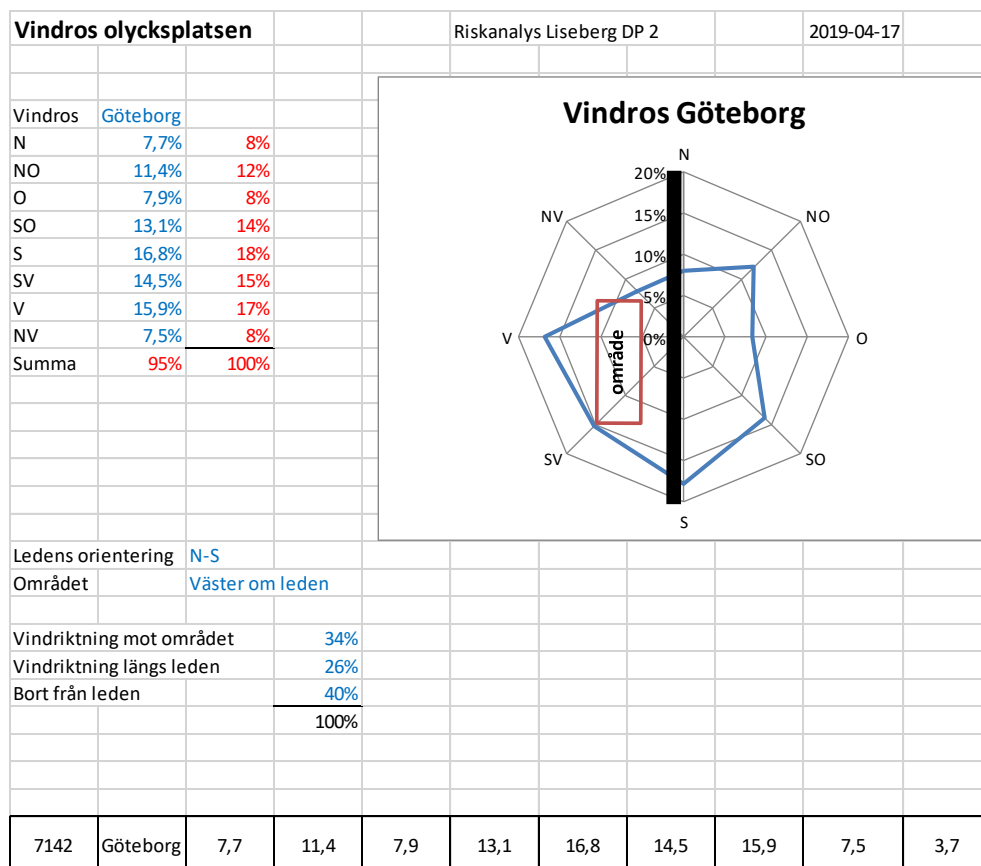
	Dag	Natt
Antal personer första raden totalt	615	1005

	Dag	
	Inne	Ute
Andel i %	93%	7%
Antal personer 1:a rad	572,0	43,1

	Natt	
	Inne	Ute
Andel i %	99%	1%
Antal personer 1:a rad	995,0	10,1

Figur 5. Ingångsvärden för parkeringshuset med centrumverksamhet i riskberäkningarna.

I figur 6 visas vindrosen som används vid beräkningar av vissa scenarier med gasutsläpp. Beräkningen av andelen av tiden som vinden kan föra gasen mot området respektive längs järnvägen framgår.



Figur 6. Vindros för Liseberg

2. Scenarierna farligt gods

Här ges en generell beskrivning av scenarierna som kan leda till betydande konsekvenser för området utifrån de klasser farligt gods som kan komma att transporteras, *se rapporten*.

2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.

2.1.1 Sannolikheter

Sannolikheten per vagnkilometer för en olycka med massexplosiva sprängämnen framgår av *figur 5*.

Vid en olycka finns olika utfall som här förenklas till följande:

- ingen brand eller explosion,
- explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan,
- brand i fordon som inte leder till explosion,
- brand i fordon som leder till explosion.

Sannolikhet för explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan

Sprängämnen som transporteras antas vara av emulsionstyp som är den typen som huvudsakligen används inom gruvindustrin. Ett antal studier har rapporterats (ERM 2008, FOA 2000) som visar att den hastighet som krävs för att en stöt skall leda till explosion av sprängämnet är jämförbara med typiska hastigheter för kulor från skjutvapen (500 m/s dvs. 1800 km/t). Vid förhöjda temperaturer sänks visserligen denna hastighet men ligger fortfarande vida över vad som förekommer vid en olycka.

Tidigare studier har visat att den kritiska hastigheten för att en projektil skall leda till en explosion för ett emulsionssprängämne är några tiotals gånger större än för dynamit. En studie med fallvikter på nitroglycerinbaserade sprängämnen har visat att sannolikheten för antändning låg under 0,1 %. I studien simulerades den stöten som skulle orsakas av ett fall på 12 m.

Sammantaget bedöms det att sannolikheten för detonation på grund av stöt vid en olycka med emulsionssprängämnen ligger under 0,1 %. Detta värde kommer att användas vid sannolikhetsberäkningarna.

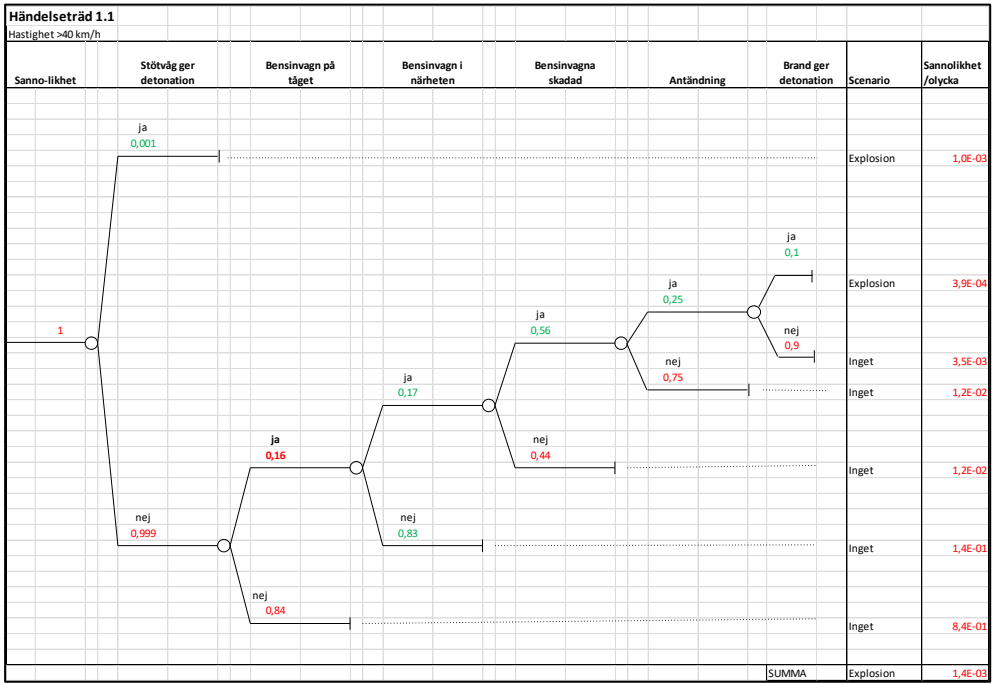
Sannolikhet för detonation på grund av brand

Sannolikheten för brand beräknas enligt följande.

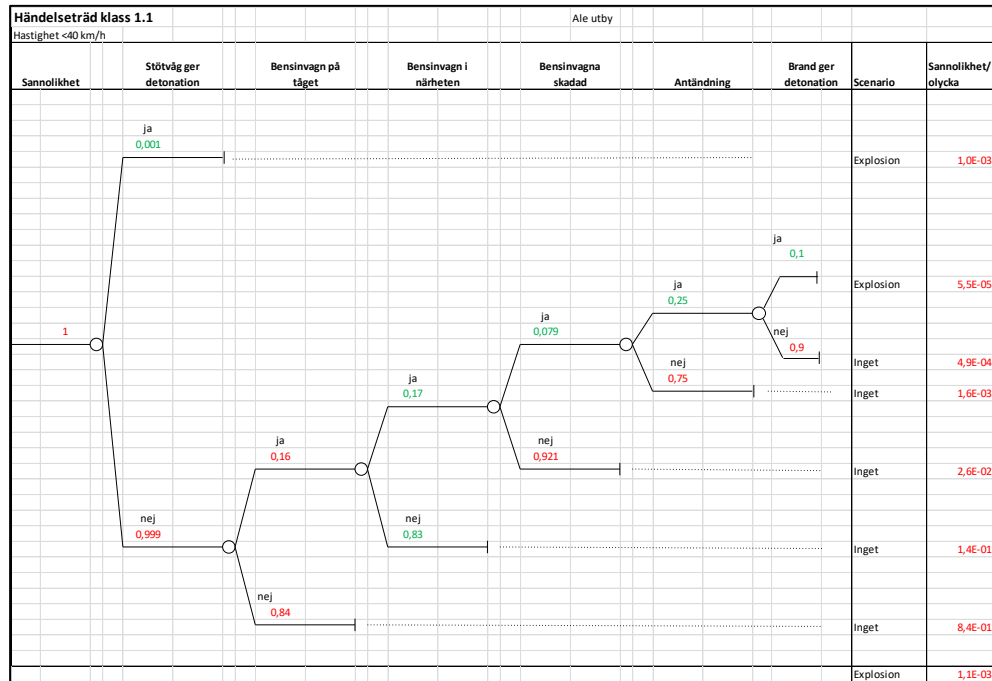
- 1. Det måste finnas en tankvagn med bensen eller annan mycket brandfarlig vätska med på tåget.
- 2. Vagnen måste befinna sig nära vagnen med sprängämnen, högst en vagn emellan
- 3. Vagnen med mycket brandfarlig vätska måste ha en skada som leder till ett betydande utsläpp
- 4. Vätskan måste antändas

Sannolikheten för detta framgår av händelseträden i *figur 7 och 8* nedan.
Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankvagnar i RBMII.

Sannolikheten att en brand leder till detonation av sprängämnet uppskattas grovt till 10 %. Händelseträdet för hela händelseförloppet vid olycka med sprängämnen visas i *figur 7* för tåghastigheter över 40 km/h och i *figur 8* för tåghastigheter under 40 km/h.



Figur 7. Händelseträd för olycka med sprängämnen, klass 1.1, tåghastigheter över 40 km/h.



Figur 8. Händelseträd för olycka med sprängämnen, klass 1.1, tågastigheter under 40 km/h.

Sannolikheten för att en vagn med mycket brandfarliga vätskor skall vara med på tåget tas från ingångsdaten i figur 5. (I figur 7 och 8 anges ett värde från ett tidigare projekt, det aktuella värdet har dock använts i beräkningarna.)

Resultaten av sannolikhetsberäkningar för fallet en masseexplosion på grund av en olycka med en sprängämnestransport visas i tabell 2, avsnitt 3.

2.1.2 Konsekvenser

Explosionslast

Vid beräkning av explosionslast utgår från en explosion av 25 ton TNT.

Explosionens övertryck och impuls har beräknats nedan. De reflekterade värdena är aktuella när explosionen träffar en yta som är riktat vinkelrät mot explosionen. De oreflekterade värdena gäller för ytor som är riktade i samma riktning som explosionen.

Explosionsstyrkan beräknas med hjälp av figur 9 som tagits från rapporten Dynamisk lastpåverkan – Referensbok (SRV 2005). För en närmare förklaring av beräkningsmetoden hänvisas till denna rapport.

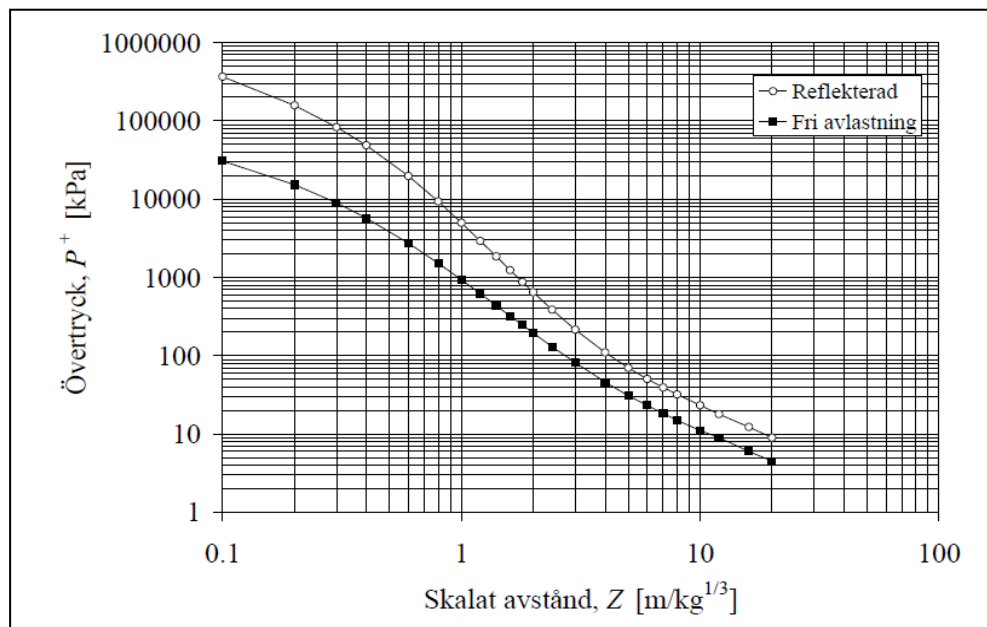
Z är det ska skalade avståndet enligt nedan

$$Z = \frac{R}{M^{1/3}}$$

R = avstånd från explosionscentrum (m)

M = mängd sprängämne i explosionen (kg)

Figur 9 ger övertrycket p_+



Figur 9 Reflekterat och oreflekterat övertryck som funktion av det skalade avståndet Z (från SRV 2007).

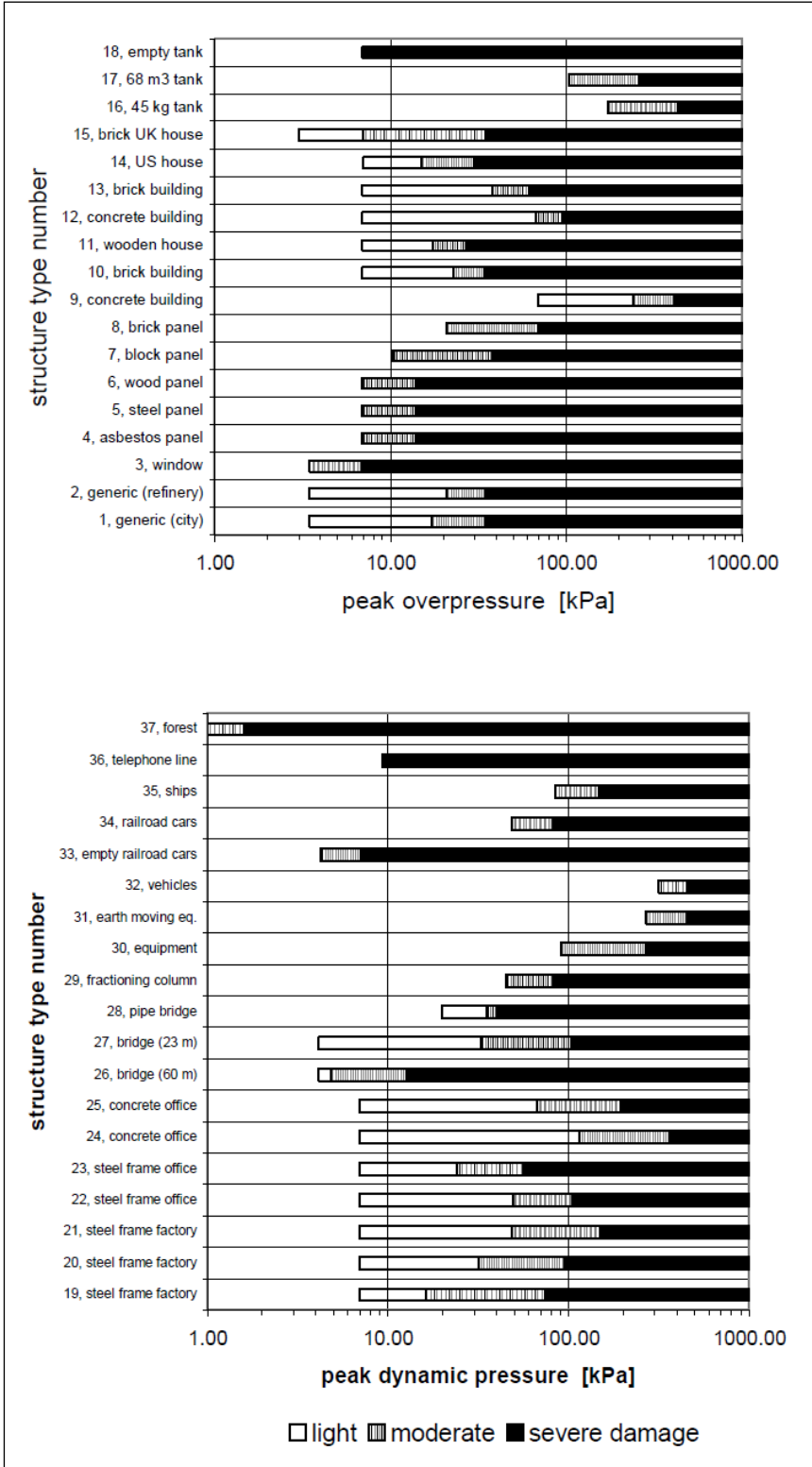
Resultaten visas i *tabell 1*.

Tabell 1. Explosionstryck som funktion av avståndet till explosionscentrum.

M (kg)		12500	25000
$M^{1/3}$ ($\text{kg}^{1/3}$)		23,2	29,2
Z	p^+		
$\text{m}/\text{kg}^{1/3}$	kPa	avstånd (m)	avstånd (m)
1	900	23	29
2	200	46	58
2,5	120	58	73
3	80	70	88
4	45	93	117
5	33	116	146
5,2	30	121	152
6	23	139	175
6,9	20	160	202
7,9	15	183	231

Skador på bebyggelsen

Enligt amerikanska undersökningar (EAI 1997) rasar vanliga hus vid ett övertryck (p^+) på 25-35 kPa medan en vanlig stadsbebyggelse bedöms få allvarliga skador vid ungefär samma övertryck, se *figur 10 och 11*. Detta tryck uppnås enligt *tabell 1* ungefär 146 m från platsen för explosionen vid en explosion av 25 ton TNT. (För en explosion med 12,5 ton TNT, se avsnitt 2.5 Scenarier med oxiderande ämnen, ämnen, är detta avstånd ca 116 m.)



Figur 10 Övertryck som leder till raserade byggnader mm.

Type	Description of structure
1	city
2	refinery
3	glass windows, large and small
4	corrugated asbestos siding
5	corrugated steel or aluminum panelling
6	wood siding panels, standard house construction
7	concrete or cinder-block wall panels, 8" or 12" thick (not reinforced)
8	brick wall panel, 8" or 12" thick (not reinforced)
9	blast-resistant reinforced concrete windowless building
10	multi-storey wall-bearing building, brick apartment house type, up to three storeys
11	wood-frame house
12	multi-storey reinforced concrete building with concrete walls, small window area, three to eight storeys
13	multi-storey wall-bearing building, monumental type, up to four storeys
14	typical American-style house
15	typical brick-built English house
16	45 kg LPG tank
17	68000-litre LPG bulk gas plant
18	floating- or conical roof tanks, empty
19	light steel frame industrial building, single storey, with up to 5-ton crane capacity, low strength walls which fail quickly
20	heavy steel frame industrial building, single storey, with 25- to 50-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
21	heavy steel frame industrial building, single storey, with 60- to 100-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
22	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant design
23	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant design
24	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant construction.
25	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant construction.
26	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 200 ft (60 m)
27	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 75 ft (23 m)
28	pipe bridge
29	fractioning column
30	truck-mounted engineering equipment (unprotected)
31	earth-moving engineering equipment (unprotected)
32	transportation vehicles
33	unloaded railroad cars
34	loaded boxcars, flatcars, full tank cars, and gondola cars (side-on orientation)
35	merchant shipping
36	telephone lines (transverse)
37	average deciduous forest stand

Figur 11. Beskrivning av byggnadstyper mm i figur 10.

Sammantaget antas att byggnader närmast järnvägen får allvarliga skador inom 160 m från explosionen. Bebyggelsen bakom skyddas i stor utsträckning av husen framför och antas inte få lika betydande skador.

Storleken av området längs vägen där husen rasar beräknas utifrån husens avstånd till vägen och Pythagoras sats.

Inom området där husen skadas allvarligt antas att husens raszon sträcker sig in mot ungefär halva huset och att det i raszonen omkommer cirka en tredjedel av de personer som vistas där (FOA 1997). Detta innebär att cirka en sjättedel av de boende inom detta område antas omkomma vid en explosion med sprängämnen.

Antalet omkomna beräknas utifrån antal i husraden närmast vägen, resultaten visas i *tabell 2*.

Skador utomhus

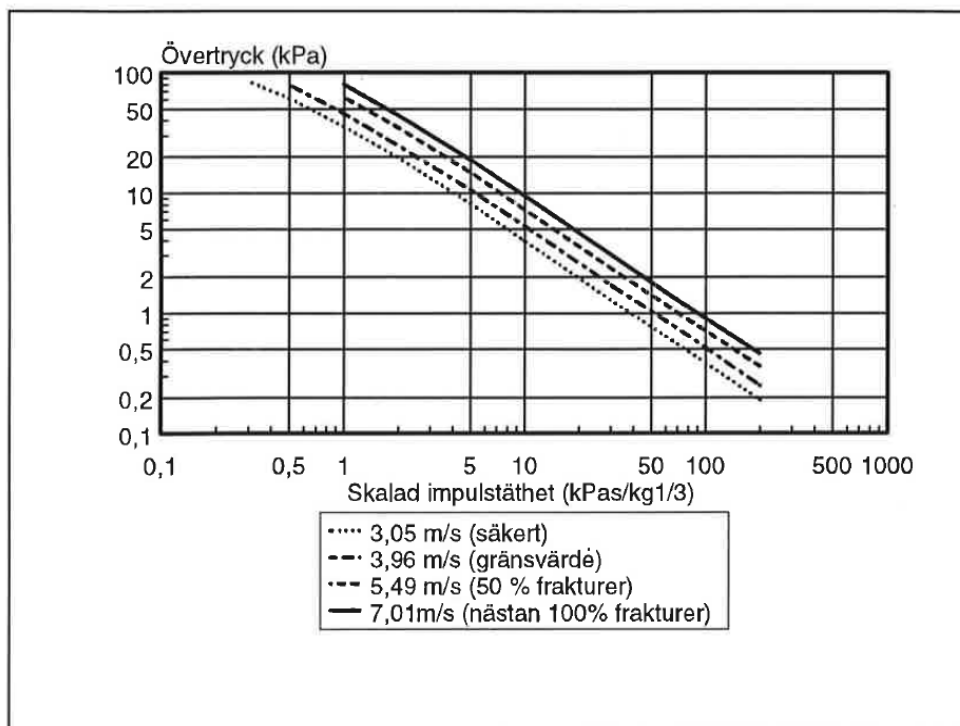
Direkta skador pga. tryck

Människan tål tryck relativt bra. Gränsen för lungskador anges vara ca 70 kPa, döda på grund av lungskador förväntas vid 180 kPa och 50 % omkomna vid 260 kPa. Detta innebär att inga omkomna förväntas pga. lungskador på ett avstånd på mer än 50 m från explosionen. (FOA 1997)

Indirekta skador

Indirekta skador kan uppstå genom att någon kastas mot något hårt föremål av tryckvågen eller att personer träffas av nedfallande byggnadsdelar.

Som skademått för skador pga. att någon kastas av tryckvågen tas skallskador. Enligt FOA får en person med kroppsvikt 70 kg skallfraktur på ca 50 m från explosionen, se *figur 12* och *tabell 1*. På 75 m har sannolikheten avtagit till 50 % och minskar till 10 % på ca 90 m.



Figur 12. Kombinationer av övertryck och skalad impulstäthet som ger allvarliga skador vid slag mot huvudet (från FOA 1997).

Personer utomhus kan även omkomma av fallande byggnadsdelar eller splitter och vi antar därför att alla personer som befinner sig kring hus som förväntas rasera omkommer i explosionen.

En gynnsam omständighet som inte beaktats i detta scenario är att det kommer att ta tid innan en brand i ett fordon med sprängämnen sprider sig till lasten och ger upphov till en explosion. Under denna tidsperiod finns möjligheter att evakueras personer från området. Praktiska erfarenheter från olyckor med sprängämnen visar att evakueringen ofta har kunnat genomföras och lett till en reduktion av antalet omkomna.

Det här beskrivna scenariot ger därför konservativa värden för det förväntade antalet omkomna.

Individrisk

En person antas omkomma om han befinner sig i området kring den bebyggelse som kommer att rasa vid en massexplosion. Avståndet beror på avståndet mellan transportleden och husen och husens bredd, som default används 30 m för detta.

Sannolikheten beräknas med att explosionen måste ske på de 250 m av vägen som är närmast individen.

Samhällsrisk

Sannolikheten för en person att omkomma inomhus är 17 % i de hus som antas rasa vid massexlosionen, dvs de som ligger inom 125 m från olycksplatsen. Alla personer som befinner sig utomhus kring husen antas omkomma, se avsnittet om individrisk.

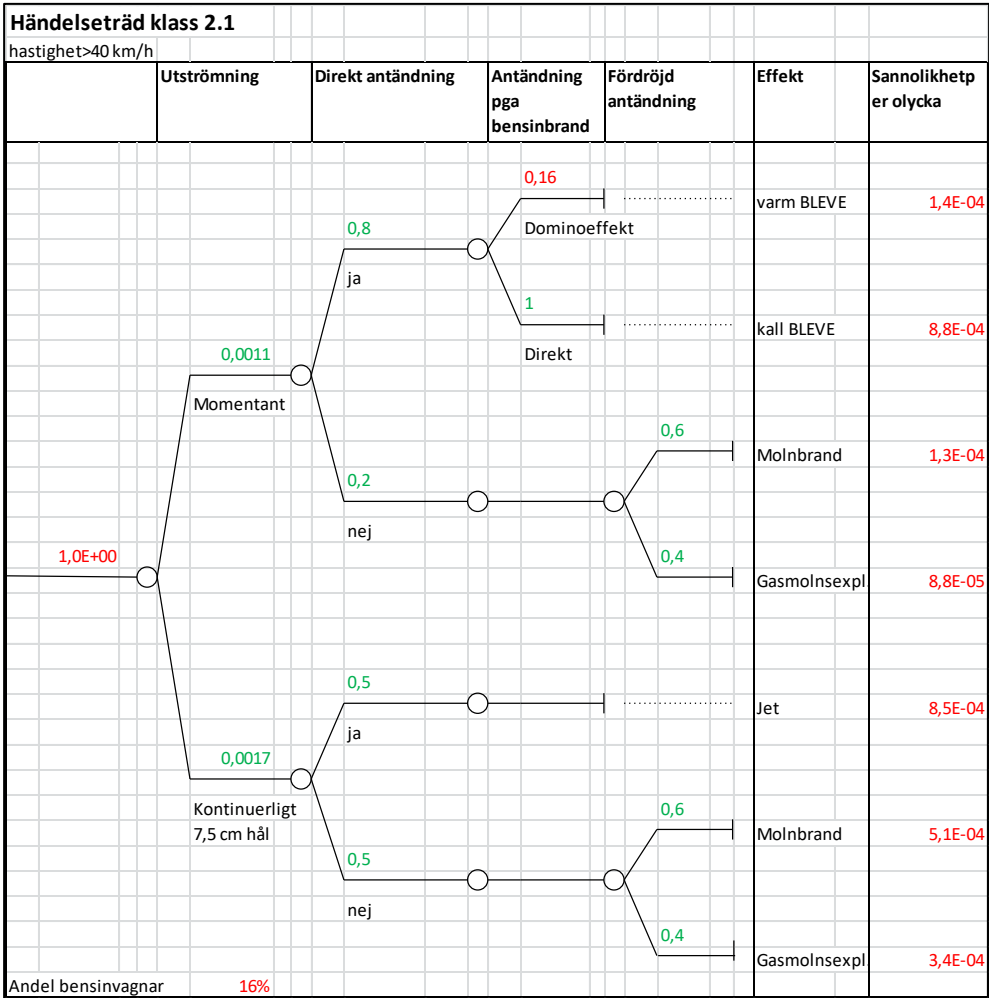
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med brandfarliga gaser per kilometer järnväg har beräknats på samma sätt som för massexplösiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 4*.

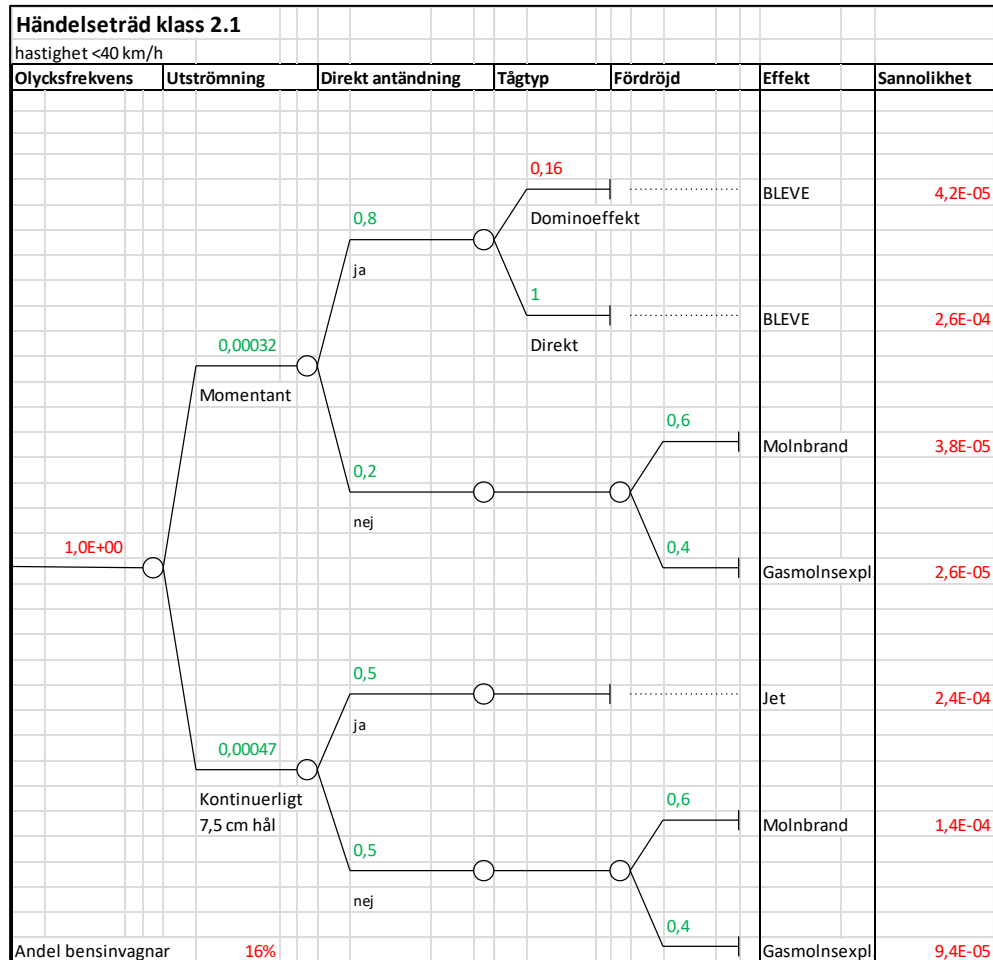
2.2.1 Scenario Jetflamma

I detta scenario uppstår ett hål på 7,5 cm i tanken på tankvagnen med komprimerad brandfarlig gas. Gasen sprutar ut och antänds vilket leder till en låga som sträcker sig från olycksplatsen in mot området. Inom ett område av 70x90 m (längs vägen x in mot området) förväntas alla omkomma. Utomhus på grund av att människorna hamnar i eller nära lågan, inomhus då byggnaden fattar eld och brinner ner.

Av händelseträden för brandfarliga gaser, *figur 14 och 15*, framgår att sannolikheten för scenario Jetflamma vid en olycka med brandfarlig gas med betydande utströmning är lika med $8,5 \times 10^{-4}$ vid tåghastigheter över 40 km/h och $2,4 \times 10^{-4}$ vid lägre hastigheter.



Figur 14. Händelseträd olycka med brandfarlig gas, tåghastighet över 40 km/h



Figur 15. Händelseträd olycka med brandfarlig gas, tåghastighet under 40 km/h

Individrisk

En individ omkommer om olyckan sker på de närmaste 70 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 90 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inom ett område på 70 m längs vägen och 90 m in från vägen antas omkomma, såväl inomhus som utomhus.

2.2.2 Scenario Gasbrand vid momentant utsläpp, Gasbrand M

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds.

Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, eller som en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion. Detta är scenario Gasbrand M respektive Gasexplosion M. För dessa scenarier spelar vindriktningen en mindre roll på grund av den stora mängden gas som expanderar och antänds snabbt. För scenario Gasbrand M antas gasmolnet ha sitt centrum på olycksplatsen och en storlek av 260x260 m. Inom ett område av 260x130 m (längs vägen x in mot området) omkommer alla ute och inne. Effektområdet har valts med marginal så att det även tas hänsyn till att gasmolnet förflyttar sig i viss mån med vinden innan det antänds.

Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 14 och 15* och är lika med $1,3 \times 10^{-4}$ vid hastigheter över 40 km/h och $3,8 \times 10^{-5}$ vid lägre hastigheter.

Individerisk

En individ omkommer vid detta scenario om han/hon befinner sig inom det brinnande molnet, dvs om olyckan händer inom 260 m från personen och om personen står på ett avstånd mindre än 130 m från järnvägen.

Samhällsrisk

Personer som vistas inne i det brinnande gasmolnet antas omkomma, inne såväl som ute.

2.2.3 Scenario Gasbrand vid kontinuerligt utsläpp, Gasbrand KT och KL

I detta scenario uppstår ett hål på 7,5 cm i tanken på samma sätt som i scenario Jetflamma. Den brandfarliga gasen antänds inte direkt men sprids med vinden från olycksplatsen. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds. Molnets utsträckning är då 70 x 10 m i vindriktningen. Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, scenario Gasbrand K, eller till en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion, detta är scenario Gasexplosion K.

Vid Scenario Gasbrand K antas alla som vistas i det brinnande molnet omkomma, såväl inomhus som utomhus.

Sannolikheten för Scenario Gasbrand K vid en olycka framgår av händelseträdet i *figur 14 och 15* och är lika med $5,1 \times 10^{-4}$ vid hastigheter över 40 km/h och $1,4 \times 10^{-4}$ vid hastigheter under 40 km/h när en olycka sker med utsläpp av brandfarlig gas.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 6*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området, detta är scenario Gasbrand KT. Blåser vinden i banans riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasbrand KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasbrand KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 10 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 70 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 70 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 5 m från leden

Samhällsrisk

I scenario Gasbrand KT antas personer omkomma inom ett område med längd 10 m längs leden och bredd 70 m in från vägen.

I scenario Gasbrand KL antas personer omkomma inom ett område med längd 70 m längs leden och bredd 5 m in från vägen.

2.2.4 Scenario Gasexplosion vid momentant utsläpp, Gasexplosion M

Detta är samma som scenario Gasbrand M, med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns explosionsartat. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar vid en gasexplosion inom ett område på 330 x 330 m, centrum för explosionen antas ligga på leden.

Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med en tågagn med brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 14 och 15* och är lika med $8,8 \times 10^{-5}$ för tåghastigheter över 40 km/h och $2,6 \times 10^{-5}$ vid lägre hastigheter.

Individrisk

I scenario Gasexplosion M omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 330 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 165 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inomhus eller utomhus inom ett område med längd 330 m längs leden och bredd 165 m från vägen antas omkomma. Inom ett område utanför detta område med längd 650 m och bredd 325 m antas 3 % av de som befinner sig inomhus omkomma.

2.2.5 Scenario Gasexplosion vid kontinuerlig utsläpp, Gasexplosion KT och KL

Dessa scenarier är detsamma som scenario Gasbrand KT och KL med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns snabbare vilket leder till en gasexplosion. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar i ett område av 95x95 m. Sannolikheten för detta per olycka med en tankvagn med brandfarlig gas är enligt händelseträden i *figur 14 och 15* lika med $3,4 \times 10^{-4}$ vid hastigheter över 40 km/h och $9,4 \times 10^{-5}$ vid lägre hastigheter.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 6*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området, detta är scenario Gasexplosion KT. Centrum för explosionen antas då ligga 48 m från järnvägen så att hela effektområdet ligger vid sidan om vägen.

Blåser vinden i banans riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasexplosion KL. Centrum för explosionen antas ligga på banan men mitt framför området. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasexplosion KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 95 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 95 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 98 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 48 m från leden.

Samhällsrisk

I scenario Gasexplosion KT antas personer inomhus och utomhus omkomma inom ett område med längd 95 m längs leden och bredd 95 m in från vägen.

I scenario Gasexplosion KL antas personer omkomma inom ett område med längd 95 m längs leden och bredd 48 m in från vägen inomhus och utomhus.

2.2.6 Scenario BLEVE

Vid en BLEVE havererar tanken brandfarlig gas vilket leder till ett momentant utsläpp som antänds direkt. Detta kallas en BLEVE. Orsaken kan vara krafterna vid själva olyckan eller att en brand har uppstått som leder till att tanken hettas upp till trycket blir så stort att den exploderar. En BLEVE leder till att personer omkommer inom ett område av 140x140 m. BLEVE:ns centrum ligger på olycksplatsen. Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med en tankvagn för brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 14 och 15* och är lika med $(1,4+8,8) \times 10^{-4} = 1,0 \times 10^{-3}$ vid tåghastigheter över 40 km/h. vid hastigheter under 40 km/h är sannolikheten lika med $3,0 \times 10^{-4}$.

Individrisk

En person förväntas omkomma inom ett område med längd 140 m längs leden och bredd 70 m in från vägen.

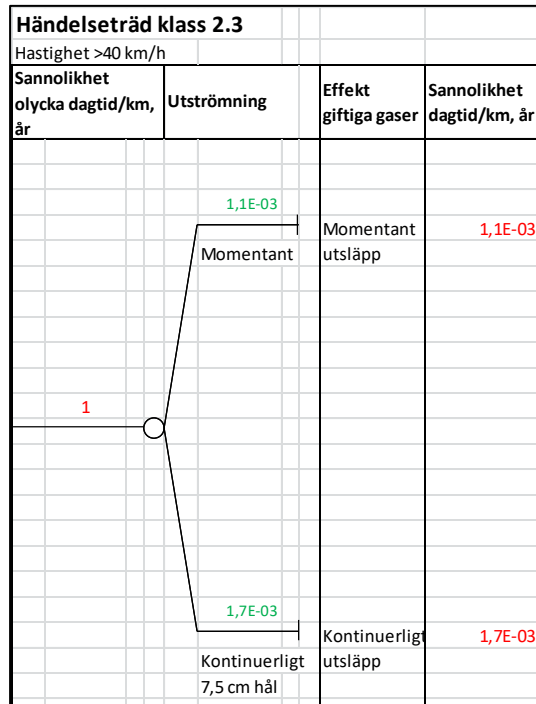
Samhällsrisk

I scenario BLEVE antas personer omkomma inom ett område med längd 140 m längs leden och bredd 70 m in från vägen inomhus och utomhus.

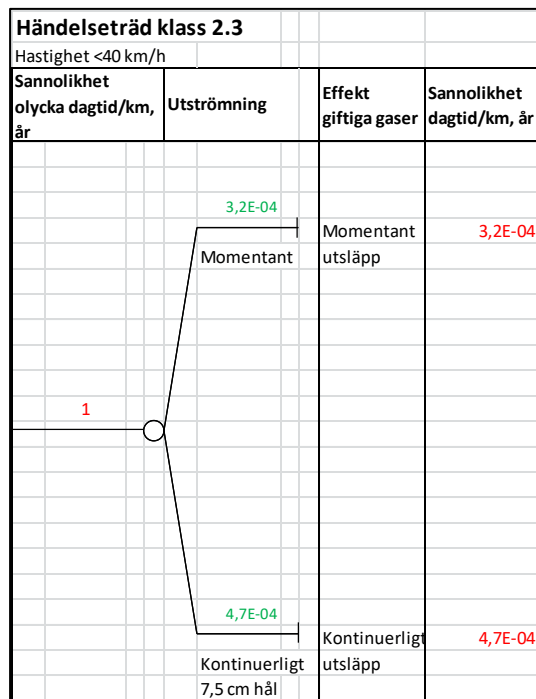
2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med giftiga gaser per kilometer transportled har beräknats på samma sätt som för massexplosiva ämnen i *tidigare avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 5*.

Händelseträden för scenarier med giftiga gaser framgår i *figur 16 och 17* nedan.



Figur 16. Händelseträd för olycka med giftiga gaser, tåghastigheter över 40 km/h



Figur 17. Händelseträd för olycka med giftiga gaser, tåghastigheter under 40 km/h

2.3.1 Scenario Gasmoln M

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. På grund av det snabba händelseförloppet bedöms vindriktningen spela mindre roll.

Effektområdena har dock anpassats för att ta hänsyn till spridning med vinden i olika riktningar. Storleken av effektområde 1 bedöms vara 100x100 m med centrum på olycksplatsen. Effektområde 2 har storlek 114x114 m.

Sannolikhet för scenariot per olycka framgår av händelseträdet i *figur 16 och 17* och är lika med $1,1 \times 10^{-3}$ vid tåghastigheter över 40 km/h och $3,2 \times 10^{-4}$ vid lägre hastigheter.

Individrisk

En person har 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 100 m av järnvägen från där personen står och 50 m in från banan. En person har 30 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 114 m av järnvägen från där personen står och 57 m in från banan.

Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma.

2.3.2 Scenario Gasmoln K

Vid detta scenario uppstår ett hål på 7,5 cm i tanken med giftig gas. En gasplym uppstår som rör sig i vindriktningen. Sannolikheten per olycka för scenariot framgår av händelseträdet i *figur 16 och 17* och är lika med $1,7 \times 10^{-3}$ vid hastigheter över 40 km/h och $4,7 \times 10^{-4}$ vid lägre hastigheter.

Effektområde 1 har bredd 36 m och längd 240 m i vindriktningen. Effektområde 2 har bredd 121 m och längd 374 m i vindriktningen. Båda effektområdena börjar vid olycksplatsen.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 6*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen till området, detta är scenario Gasmoln KT. Blåser vinden i järnvägens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasmoln KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasmoln KT har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 36 m av leden från där personen står och 240 m in från vägen.

En person har 30 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 121 m av leden från där personen står och 374 m in från vägen.

I scenario Gasmoln KL har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 240 m av leden från där personen står och 18 m in från vägen.

En person har 30 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 374 m av leden från där personen står och 61 m in från banan.

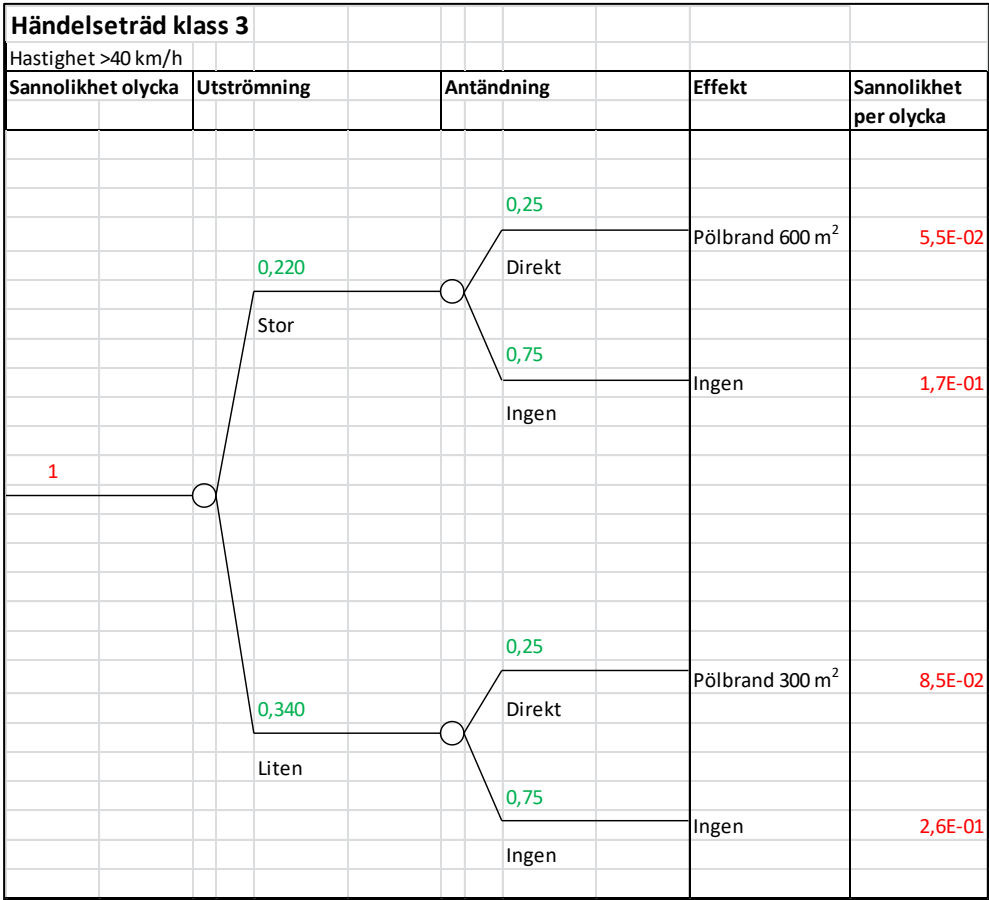
Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma här.

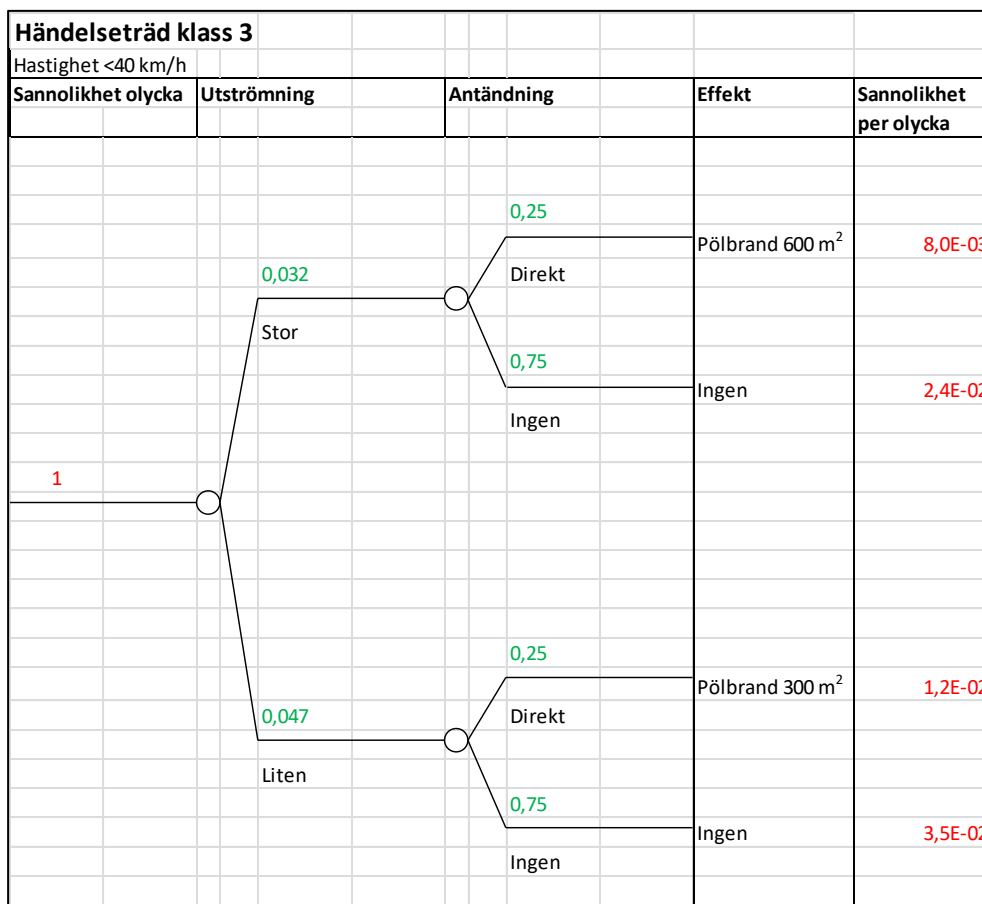
2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med mycket brandfarliga vätskor har beräknats på samma sätt som i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 5*.

Händelseträden för scenarier med mycket brandfarliga vätskor framgår i *figur 18 och 19* nedan.



Figur 18 Händelseträd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3.
Tåghastighet > 40 km/h



Figur 19 Händelseträd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3.
Tåghastighet < 40 km/h

2.4.1 Scenarier Pölbrand S och M

I scenario Pölbrand sker en olycka där tanken skadas och ett utsläpp sker av mycket brandfarlig vätska (exempelvis bensin) som rinner ut till en pöl som sedan antänds. Värmestrålningen kan leda till att människor omkommer. Vid en stor pölbrand med en yta på 600 m² (Pölbrand S) antas personer inom ett område på 30x30m omkomma, såväl inne som ute. Vid en mindre pölbrand (Pölbrand M) antas personer inom ett område på 26x26 m omkomma såväl inne som ute. Områdena antas centrerade kring olycksplatsen.

Sannolikhet

Sannolikheten för scenario Pölbrand S vid en olycka med en tankvagn med mycket brandfarlig vätska är lika med $5,5 \times 10^{-2}$ vid hastigheter över 40 km/h och $8,0 \times 10^{-2}$ vid hastigheter under 40 km/h.

Sannolikheten för scenario Pölbrand M vid en olycka med en tankvagn med mycket brandfarlig vätska är lika med $8,5 \times 10^{-2}$ vid hastigheter över 40 km/h och $1,2 \times 10^{-2}$ vid hastigheter under 40 km/h.

Individrisk

I scenario Pölbrand S har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 30 m av järnvägen från där personen står och 15 m in från banan.

I scenario Pölbrand M har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 26 m av leden från där personen står och 13 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom ett område med längd 30 m längs vägen och bredd 15 m in från vägen antas alla omkomma såväl inomhus som utomhus i scenarion Pölbrand S.

I scenario Pölbrand M antas alla utomhus och inomhus omkomma inom ett område med längd 26 m längs vägen och bredd 13 m in från vägen.

2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1

Sannolikheten för en olycka med en järnvägsvagn med oxiderande ämnen med risk för massexplosion per kilometer järnväg har beräknats på samma sätt som för massexplosiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

Händelseträdet för scenarier med oxiderande ämnen framgår i *figur 19 och 20* nedan.

2.5.1 Scenario Explosion S och M

I dessa scenarior har vi utgått från att transporterna sker som ammoniumnitrat som vid blandning med dieselolja kan leda till en explosion som motsvarar 25 ton TNT vid ett stort utsläpp av ammoniumnitrat och cirka hälften vid ett mindre utsläpp. Detta överskattar explosionens kraft eftersom den blandning som kommer att ske om båda ämnena rinner ut vid en olycka inte räcker för att åstadkomma ett effektivt sprängämne vilket egentligen kräver en ganska exakt blandning av dessa ämnen.

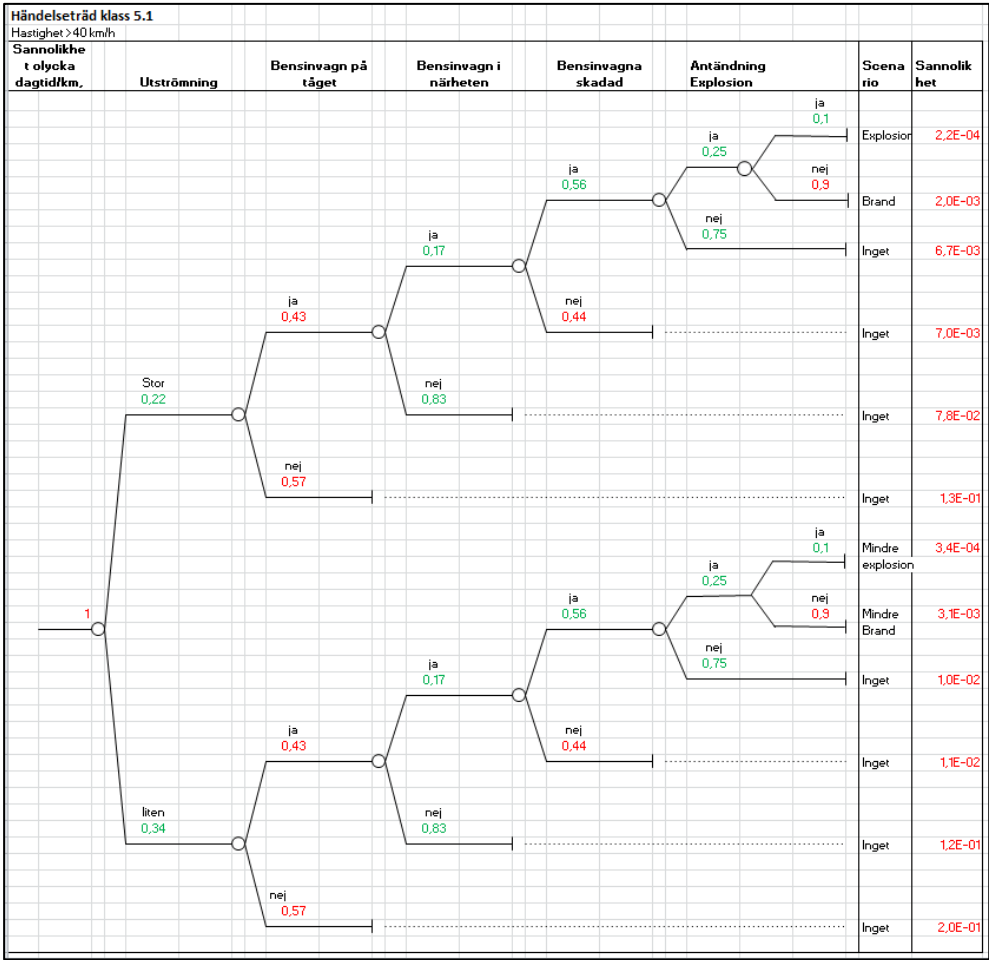
Konsekvenserna av dessa explosioner härleds på samma sätt som för massexplosiva ämnen i klass 1.

Sannolikhet

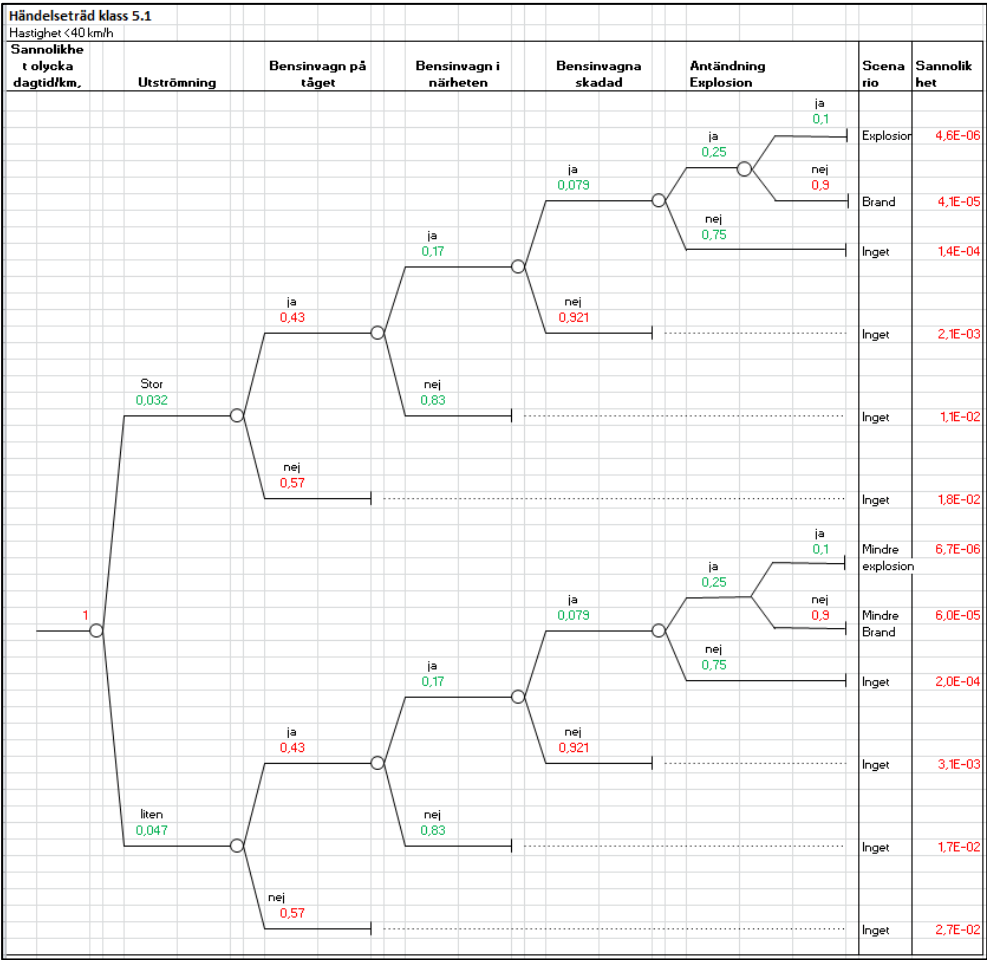
För att en olycka med en transport med oxiderande ämnen skall leda till betydande konsekvenser krävs att det oxiderande ämnet blandas med bensin och att blandningen antänds. För att detta skall ske måste flera förutsättningar vara uppfyllda:

1. Det måste finnas en tankvagn med bensin eller annan mycket brandfarlig vätska med på tåget.
2. Vagnen måste befinna sig nära vagnen med oxiderande ämnen för att en blandning skall kunna ske, högst en vagn emellan.
3. Vagnen med mycket brandfarlig vätska måste ha en skada som leder till ett betydande utsläpp.
4. Vätskan måste antändas.
5. Blandningen oxiderande ämne/brandfarlig vätska kan antingen brinna som en pölbrand eller explodera.

Sannolikheten för detta framgår av händelseträdet i *figur 19 och 20* nedan. Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankbilar. I de visade händelseträden utgås från att en vagn med mycket brandfarlig vätska finns med på 16 % av tågen. Denna siffra är tagen från ett äldre projekt och används här endast som exempel. I beräkningarna har den rätta siffran används som finns i *figur 5*.



Figur 19. Händelseträd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion. Tåghastigheter över 40 km/h



Figur 20. Händelsesträd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion. Tåghastigheter under 40 km/h

Konsekvenser

Två scenarier finns beroende på storleken på utsläppet av det oxiderande ämnet. Storleken på utsläppet av den brandfarliga vätskan är av mindre vikt eftersom en explosiv blandning endast kräver en mindre mängd brandfarlig vätska (ca 1 del brandfarlig vätska på 7 delar oxiderande ämne). Ett stort utsläpp av oxiderande ämnen ger scenario Explosion S, ett något mindre utsläpp ger scenario Explosion M.

Konsekvenserna av en stor explosion har antagits vara densamma som för en explosion av 25 ton TNT. Konsekvenserna avseende individrisk och samhällsrisk för denna mängd sprängämne finns beskriven i scenariot för klass 1.1.

Konsekvenserna för en mindre explosion har antagits vara densamma som för en explosion av 12,5 ton TNT. Konsekvenserna avseende individrisk och samhällsrisk för denna mängd sprängämne finns också beskriven i scenariot för klass 1.1.

De scenarier där ingen explosion sker men det oxiderande ämnen deltar i branden av den brandfarliga vätskan ingår i beräkningarna för konsekvenserna av olyckor med klass 3.

3. Beräkningsresultat farligt gods

I tabell 2 presenteras resultaten av riskberäkningarna för planområdet som redovisas i rapporten. Beräkningarna för övriga figurer avseende risken från järnvägen har genomförts på samma sätt.

Tabell 2. Beräkningsresultat för planområdet.

Sammanställning av beräkningsresultat dagtid								Riskanalys Liseberg DP 2				2019-04-17	
	F _{klass} /år, km		F _{scen} /år, km	Effektområde 1				Effektområde 2					
Klass	km	Scenario		längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	F _{scen} /år	Om- komna
1.	1,6E-08	Massexplosion	2,8E-11	300	54	0,17	1,00	-	-	-	-	8,47E-12	138,6
2.1	7,9E-06	Jet	6,7E-09	70	90	1,00	1,00	70	90	0,00	0,10	1,3E-09	127,4
		Gasbrand M	1,0E-09	260	130	1,00	1,00	-	-	-	-	2,7E-10	583,3
		Gasbrand KT	2,7E-10	10	70	1,00	1,00	-	-	-	-	2,7E-10	12,8
		Gasbrand KL	2,1E-10	70	5	1,00	1,00	-	-	-	-	2,1E-10	0,0
		Gasexplosion M	1,0E-09	330	165	1,00	1,00	-	-	-	-	2,3E-10	775,4
		Gasexplosion KT	1,8E-10	95	95	1,00	1,00	-	-	-	-	1,8E-10	199,1
		Gasexplosion KL	1,4E-10	95	47	1,00	1,00	-	-	-	-	1,4E-10	68,3
		Bleve	9,2E-09	140	70	1,00	1,00	210	105	0,00	0,07	1,8E-09	180,1
2.3	7,6E-06	Giftig gasmoln M	8,3E-09	100	50	0,10	1,00	114	57	0,03	0,30	1,7E-09	15,1
		Giftig gasmoln KT	8,8E-10	36	240	0,10	1,00	121	374	0,03	0,30	8,8E-10	41,1
		Giftig gasmoln KL	8E-10	240	18	0,10	1,00	374	61	0,03	0,30	8,0E-10	12,1
3.	1,5E-05	Stor pölbrand	8,4E-07	30	15	1,00	1,00	-	-	-	-	1,7E-07	0,1
		Liten pölbrand	1,3E-06	26	13	1,00	1,00	30	15	0,00	0,04	2,6E-07	0,0
5.1	8,8E-06	Stor explosion	1,5E-09	300	54	0,17	1,00	-	-	-	-	4,6E-10	138,6
		Liten explosion	2,4E-09	237	54	0,17	1,00	-	-	-	-	5,6E-10	138,6
Sammanställning av beräkningsresultat nattetid								Riskanalys Liseberg DP 2				2019-04-17	
Natt	F _{klass} /år, km		F _{scen} /år, km	Effektområde 1				Effektområde 2					
Klass	km	Scenario		längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	F _{scen} /år	Om- komna
1.	4,7E-08	Massexplosion	8,5E-11	300	54	0,17	1,00	-	-	-	-	2,54E-11	176,2
2.1	2,4E-05	Jet	2,0E-08	70	90	1,00	1,00	70	90	0,00	0,10	4,0E-09	206,7
		Gasbrand M	3,1E-09	260	130	1,00	1,00	-	-	-	-	8,1E-10	947,8
		Gasbrand KT	8,2E-10	10	70	1,00	1,00	-	-	-	-	8,2E-10	20,6
		Gasbrand KL	6,2E-10	70	5	1,00	1,00	-	-	-	-	6,2E-10	0,0
		Gasexplosion M	2,1E-09	330	165	1,00	1,00	-	-	-	-	6,9E-10	1262,4
		Gasexplosion KT	5,5E-10	95	95	1,00	1,00	-	-	-	-	5,5E-10	324,1
		Gasexplosion KL	4,2E-10	95	47	1,00	1,00	-	-	-	-	4,2E-10	109,7
		Bleve	2,8E-08	140	70	1,00	1,00	210	105	0,00	0,07	5,5E-09	288,6
2.3	2,3E-05	Giftig gasmoln M	2,5E-08	100	50	0,10	1,00	114	57	0,03	0,30	5,0E-09	14,8
		Giftig gasmoln KT	2,6E-09	36	240	0,10	1,00	121	374	0,03	0,30	2,6E-09	44,9
		Giftig gasmoln KL	2,4E-09	240	18	0,10	1,00	374	61	0,03	0,30	2,4E-09	11,3
3.	4,6E-05	Stor pölbrand	2,5E-06	30	15	1,00	1,00	-	-	-	-	1,7E-07	0,0
		Liten pölbrand	3,9E-06	26	13	1,00	1,00	30	15	0,00	0,04	7,8E-07	0,0
5.1	2,6E-05	Stor explosion	4,6E-09	300	54	0,17	1,00	-	-	-	-	1,4E-09	176,2
		Liten explosion	7,1E-09	237	54	0,17	1,00	-	-	-	-	1,7E-09	176,2

4. Beräkningsmetod urspårning

Riskberäkningsmetoden kan delas upp i fyra steg.

1. Beräkning av sannolikhet för urspårning
2. Beräkning av sannolikhet för att tågagnar når olika avstånd från järnvägen
3. Beräkning av konsekvenserna av dessa scenarier avseende antalet omkomna utomhus och inomhus
4. Sammanräkning av resultaten som individrisk och samhällsrisk

Alla beräkningar genomförs i excelblad. Dessa excelblad finns för insyn för myndigheterna och endast vissa utdrag publiceras här.

5. Sannolikhetsberäkning urspårning

Olycksrisken för tåg beräknas enligt den av Banverket (numera en del av Trafikverket) angivna metod (Banverket 2001), se *figur 21*.

Beräkning urspårning		Riskanalys Liseberg		2019-04-17	
Beräkning av olycksfrekvens enligt Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Banverket 2001:5					
Ingångsdata					
Sträcka	1 km	Färgernas betydelse: Fylls i Standard Beräknas			
Vagnaxel/vagn	2,75				
Tåglängd	216,0781 m				
Vagnlängd	20 m				
Godståg	8				
Persontåg	220				
Pendeltåg					
Antal vagnar/tåg	10,8				
Antal tåg/dag	229				
Antal tåg/år	83406				
Antal tåg/v	1604				
Antal växlar	1				
Plankorsn. bommar	0				
Plankorsn. ljus	0				
Plankorsn. Kryss	0				
Vagnaxelkm/år	2,5E+06				
Vagnkm	9,0E+05				
Beräkning olycksrisken					
		Intensitet		Frekvens	
Orsak	Parameter	Spårklass A	Spårkl. B o C	Spårklass A	Spårkl. B o C
Rälsbrott	Vagnaxelkm	5,0E-11	1,0E-10	1,2E-04	2,5E-04
Solkurva	Spårkm	1,0E-05	2,0E-04	1,0E-05	2,0E-04
Spår lägesfel	Vagnaxelkm	4,0E-10	4,0E-10	9,9E-04	9,9E-04
Växel sliten	Antal tågpassager	5,0E-09	5,0E-09	4,2E-04	4,2E-04
Växel ur kontroll	Antal tågpassager	7,0E-08	7,0E-08	5,8E-03	5,8E-03
Vagnfel	Vagnaxelkm	3,1E-09	3,1E-09	7,7E-03	7,7E-03
Lastförskjutning	Vagnaxelkm	4,0E-10	4,0E-10	9,9E-04	9,9E-04
Plankorsn. bommar	Antal tågpassager	5,0E-08	5,0E-08	0,0E+00	0,0E+00
Plankorsn. ljus	Antal tågpassager	1,5E-08	1,5E-08	0,0E+00	0,0E+00
Plankorsn. Kryss	Antal tågpassager	2,0E-08	2,0E-08	0,0E+00	0,0E+00
Annan/okänd	Tågkm	2,0E-07	2,0E-07	1,6E-02	1,6E-02
Summa	Olyckor per år/km			3,2E-02	3,3E-02
Urspårning mot planområdet				1,6E-02	

Figur 21. Beräkning urspårningsrisk

Även sannolikheten för att delar av tåget når ett visst avstånd från järnvägen framgår där, se *figur 22*.

Beräkning urspårningsavstånd mm						Riskanalys Liseberg	2019-04-17
Beräkning urspårning							
Sannolikhet att någon del av tåget kommer utanför spåret, källa Banverket 2001							
Aktuell hastighet > 40 km/h							
Avstånd från spår	0-1 m	1-5 m	5-15 m	15-25 m	>25 m		
Persontåg	78%	18%	2%	2%	0%		
Godståg	70%	20%	5%	2%	2%		
Andel godståg	4%						
Alla tåg	78%	18%	2%	2%	0%		
Aktuell hastighet < 40 km/h, bearbetat utifrån Banverket 2001							
Avstånd från spår	0-1 m	1-5 m	5-15 m	15-25 m	>25 m		
Persontåg	80%	18%	2%	0%	0%		
Godståg	72%	21%	5%	2%	0%		
Andel godståg	4%						
Alla tåg	79%	18%	2%	0%	0%		
Avstånd spårkant m	Sannolikhet	Frekvens/km	Sannolikhet	Frekvens/km			
m	> 40 km/h	> 40 km/h	< 40 km/h	< 40 km/h			
1	78%	1,3E-02	79%	1,3E-02			
5	18%	2,9E-03	18%	3,0E-03			
15	2%	3,4E-04	2%	3,5E-04			
25	2%	3,2E-04	0,1%	1,3E-05			
30	0,1%	1,2E-05	0,0%	0,0E+00			
Områdesinfo							
Områdets storlek							
	Inne	Ute					
Planområdets avstånd le	20	20	m				
Planområdets bredd	108	108	m				
Planområdets längd	140	140	m				
Befolkningstäthet							
	Dag						
	Inne	Ute					
Befolkning inne +ute	245		personer				
Andel inne/ute	100%	0%					
Befolkning	245,0	0,0	personer				
Befolkningstäthet	1,6E-02	0,0E+00	pers/m2				

Figur 22. Beräkning urspårningsavstånd

6. Konsekvenser urspårning

Utomhus antas personer omkomma när de blir träffade av en urspårande del av tåget. Effektområden för detta har antagits enligt tabell 3. Det antas att endast en mindre del av tåget hamnar långt från spåret vid en urspårning.

Effektområdet inomhus bestäms av antagandet att hela byggnaden rasar fram till tågets framräknade urspårningsavstånd. Det uppskattas att en tredjedel av personerna som befinner sig inom rasområdet omkommer.

Tabell 3. Antagen effektområden vid urspårning

Längd (längs transportled)	Bredd (in mot området)
250	1
180	5
60	15
30	25
15	30

7. Referenser

- | | |
|----------------|--|
| Banverket 2001 | Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Banverket Miljösektionen Rapport 2001:5m 2001-10-22 |
| EAI 1997 | High explosive assessment model, 5th industrial version in SI units, Engineering Analysis Inc. 1997 |
| ERM 2008 | SAFEX-paper Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Link: An overview of the explosives aspects in a quantitative risk analysis for the road transport of cartridged emulsion explosives and accessories through a densely populated area. ERM-Hong Kong Ltd, 2008 |
| FOA 1997 | Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, Försvarets Forskningsanstalt, september 1997 |
| FOA 2000 | Explosivämneskunskap, Institutionen för energetiska material, Försvarets Forskningsanstalt 2000 |
| PGS2 2005 | Methods for the calculation of Physical Effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases), Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Committee for the Prevention of Disasters, 2005. |
| PGS3 2005 | Guidelines for quantitative risk assessment, Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Advisory Council in Dangerous Substances, 2005 |
| SRV 2005 | Dynamisk lastpåverkan – Referensbok, Statens Räddningsverk, Karlstad, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2005 |
| SRV 2007 | Bebyggelsens motståndsförmåga mot extrem dynamisk belastning, delrapport 1 Last av luftstöt våg, Statens Räddningsverk, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2007 |

Bilaga 3

Objekt Stenungsund centrum PM: Last från gasexplosion	Uppdragsnr. 105 14 62	Datum 2017-12-19
	Sidnr. 1(6)	Sign. MJ

Fasadutformning mot explosionslast

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	1
Bakgrund.....	2
Förutsättningar	2
Explosionslast	3
Referenser.....	6

Objekt Stenungsund centrum PM: Last från gasexplosion	Uppdragsnr. 105 14 62	Datum 2017-12-19
	Sidnr. 2(6)	Sign. MJ

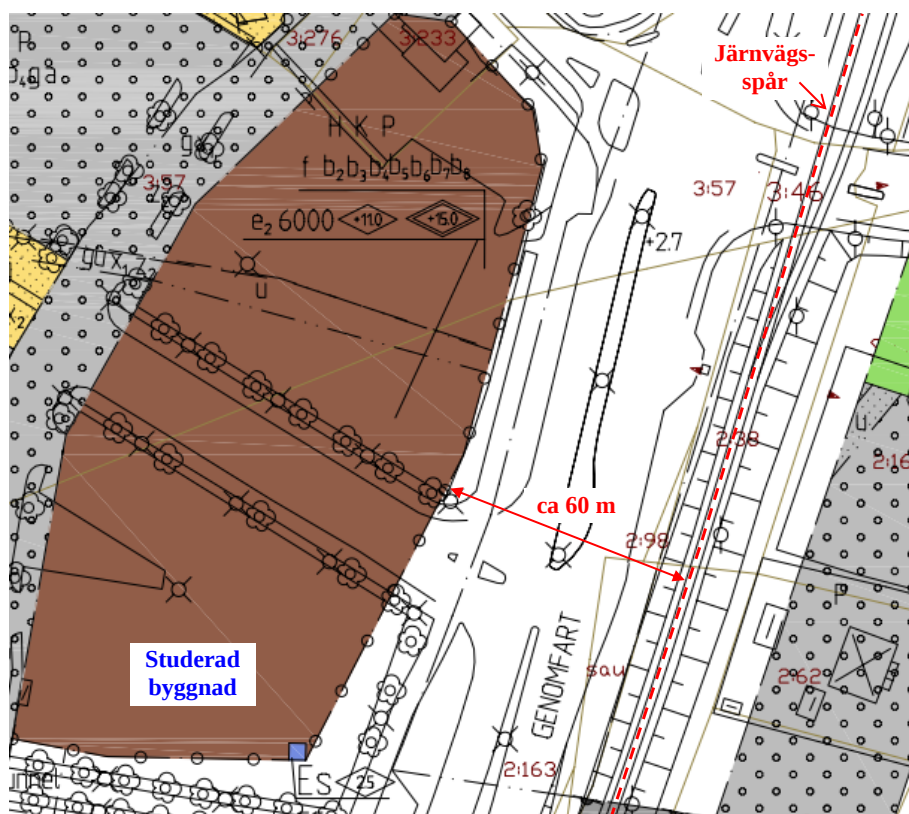
Bakgrund

Järnväg med transport av farligt gods går genom Stenungsund centrum. Vid uppförande av nya byggnader ska därför last från potentiell gasexplosion beaktas. Detta dokument beskriver kortfattat bakgrund och resonemang samt framtagna lastvärden för de explosionslaster som bedöms kunna uppstå.

Förutsättningar

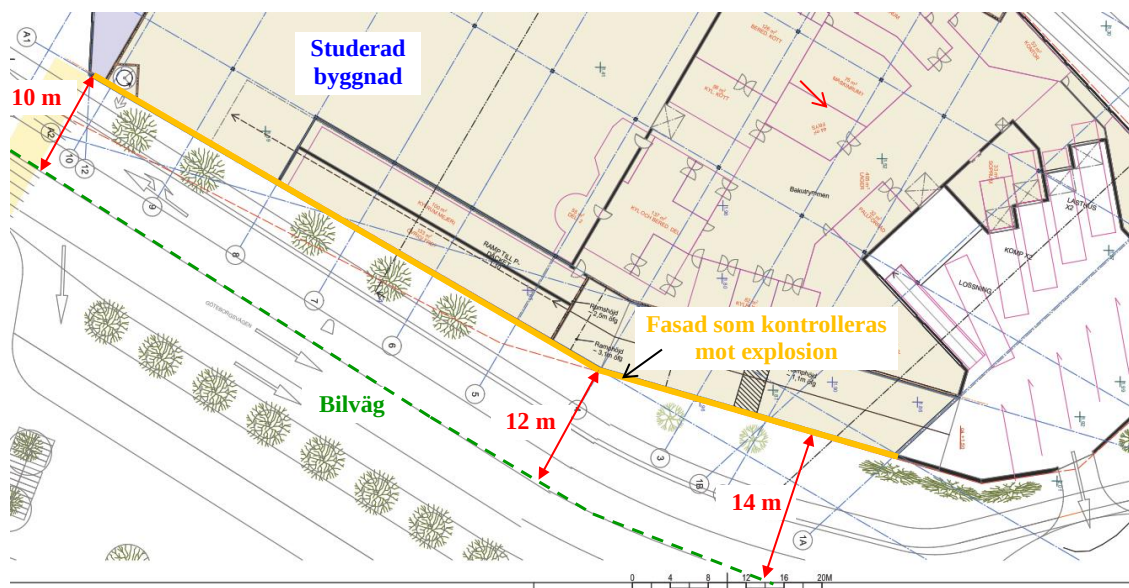
I Figur 1 illustreras järnvägens läge i förhållande till studerad byggnad och av detta framgår att kortaste avståndet mellan järnväg och fasad är omkring 60 m. Området däremellan utgörs till stor del av en bilväg (ej korrekt dragning i Figur 1). I Figur 2 visas bilvägens läge i förhållande till studerad byggnad och av detta framgår att avståndet i markerat område uppgår till omkring 10 - 14 m.

Enligt rådande detaljplan, SBK (2007), ska "fasaden mot järnvägen göras tät (ev fönsterlös) och med ökad tryckstabilitet". Detta tolkas här som att det är fasaden som löper parallellt med järnvägen, markerad med orange i Figur 2, som avses. Baserat på detta görs även tolkningen att det enbart är denna fasad som ska dimensioneras med hänsyn till explosion.



Figur 1 Järnvägens läge i förhållande till studerad byggnad. För korrekt dragning av bilväg, se Figur 2.

Objekt Stenungsund centrum PM: Last från gasexplosion	Uppdragsnr. 105 14 62	Datum 2017-12-19
	Sidnr. 3(6)	Sign. MJ



Figur 2 Bilvägens läge i förhållande till studerad byggnad. Streckad linje markerar ungefärlig placering av vägmitt av båda köriktningarna. Fasad som ska kontrolleras mot explosionslast är markerad.

Explosionslast

I litteraturen finns olika anvisningar om hur last från en gasexplosion kan beräknas. I det här dokumentet utgår från den så kallade TNO Multienergimetoden, van den Berg (1985), för att beräkna resulterande last. Närmare beskrivning av koncept och beräkningsgång finns också i Johansson (2013) och berörs endast övergripande här.

I TNO Multienergimetoden finns det tre parametrar som avgör vilken last som fås från en given gasexplosion:

- Ingående stökiometriskt blandad gasvolym (explosionskällans energiinnehåll)
- Explosionsstyrka (anges med en styrkefaktor, graderad 1-10 där ett högt värde anger en kraftig explosion – 10 motsvarar en detonation)
- Avstånd mellan explosionscentrum och studerad punkt

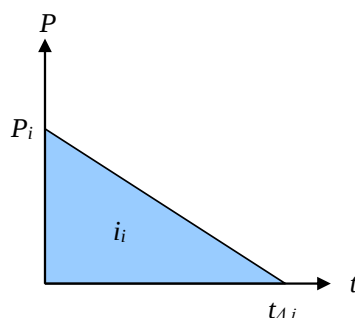
I här utförd lastframtagning har utgått från tre fall enligt nedan:

- **Öppen yta:** [$V = 8\,500\text{ m}^3$, $s = 2$]
 - Volymen baseras på ett område som motsvarar en cylinder med diameter 60 m (avstånd mellan järnväg och byggnadsfasad) och höjd 3 m (uppskattad höjd på gasmoln). Styrkefaktorn baseras på en gas som inte har hög reaktivitet samt med antagande om en omgivning utan några direkta blockeringar.
- **Blockerad volym:** [$V = 100\text{ m}^3$, $s = 5$]
 - Volymen baseras på ett blockerat område orsakat av ungefär 10 bilar medan styrkefaktorn baseras på en blockerad volym (gas samlas under bilar).
- **Starkt blockerad volym:** [$V = 50\text{ m}^3$, $s = 7$]
 - Volymen baseras på ett starkt blockerat område orsakat av ungefär 5 bilar medan styrkefaktorn baseras på en starkt blockerad volym (gas samlas under bilar under särskilt ogynnsamma förhållanden).

Objekt Stenungsund centrum PM: Last från gasexplosion	Uppdragsnr. 105 14 62	Datum 2017-12-19
	Sidnr. 4(6)	Sign. MJ

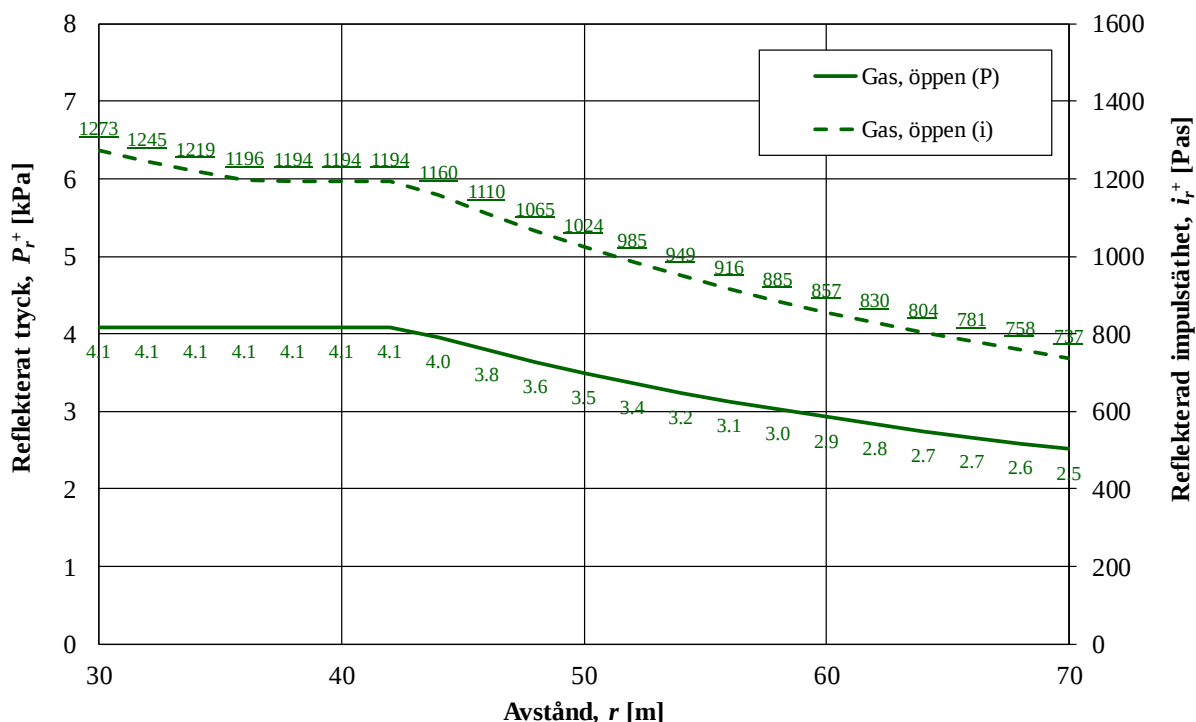
Explosionscentrum antas vara placerad i den aktuella volymens mitt. För en öppen yta fås detta i mitten av den antagna cylindern medan det för en blockerad och starkt blockerad volym hamnar i en linje motsvarande vägmitt hos bilväg, se Figur 2. Detta innebär att $r = 30$ m för en explosion på en öppen yta medan $r = 10 - 14$ m för de båda andra fallen.

Last från en gasexplosion kan förenklat beskrivas som ett triangelformat tryck-tidssamband enligt Figur 3 som kan beskrivas med egenskaperna maximalt övertryck P_i samt impulstäthet i_i . Vid last från en explosion har det betydelse hur den inkommande stötvågen träffar den belastade ytan. Det skiljs här på reflekterad och oreflekterad stötvåg. Reflekterad stötvåg uppstår när stötvågen från en explosion inkommer vinkelrät mot den belastade ytan (t.ex. fasadvägg) medan en oreflekterad stötvåg uppstår när stötvågen kommer in parallellt med belastad yta (t.ex. tak). I detta dokument anges enbart last från reflekterad stötvåg – last från oreflekterad stötvåg kan vid behov konservativt bestämmas genom att halvera lasten från den reflekterade stötvågen.



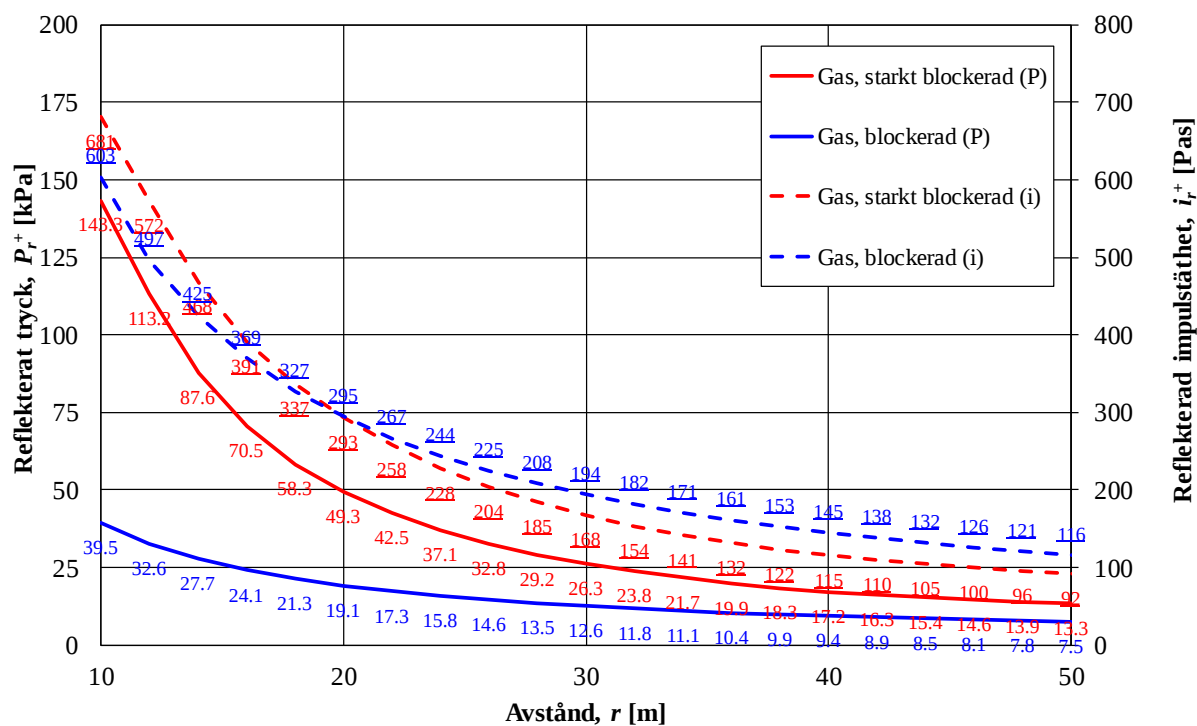
Figur 3 Triangulärt last-tidssamband från gasexplosion.

För här studerade fall återges lasten från en reflekterad stötvåg på varierande avstånd i Figur 4 och Figur 5. Last anges även för större avstånd än minimiavstånden för att möjliggöra lastbestämning på större sammanhängande ytor (t.ex. den totala last som verkar mot hela byggnadsfasaden).



Figur 4 Lastvärden för explosionslast från en gasexplosion på en öppen yta.

Objekt Stenungsund centrum PM: Last från gasexplosion	Uppdragsnr. 105 14 62	Datum 2017-12-19
	Sidnr. 5(6)	Sign. MJ



Figur 5 Lastvärden för explosionslast från blockerad samt starkt blockerad gasexplosion.

Objekt Stenungsund centrum PM: Last från gasexplosion	Uppdragsnr. 105 14 62	Datum 2017-12-19
	Sidnr. 6(6)	Sign. MJ

Referenser

van den Berg A.C. (1985): The multi-energy method – A framework for vapour cloud explosion blast prediction. Journal of Hazardous Materials, 12(1985), sida 1-10.

Johansson M. (2013): Gasexplosion i det fria. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Dokument B02-121, 2013-03-11, Karlstad.

SBK (2007): Detaljplan för Stenungs torg V, Stenungsunds kommun. DP 259, 2007-04-04.

Dokument utgivna av MSB kan laddas ner gratis på www.msb.se/skyddsrum.